

COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE SOCIOECONOMÍA, ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA

ECONOMÍA

**UTILIZACIÓN DE OPCIONES REALES
EN PROYECTOS DE INVERSIÓN
AGRÍCOLA**

ROBERTO DOMÍNGUEZ ALONSO

T E S I S
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTOR EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO


2009

La presente tesis titulada: **Utilización de opciones reales en proyectos de inversión agrícola**, realizada por el alumno: **Roberto Domínguez Alonso**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:


**DOCTOR EN CIENCIAS
SOCIOECONOMÍA, ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA
ECONOMÍA**

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO


Dr. José de Jesús Brambila Paz


ASESOR


Dr. José Saturnino Mora Flores

ASESOR


Dr. Miguel Ángel Martínez Damían

ASESOR


Dra. Ma. Cristina Gpe. López Peralta

ASESOR


Dr. Gustavo Ramírez Valverde

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Julio de 2009

AGRADECIMIENTOS

A I Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por haberme otorgado la beca para realizar mis estudios de doctorado.

A I Colegio de Postgraduados, por darme la oportunidad de formar parte de sus filas

A mi Consejo Particular integrado por el Dr. José de Jesús Rambila Paz, Dr. José Saturnino Mora Flores, Dr. Miguel Ángel Martínez Damian, Dra. Ma. Cristina Guadalupe López Peralta y Dr. Gustavo Ramírez Valverde quienes me apoyaron en todo momento.

A todos los profesores que tuvieron influencia en mi formación académica, gracias por los conocimientos adquiridos

A todas aquellas personas que contribuyeron aportando datos importantes para esta investigación.

A mis amigos(as) y compañeros (as) del Colegio de Postgraduados en especial a Ileana y Gabriela.

DEDICATORIAS

A mis padres, por todo lo que me han dado.

A Lupita, por su apoyo y motivación constantes.

A mis hermanos: Patricia, Gustavo, Ramiro, Alfredo, Enrique, Ricardo, Sergio y Carlos.

A mis sobrinos y a toda mi familia.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	vi
ABSTRAC	vii
INTRODUCCIÓN	01
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	04
1.1. Objetivos.....	05
1.2. Hipótesis.....	06
1.3. Metodología.....	06
2. MARCO TEÓRICO	08
2.1. Teoría de evaluación de proyectos , indicadores y sus desventajas.....	08
2.1.1 Valor Actual Neto (VAN).....	10
2.1.2 Relación Beneficio – Costo.....	12
2.1.3 Relación Beneficio – Inversión Neta (n/k).....	13
2.1.4 Tasa Interna de Retorno (TIR).....	14
2.1.5 Análisis de sensibilidad.....	15
2.2. Teoría de opciones financieras.....	16
2.2.1 Opciones Financieras.....	16
2.2.2 Variables que determinan el valor de una opción.....	22
2.2.3 Métodos de valoración de opciones.....	24
2.2.3.1. Modelo binomial.....	25
2.2.3.2. Portafolio replica de una opción.....	26
2.2.3.3. El modelo de un período.....	28
2.2.3.4. El modelo de dos períodos.....	30
2.2.3.5. El caso general: n períodos.....	33
2.2.3.6. Valoración del riesgo neutral.....	35
2.2.3.7. Modelo Black-Scholes.....	37
2.2.4. La precisión en el método binomial.....	39
2.3. Teoría de opciones reales.....	42
2.3.1 Como se convierte un proyecto de inversión en opción real.....	43

2.3.2	Análisis comparativo entre opciones financieras y opciones reales.....	43
2.3.3	Tipos de opciones reales.....	44
2.3.3.1	Opción de diferir.....	45
2.3.3.2	Opción de abandono.....	48
2.3.3.3	Opción de cambio de escala.....	53
2.3.3.4	Opción de cambio.....	58
2.3.3.5	Opción de crecimiento.....	62
2.3.3.6	Opción de inversión por etapas.....	62
3.	EJEMPLIFICACIÓN DEL USO DE OPCIONES REALES EN PROYECTOS PREVIAMENTE EVALUADOS CON EL MÉTODO TRADICIONAL.....	63
3.1.	Proyecto de inversión para el establecimiento de una planta empacadora de camarón en el sur de Sonora.....	63
3.2.	Proyecto inversión para el cultivo de <i>lilium sp.</i>	85
4.	ESTIMACIÓN DE LOS VALORES CRÍTICO.....	97
5.	CONCLUSIONES.....	115
6.	RECOMENDACIONES.....	116
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	117

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro:	Descripción	Pág
1	Variables que afectan los precios de las opciones Call y Put.....	24
2	Equivalencia entre opciones financieras y opciones reales.....	44
3	Opciones reales básicas.....	45
4	Inversión total (USD) del proyecto de empaçado de camarón.....	64
5	Indicadores obtenidos del proyecto de empaçado de camarón.....	64
6	Análisis de sensibilidad del proyecto de empaçado de camarón.....	65
7	Probabilidades asociadas a cada nodo del último año.....	71
8	Inversión total del proyecto de <i>Lilium sp.</i>	86
9	Indicadores obtenidos del proyecto de <i>Lilium sp.</i>	87
10	Análisis de sensibilidad del proyecto de <i>Lilium sp.</i>	87
11	Probabilidades asociadas a cada nodo del año 5.....	92
12	Medias y varianzas de la tasa de crecimiento de los precios al consumidor.....	104
13	Valor crítico (V^*), beta (β) y A, con tasa de descuento del 10%	106
14	Valor crítico y grupo de riesgo.....	108
15	Valores de: (V^*), (β) y A, con disminución del 20% en volatilidad y tasa de descuento del 10%	110
16	Comparación de los valores críticos (v^*) en escenario normal y con cobertura.....	111
17	Productos más sensibles a una reducción de la varianza.....	112
18	Valores de: (V^*), (β) y A, con tasa de descuento del 15%	113

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura:	Descripción	Pág.
1	Árbol binomial del valor del activo subyacente.....	30
2	Árbol binomial del valor del activo subyacente.....	32
3	Árbol binomial del cálculo de la opción.....	32
4	Árbol binomial del valor del activo subyacente.....	34
5	Árbol binomial del calculo de la opción.....	34
6	Árbol binomial del valor del activo subyacente.....	36
7	Árbol binomial del valor del activo subyacente.....	40
8	Árbol binomial, evaluación de la opción.....	41
9	Árbol binomial del valor del activo subyacente (opción de abandono).....	51
10	Árbol binomial (cálculo de la opción de abandono).....	52
11	Árbol binomial del valor del activo subyacente. (Opción de expansión).....	54
12	Árbol binomial (cálculo de la opción de expansión).....	55
13	Árbol binomial del valor del activo subyacente.....	57
14	Árbol binomial del cálculo de la opción de contracción.....	57
15	Árbol binomial del valor del activo subyacente.....	59
16	Árbol binomial, calculo de la opción de cambio.....	60
17	Árbol binomial del valor del proyecto.....	70
18	Árbol binomial, cálculo de la opción de expansión.....	72
19	Árbol binomial del valor del proyecto.....	75
20	Árbol binomial del cálculo de la opción de contracción.....	76
21	Árbol binomial del valor del proyecto.....	79
22	Árbol binomial del cálculo de la opción de abandono.....	80
23	Árbol binomial del valor del proyecto.....	82
24	Árbol binomial del cálculo de la opción de elección.....	83
25	Árbol binomial del valor del proyecto.....	91
26	Árbol binomial Del cálculo de La opción.....	93
27	Árbol binomial del valor del proyecto.....	95

28	Árbol binomial del cálculo de la opción de abandono.....	96
----	--	----

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica	Descripción	Pág.
1	Comparativo del cálculo de la opción de expansión.....	74
2	Comparativo del cálculo de la opción de contracción.....	77
3	Valor de las diferentes opciones.....	84
4	Comparativo de el cálculo de la opción de expansión.....	94
5	Tasa de crecimiento del precio de cebolla.....	98
6	Varianza de la tasa de crecimiento de los precios, en los diferentes periodos.....	105
7	Valores críticos en diferentes períodos.....	107
8	Tasa de crecimiento de precios de 4 productos.....	109
9	Valores críticos con diferentes tasas de descuento.....	114

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama	Descripción	Pág.
1	Perfil para el comprador de una opción call.....	18
2	Perfil para el vendedor de una opción call.....	19
3	Perfil para el comprador de una opción put.....	20
4	Perfil para el vendedor de una opción put.....	21

UTILIZACIÓN DE OPCIONES REALES EN PROYECTOS DE INVERSIÓN

AGRÍCOLA

Roberto Domínguez Alonso, Dr.

Colegio de Postgraduados, 2009

RESUMEN

Las técnicas tradicionales para evaluar alternativas de inversión no capturan apropiadamente la incertidumbre asociada al proyecto, así como tampoco permiten considerar la flexibilidad gerencial en el proceso de toma de decisiones, por ello, han surgido instrumentos y metodologías complementarios que permiten administrar el riesgo, uno de estos instrumentos son las Opciones Reales, el cual es una analogía a las opciones financiera. En esta investigación se aplica esta metodología a dos casos de estudio. El primero se trata de un proyecto de inversión para el establecimiento de una planta empacadora de camarón en el sur de Sonora, en el que existe incertidumbre debido al riesgo tecnológico. El segundo se trata de un proyecto de inversión para el cultivo en invernadero de *Lilium sp.* Variedad asiática (Lily) en el municipio de Texcoco, estado de México, el cual presenta riesgo de mercado debido a la variación en el tipo de cambio peso/euro. Ambos proyectos son evaluados utilizando el método binomial, y se comparan con los resultados obtenidos con el modelo Black-Scholes.

Palabras clave: Incertidumbre, flexibilidad gerencial, opciones reales, proyecto de inversión, riesgo.

USE OF REAL OPTIONS IN AGRICULTURAL INVESTMENT PROJECTS

Roberto Domínguez Alonso, Ph.

Colegio de Postgraduados, 2009

ABSTRACT

Traditional techniques used to evaluate investment alternatives, do not appropriately capture the uncertainty associated with a project, and preclude the consideration of managerial flexibility in the decision making process, therefore tools and methodologies have emerged to manage risk, one of these instruments are real options, which are analogous to financial options. This study applies this methodology to two case studies. The first case deals with the establishment of a shrimp packing investment project in southern Sonora, in which there is a great deal of uncertainty due to the involved technological risk. The second is an investment project for *Lilium sp.* Asian Variety (Lily) greenhouse cultivation in Texcoco, Mexico, which has market risk due to variation in peso-euro exchange rate. Both projects are assessed using the binomial method, and the results are compared with the Black-Scholes model.

Keywords: Uncertainty, managerial flexibility, real options, investment project, risk.

INTRODUCCION

Actualmente la economía esta cambiando, de una vieja economía basada en el empleo del petróleo, el carbón y el gas natural para la producción de combustible, químicos, materiales y energía en general, a una nueva economía de base biológica; esta nueva economía se reconoce a nivel mundial como la bioeconomía. A la bioeconomía se le atribuyen hasta el momento los siguientes fundamentos:

- a) La decisión de que, como y cuando producir, transportar, empaclar y distribuir esta basada en las características y circunstancias del consumidor.
- b) En la bioeconomía si las empresas quieren alcanzar un segmento particular de consumidores, estos tienen que ser parte del valor neto. El núcleo del eje del valor neto son los consumidores; y no los productores.
- c) Con el tiempo la bioeconomía sustituirá a la economía basada en el petróleo.
- d) La bioeconomía también consiste en la dirección y en la sustentabilidad de los recursos naturales.
- e) En las próximas décadas la bioeconomía creará miles de pequeñas y medianas empresas sostenidas financieramente por otras más grandes. De tal modo que con todas estas nuevas ideas e innovaciones el riesgo y la incertidumbre serán mayores, y como consecuencia se necesitan nuevos instrumentos financieros que permitan tratar con ese riesgo e incertidumbre.

La bioeconomía va a transformar los productos tradicionales en productos nuevos; como ejemplo jitomate con más licopeno, huevo con más omega 3, maíz con más lisina, trigo con menos gluten. También se le van a encontrar uso a productos naturales que antes fueron marginados, como la *Jatropha* para biodiesel, *Salicornia* para combustible, Yuca para producir plásticos, etc.

Todo lo anterior se empieza a reflejar en un reacomodo mundial de los precios relativos de las materias primas. Esto significa que en un lapso de tiempo predecible va a haber una mayor volatilidad de precios a nivel mundial, esta tesis tiene como objetivo central

mostrar como se deben evaluar los proyectos agropecuarios en escenarios de mayor riesgo y de mayor incertidumbre.

Es una realidad que la actividad económica en general se ha vuelto más incierta y riesgosa, por ello, han surgido instrumentos y metodologías que permiten administrar el riesgo, uno de estos instrumentos son las "opciones reales", este nuevo instrumento de evaluación de proyectos de inversión está llamado a modificar los escenarios actuales en la planeación estratégica de las empresas, y se presenta como una oportunidad para replantear la forma de evaluar y financiar los proyectos; su ventaja consiste en que permite obtener el valor real de un proyecto, es decir el que le otorga el mercado de valores.

Las opciones reales, también llamada "Teoría de la inversión bajo riesgo", se basa en reconocer que todo proyecto tiene un conjunto de opciones que agregan valor por permitir tomar decisiones, una vez que los hechos ocurrieron (decisiones contingentes a los hechos). Pero estas opciones no son captadas por instrumentos tradicionales, tales como el Valor Actual Neto (VAN) o Tasa Interna de Retorno (TIR), por lo que dichos proyectos quedan subvaluados. Se puede decir que las opciones reales tienen como función maximizar el valor obtenido por instrumentos tradicionales, mediante la incorporación al valor obtenido por estas últimas del valor de las opciones.

El contenido de esta investigación se ordena en capítulos. El primer capítulo contempla el planteamiento del problema, los objetivos e hipótesis que sustentan el problema de investigación, y se expone la metodología que se siguió en la realización de la investigación.

El segundo capítulo trata del marco teórico del que parte la investigación, y contiene apartados sobre la teoría de evaluación de proyectos, los principales indicadores y sus desventajas, la teoría de opciones financieras y la teoría de opciones reales.

El tercer capítulo se refiere al uso de opciones reales en proyectos previamente evaluados con el método tradicional, iniciando con el proyecto de inversión para el establecimiento de una planta empaadora de camarón en el sur de Sonora, y después con el proyecto de inversión para el cultivo en invernadero de *Lilium sp.* Variedad asiática (Lily) en el municipio de Texcoco, estado de México. Ambos proyectos son evaluados utilizando el método binomial, y se comparan con los resultados obtenidos con el modelo Black-Scholes.

En el cuarto capítulo se analiza el comportamiento de los precios al consumidor de 38 productos agropecuarios, y se estiman sus valores críticos, para saber cuantas veces debe ser mayor el valor del proyecto a la inversión para que no haya pérdidas.

Posteriormente, en el capítulo cinco se plasman las conclusiones, las cuales relacionan el punto de partida de la investigación con la hipótesis y los resultados encontrados. Finalmente se hacen algunas recomendaciones generales de todo el estudio con base en los resultados obtenidos.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Hasta ahora la mayoría de las empresas utilizan alguna forma de flujo de fondos descontados para evaluar un proyecto de inversión. Estas herramientas probaron ser útiles y confiables, pero presentan limitaciones que restringen su aplicación. El ejemplo típico del análisis del flujo de fondos descontados es el Valor Actual Neto (VAN), que es considerado como una de las mejores herramientas para evaluar proyectos de inversión, sin embargo tiene algunas restricciones.

El método del VAN requiere para cada período estimar el flujo neto de fondos, a la vez, también es necesario elegir la tasa de interés que se va a utilizar para descontar dichos flujos. Esta tasa variará de acuerdo al perfil de riesgo que tenga cada inversor (amante, neutral o adverso al riesgo). Por estas dos cuestiones se observa que el resultado que se obtenga será subjetivo.

Otra limitante que presenta el VAN es que las reglas de decisión del método pueden llevar a decisiones erróneas en contextos de alta incertidumbre: por ejemplo, en un contexto donde hay incertidumbre en la evolución del precio de un determinado producto, al precio actual se realiza este análisis y se obtiene un VAN positivo. Se realiza una inversión irreversible en una planta que se encarga de procesar el producto, y al poco tiempo el precio de los insumos sube; resultando en un encarecimiento de los costos que no hacen viable la producción. En este caso un análisis de opciones reales hubiera recomendado esperar, hasta que parte de la incertidumbre se haya disipado, pero el VAN no reconoce el valor de la opción de esperar.

El VAN no permite captar el valor de opciones asociadas, es decir, de decisiones contingentes. Los proyectos son concebidos como fijos y no se admite la posibilidad de cambio, lo que los aleja de la realidad. El VAN contempla a un proyecto como una decisión del tipo “ahora o nunca”, sin tomar en cuenta la posibilidad del desarrollo por etapas, lo que provoca que inversiones rentables no sean llevadas a cabo, y a la inversa, que inversiones antieconómicas sean concluidas.

Una última deficiencia del VAN esta dada por el difícil cumplimiento de sus supuestos implícitos. El primero establece que los fondos obtenidos en cada período no deben ser consumidos, sino que deben ser invertidos hasta el final del proyecto, en éste o en otro. El segundo establece que esta reinversión debe realizarse a la tasa de rendimiento que se utilizó en el proyecto. Como se ve, estos supuestos son de difícil comprobación, ya que no se debe consumir nada del retorno del proyecto y, además, al invertirlos se tiene que obtener la misma tasa cuando los escenarios generalmente han cambiado y los requerimientos son otros.

Para el caso del sector agropecuario es un hecho la volatilidad de los precios, por lo que no se debe evaluar un proyecto sin tomar en cuenta estos datos, porque ya no es suficiente con tener un VAN positivo, sino que se hace necesaria una evaluación donde se incluya la volatilidad del flujo de efectivo y las decisiones que el director del proyecto vaya tomando a lo largo de la vida del proyecto. Así mismo, es importante encontrar un valor crítico que señale cuantas veces debe ser mayor el valor del proyecto a la inversión para que sea rentable en escenarios de precios estocásticos.

Por todo lo anterior, es necesario incorporar a la tradicional forma de evaluar negocios y proyectos conceptos que dinamicen y permitan visualizar desde hoy el futuro, y simular el proyecto en este ambiente, como es el caso de las opciones reales.

1.1 Objetivos

Integrar las técnicas tradicionales de evaluación de proyectos y el enfoque de opciones reales, con el propósito de mejorar el proceso de toma de decisiones en materia de inversiones.

Revisar algunos proyectos que ya fueron evaluados con el enfoque tradicional para distinguir sus limitaciones y evaluarlos con el enfoque de opciones reales.

Encontrar para un grupo de productos agropecuarios, un valor mínimo del proyecto que sea mayor a la inversión para que en escenarios de volatilidad (riesgo e incertidumbre) indique cuando si conviene invertir.

1.2 Hipótesis

La integración de las técnicas tradicionales de evaluación de proyectos y el enfoque de opciones reales mejoran sustancialmente la toma de decisiones de inversión, y permite al evaluador incorporar la incertidumbre en el proceso de evaluación de proyectos.

El valor que genera la volatilidad del flujo de efectivo y las opciones es significativo para aceptar o rechazar un proyecto en escenarios de riesgo e incertidumbre.

1.3 Metodología

Para lograr los objetivos propuestos y probar las hipótesis planteadas se utilizará la metodología de la teoría de opciones reales. El trabajo se desarrollará en tres fases o etapas.

La primera fase consistirá en la revisión de bibliografía referente a opciones reales para poder realizar la evaluación con este enfoque haciendo uso de los métodos más usuales: el modelo binomial y el modelo desarrollado por Fischer Black y Myron Scholes, los cuales se basan en criterios simples que se derivan de la utilización de portafolios equivalentes y en los principios de comportamiento de modelos de arbitraje.

En la segunda fase se revisarán dos proyectos evaluados con el enfoque tradicional: Valor Actual Neto (VAN) y Tasa Interna de Retorno (TIR), para identificar sus limitaciones y evaluarlos con el enfoque de opciones reales. También en esta etapa se

buscará información como el índice general de precios y el índice de precios de diferentes productos agropecuarios para poder calcular su valor crítico.

En la tercera y última fase se hará la sistematización e interpretación de los resultados obtenidos, y se procederá a escribir el documento final.

2. MARCO TEORICO

2.1 Teoría de evaluación de proyectos, principales indicadores y sus desventajas

Los métodos tradicionales para la evaluación de proyectos se basan en el cálculo del flujo de fondos actualizados (valor actual neto o tasa interna de retorno). Estos métodos dan por hecho que el proyecto tendrá un flujo de fondos que se conoce de antemano a lo largo de la vida del proyecto, sin importar que las condiciones cambien. También se da por hecho que la gerencia no intervendrá en el proceso y que solo actuará como un ente pasivo esperando que las proyecciones que se hicieron al inicio del proyecto se cumplan sin alteración alguna.

Todos estos métodos son modelos estáticos, ya que implícitamente admiten que las características básicas del proyecto no deben cambiar, además, esta metodología no incorpora la flexibilidad que tiene la gerencia para hacer cambios como la reasignación de recursos, la venta del activo, esperar para invertir, esperar para obtener mayor información, esperar para ver como se comporta la competencia, así como abandonar el proyecto. Dicha flexibilidad no es tomada en cuenta en los modelos tradicionales, lo cual puede llevar a la toma de decisiones erróneas.

La evaluación de proyectos que involucran algún grado de flexibilidad futura no puede llevarse a cabo con las técnicas tradicionales del valor presente neto o la tasa interna de retorno, como se sabe la regla de decisión con respecto a estos indicadores es el de aceptar todos aquellos proyectos con valor actual neto mayor o igual a cero, y aceptar todos aquellos proyectos con tasa interna de retorno mayor o igual a la tasa de descuento. Se puede decir que estas reglas son óptimas cuando la oportunidad de inversión es del tipo “ahora o nunca”, o cuando el proyecto de inversión es completamente reversible.

En la realidad muy pocas inversiones son del tipo ahora o nunca. Dixit y Pindyck (1994, pág. 3) señalan que la mayoría de las decisiones de inversión comparten tres características importantes:

- a) *La inversión es parcial o totalmente irreversible.* Esto se explica porque cuando se llevan a cabo proyectos de inversión de tamaño considerable, si el retorno obtenido del proyecto no es el esperado no existe la posibilidad de dar marcha atrás sin perder gran parte de los costos incurridos.
- b) *Existe cierto nivel de incertidumbre sobre los retornos futuros de la inversión.* Es decir, existe desconocimiento sobre el futuro desenvolvimiento de los hechos que pueden ser positivos o negativos para la empresa.
- c) *Flexibilidad respecto a la oportunidad de realizar efectivamente la inversión.* Esto es la libertad que tiene la gerencia para poder decidir ante las diferentes opciones que se le presenten, esta flexibilidad permite diferir la acción de invertir para adquirir mayor nivel de información respecto a los eventos futuros.

Por otra parte, si sólo se eligen proyectos en términos del VAN o TIR, se pueden perder opciones para emprender una inversión que proporcione valor agregado al proyecto. También la técnica de flujo de fondos no proporciona flexibilidad en la toma de decisiones, pues no permite optar por invertir ahora, posponer la inversión, no invertir, o identificar oportunidades de crecimiento contingentes. Por ello, adicionalmente se hace necesario usar la metodología de las opciones reales, la cual es una técnica de evaluación que incorpora la flexibilidad y la incertidumbre y tiene la ventaja de permitir obtener el valor real de un proyecto.

En México la gran mayoría de los proyectos agropecuarios son evaluados con el enfoque tradicional por instituciones gubernamentales como el Fondo Nacional de Apoyo a las empresas de Solidaridad (FONAES) o Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA), los cuales proporcionan financiamiento o apoyos a los

productores, y utilizan criterios de selección como VAN mayor a cero ó TIR mayor que la tasa de descuento, lo que provoca gran tentación para alterar los proyectos, con la finalidad que cumplan con esos criterios para así allegarse recursos.

El enfoque tradicional de evaluación de proyectos se hace con base en indicadores de rentabilidad económica, siendo los más usados e importantes aquellos que consideran el valor del dinero en el tiempo, dentro de los cuales se tienen: Valor Actual Neto (VAN), Relación Beneficio Costo (B/C), Relación Beneficio Inversión Neta (N/K) y Tasa Interna de Retorno (TIR). Así mismo, bajo este enfoque se realiza un análisis de sensibilidad también conocido como análisis de varias situaciones, que consiste en modificar el flujo de fondos de acuerdo a ciertas situaciones que se supone se pueden presentar, este análisis es un primer paso para la incorporación de la incertidumbre, pero cada situación permanece fija en función de un único resultado futuro y plan de inversión. No existe una forma clara de reconciliar, agregar o elegir entre diversas situaciones. A continuación se describe brevemente cada uno de los indicadores, así como el análisis de sensibilidad, y se mencionan sus principales desventajas.

2.1.1 Valor Actual Neto (VAN)

Llamado también Valor Presente Neto (VPN); se determina por la diferencia entre el valor actualizado de la corriente de beneficios menos el valor actualizado de la corriente de costos a una tasa de actualización previamente determinada. También se puede determinar por el valor que da la sumatoria del flujo de fondos actualizados o los beneficios incrementales netos actualizados a una tasa de actualización previamente determinada.

$$VAN = \sum_{t=1}^T B_t(1+r)^{-t} - \sum_{t=1}^T C_t(1+r)^{-t}$$

Donde:

B_t = Beneficio en cada período del proyecto

C_t = Costos en cada período del proyecto
 r = Tasa de actualización entre cien ($I/100$)
 t = Cada período del proyecto (año 1,2,...T)
 T = Número de vida útil del proyecto o período de análisis
 $(1+r)^{-1}$ = Factor de actualización

El criterio de aceptación o rechazo del proyecto se establece en función del monto del valor actual neto. La regla es de aceptar todos aquellos proyectos independientes cuyo VAN sea igual o mayor a cero ($VAN = > 0$). La clasificación de conveniencia de las inversiones en este criterio se efectúa sobre la base de valor de éstos, en orden decreciente (esto es, las inversiones más atractivas serán aquellas con mayor VAN)

Desventajas:

- Para calcular el VAN es necesario que para cada período se estime el flujo neto de fondos. Al mismo tiempo, es necesario elegir la tasa de interés que se va a utilizar para descontar dichos flujos. Esta tasa será fijada de acuerdo con el perfil de riesgo que tenga el elaborador del proyecto o en su caso el inversor (amante, neutral o adverso al riesgo). Por lo anterior, se concluye que el resultado que se obtenga será hasta cierto punto subjetivo.
- Por otra parte, las reglas de decisión derivadas del VAN pueden llevar a la toma de decisiones equivocadas en escenarios de elevada incertidumbre. Como ejemplo se puede citar el caso de elevada incertidumbre en los costos de materia prima, el análisis se realiza a precios de hoy y arroja un VAN positivo por lo que se decide invertir, pero al poco tiempo el precio de la materia prima sube en una proporción tan grande que no hace viable la producción. En este caso un análisis de opciones reales hubiera recomendado esperar hasta que parte de la incertidumbre se haya disipado, pero el VAN no reconoce el valor de la opción de esperar, por lo que se enfrentara una inversión irreversible y la pérdida de gran parte de la inversión.

- El Valor Actual Neto no permite captar el valor de opciones asociadas, es decir, de decisiones contingentes. Los proyectos son concebidos como fijos y no se admite la posibilidad de cambio, lo que los aleja de la realidad. Contempla a un proyecto como decisión del tipo “ahora o nunca”, sin tomar en cuenta la posibilidad del desarrollo por etapas.

- Con el método del Valor Actual Neto es difícil cumplir los supuestos implícitos. El primero establece que los fondos obtenidos en cada periodo no deben ser consumidos, sino que deben ser invertidos hasta el final del proyecto en éste o en otro. El segundo establece que esta reinversión debe realizarse a la tasa de descuento que se utilizó en el proyecto. Como se observa, estos supuestos son de difícil comprobación, porque no se debe consumir nada del retorno del proyecto y además al invertirlos se tiene que obtener la misma tasa cuando la situación generalmente ha cambiado y los requerimientos son otros.

- Por ser el VAN un valor absoluto, no es posible una clasificación aceptable entre varios proyectos independientes de diferentes magnitudes. Un proyecto pequeño muy rentable, puede tener un VAN menor que uno grande que resulte poco rentable.

- El VAN presenta valores diferentes cuando se calcula considerando el periodo de actualización con periodo cero y con periodo uno, siendo la diferencia entre una opción y otra, igual en porcentaje a la tasa de actualización seleccionada a favor de la primera opción.

2.1.2 Relación Beneficio - Costo (B/C)

Es el cociente que resulta de dividir el valor actualizado de la corriente de beneficios entre el valor actualizado de la corriente de costos a una tasa de actualización previamente determinada.

$$B / C = \sum_{t=1}^T B_t(1+r)^{-t} / \sum_{t=1}^T C_t(1+r)^{-t}$$

Siendo el criterio de selección para este indicador, el de aceptar todos aquellos proyectos independientes cuya B/C sea igual o mayor a uno, (B/C = > 1).

Desventajas:

- La principal desventaja de este indicador, al igual que el VAN es que es necesario que previamente se haya elegido la tasa de actualización adecuada de acuerdo con el criterio del evaluador.
- Por ser la relación B/C; un valor relativo, no considera la escala del proyecto entre varias alternativas, y es de menor utilidad en decisiones de grandes inversiones, sobre todo cuando se tiene que comparar con inversiones pequeñas.

2.1.3 Relación Beneficio - Inversión Neta

Es el cociente que resulta de dividir la corriente del flujo de fondos actualizados cuando esta se ha hecho positiva, entre la corriente del flujo de fondos de los primeros años, cuando esta es negativa, a una tasa de actualización determinada.

$$N / K = \sum_{t=1}^T N_t(1+r)^{-t} / \sum_{t=1}^T K_t(1+r)^{-t}$$

Donde:

N_t = Corriente del flujo de fondos en cada periodo, cuando ya es positivo

K_t = Corriente del F. F. en los periodos iniciales, cuando éste es negativo

El criterio de selección para este indicador es el aceptar todos aquellos proyectos independientes cuyo valor N/K sea igual o mayor a uno ($N/K \geq 1$)

Desventajas:

- Este indicador como los anteriores, requiere que previamente se haya establecido la tasa de actualización.
- Su derivación e interpretación es más compleja que los indicadores anteriores, confundiendo con la relación B/C .

2.1.4 Tasa Interna de Retorno (TIR)

La tasa interna de retorno, denominada también, tasa de rentabilidad, es la tasa de actualización que hace que el valor actualizado de la corriente de beneficios se iguale al valor actualizado de la corriente de costos. También puede definirse como la tasa de actualización en la que el valor actualizado del flujo de fondos o beneficios incrementales netos se iguale a cero.

$$TIR = \sum_{t=1}^T B_t (1+r)^{-t} - \sum_{t=1}^T C_t (1+r)^{-t} = 0$$

La importancia de obtener la tasa que iguale la inversión inicial con la corriente de flujos actualizados, radica en que es dicha tasa la máxima tasa de retorno requerida (o costo del capital) que la empresa puede aceptar para financiar el proyecto sin perder dinero. Si un proyecto se financia con una tasa igual a la TIR, la empresa logrará que los fondos generados por el proyecto alcancen exactamente para pagar el servicio de la deuda (capital más intereses). Si por el contrario, la TIR es superior a la tasa de financiamiento, el proyecto será rentable, y análogamente si la TIR es inferior, se

perderá dinero si el proyecto se lleva adelante. El criterio de selección con base en la TIR, es el de aceptar todos aquellos proyectos independientes cuya TIR sea igual o mayor a la tasa de actualización seleccionada ($TIR = > i$).

Desventajas

- No es muy recomendable que se utilice en proyectos de diferente magnitud que se excluyan mutuamente, la comparación puede dar lugar a una selección errónea de inversión.
- Parte del supuesto implícito, poco real, de que todos los rendimientos generados año con año durante la vida útil del proyecto, se reinvertirán al valor de la TIR y que no existe otra alternativa posible de inversión.
- En algunos proyectos pueden derivarse más de una TIR, esto puede suceder cuando después de una secuencia de flujos de fondos positivos, ocurra un valor o una secuencia de valores del flujo de fondos negativos, bastante significativa. En este caso, el criterio falla al no saber cuál es la tasa a considerar como válida. En caso de presentarse más de una solución real positiva a la ecuación, se toma en cuenta la que sea más probable a presentarse de acuerdo a lo observado en el mercado, o se elaboran diferentes escenarios para cada tasa.

2.1.5 Análisis de sensibilidad

Este análisis consiste en elaborar un nuevo flujo de costos y beneficios haciendo variar alguna de las variables de riesgo, con la finalidad de ver qué sucede con la rentabilidad del proyecto bajo condiciones diferentes a las que sirvieron de base para el análisis inicial. Estos cambios en las variables de riesgo, van a modificar el valor de los indicadores de rentabilidad económica, indicando el grado de sensibilidad del proyecto

a los cambios en las variables modificadas para que a partir de estos resultados se dé un dictamen sobre el proyecto con mayor sustento.

Desventajas

- Este análisis consiste en realizar para un mismo proyecto diferentes tipos de escenarios probables en cuanto a los flujos de fondos, es decir, se calculan diferentes flujos de fondos de acuerdo con el criterio del evaluador. Así, es común suponer que la inversión inicial se incrementa, que los ingresos disminuyen, que se incrementan los costos de producción o alguna combinación de los tres. Luego que se estableció el retorno de cada escenario se descuentan dichos flujos para traerlos al presente. Si el VAN promedio de todos los escenarios es positivo y la Tasa Interna de Retorno es mayor a la tasa de descuento, el proyecto se acepta.
- Este análisis es solo un primer paso debido a que contempla la forma de incorporar la incertidumbre en cuanto al retorno del proyecto, pero el hecho de que tenga diferentes escenarios no implica que estos permitan tomar decisiones contingentes, sino que las decisiones se mantienen fijas en cada uno, por ejemplo, si se supone que los ingresos bajaran en 15% se calculara el nuevo flujo de fondos solo para ese caso, por lo que si los ingresos bajan en 20, 25, 30% o en cualquier cantidad diferente, el estudio se vera limitado. Por otra parte, no existe forma de interrelacionar los escenarios para poder tomar decisiones contingentes.

2.2 Teoría de opciones financieras

2.2.1 Opciones financieras

Una opción representa la libertad de elección, después de la revelación de información.

Una opción es el acto de escoger, el poder de elección o la libertad de alternativa. La

palabra proviene del francés medieval y se deriva del Latín *optio*, optare lo que significa querer, escoger, desear, elegir (Branch, 2003).

Una opción es el derecho mas no la obligación, de comprar o vender una cantidad determinada de un activo subyacente (puede ser una acción, una mercancía básica, divisa, instrumento financiero, etc.) a un precio preestablecido (llamado precio de ejercicio), dentro de un periodo determinado que comprende cualquier fecha anterior o igual al vencimiento de la opción. Como es un derecho y no una obligación, el poseedor de la opción puede elegir no ejercer el derecho y permitir que la opción expire. Existen dos tipos de opciones: opciones de compra (opciones "*call*") y opciones de venta (opciones "*put*"). Las opciones son los instrumentos más sencillos pero también los más flexibles para administrar riesgos.

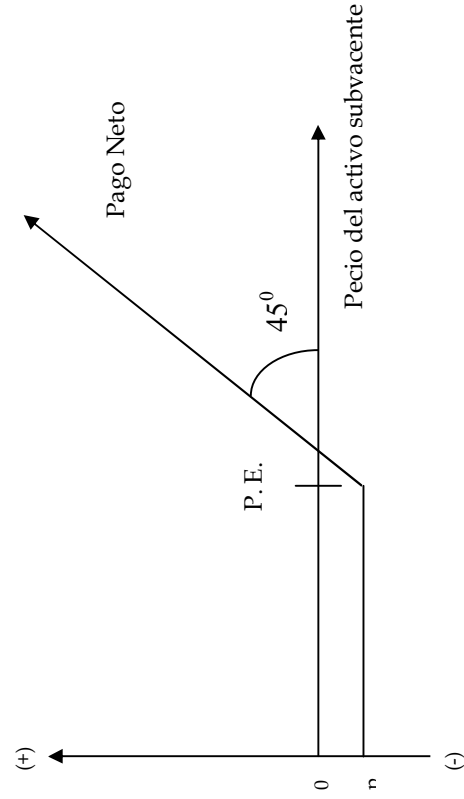
Una opción *call* da el derecho (más no la obligación) del comprador de la opción a comprar el activo subyacente a un precio previamente acordado llamado precio *strike* o precio de ejercicio, en cualquier tiempo determinado anterior o igual a la expiración de la opción. El comprador paga un precio (prima) por este derecho. Si a la fecha de expiración, el valor del activo es menor al precio de ejercicio, la opción no se ejerce y expira sin valor. Si, por otro lado, el valor del activo es mayor que el precio de ejercicio, entonces la opción es ejercida; esto es, el tenedor de la opción compra el activo al precio de ejercicio y la diferencia entre el valor del activo y este precio constituye la ganancia bruta de la inversión. La ganancia neta de la inversión es la diferencia entre la ganancia bruta y el precio pagado por la opción *call* al inicio (Damodaran, 1999).

El diagrama No. 1 que es conocido como "diagrama de pagos" o de "pérdidas o ganancias", muestra el pago en efectivo de una opción *call* en el momento de su expiración. El eje Y indica las pérdidas o ganancias netas que se dan como resultado de los movimientos del activo subyacente, una vez que la opción es adquirida. Al inicio el comprador de la opción paga una prima (distancia entre 0 y p), la cual representa una pérdida neta, y cuando la opción expira el pago neto puede estar por abajo o por arriba de cero, lo que indicará pérdida o ganancia. En el eje X se presenta el precio del activo

subyacente. Si el valor del activo subyacente es menor al precio de ejercicio, entonces el pago neto será negativo (igual al precio de la prima). Si por el contrario, el precio del subyacente es mayor que el precio de ejercicio, el pago bruto será la diferencia entre el valor del activo subyacente y el precio de ejercicio y el pago neto será la diferencia que exista entre el pago bruto y el precio de la prima de la opción call.

El diagrama 1 muestra que cualquier precio del activo subyacente menor o igual al precio de ejercicio significará una pérdida neta igual al valor de la opción (prima) y a partir de ese punto mientras más alto sea el valor del subyacente menor será la pérdida neta hasta llegar al punto donde se interceptan el precio del subyacente y el pago neto, en donde no habrá ni pérdidas ni ganancias, finalmente con precios del subyacente mayores se tendrán ganancias netas.

Diagrama 1: Perfil para el comprador de una call.

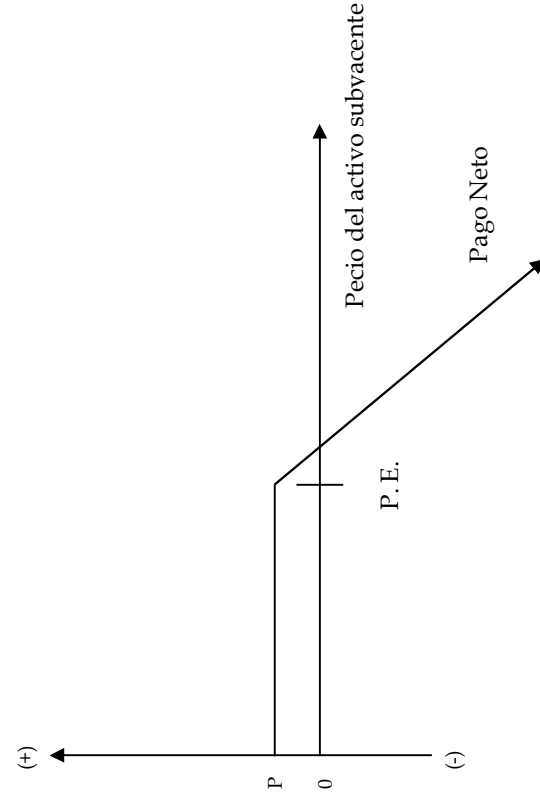


Fuente: Aswath Damodaran, 1999

El vendedor de una opción call tiene la obligación de vender el activo subyacente si el comprador de la opción hace uso de su derecho. El perfil para el vendedor de una call se presenta en el diagrama 2.

El diagrama 2 muestra que cualquier precio del activo subyacente menor o igual al precio de ejercicio significará una ganancia neta igual al valor de la opción (prima) y a partir de ese punto mientras más alto sea el valor del subyacente menor será la ganancia neta hasta, llegar al punto donde se interceptan el precio del subyacente y el pago neto, en donde no habrá ni pérdidas ni ganancia, finalmente con precios del subyacente mayores se tendrán pérdidas netas.

Diagrama 2: Perfil para el vendedor de una call.



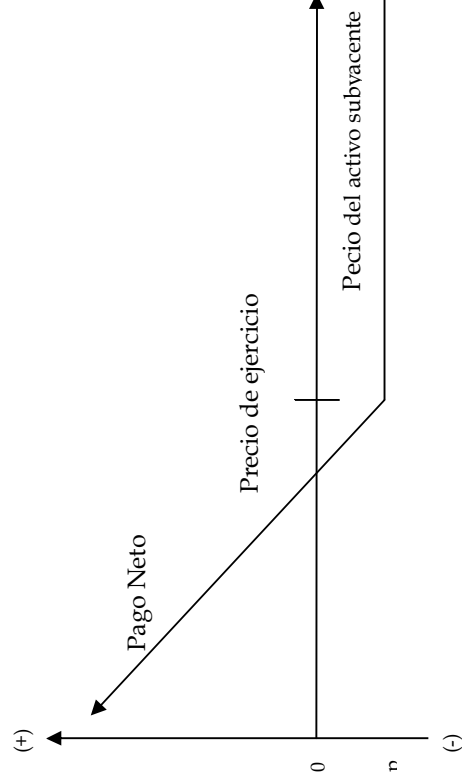
Fuente: Elaboración propia con base en diagrama 1

Una opción put le da al comprador de la opción el derecho (mas no la obligación) de vender cierta cantidad de un bien (activo subyacente) a un precio previamente acordado, llamado precio strike o precio de ejercicio, en cualquier tiempo determinado anterior o igual a la expiración de la opción. Para adquirir este derecho, el vendedor debe pagar una prima. Si el precio del activo subyacente es mayor que el precio de ejercicio, la opción no será ejercida y expirará sin valor. Si por el contrario, el precio del activo subyacente es menor que el precio de ejercicio, el poseedor de la opción put ejercerá la opción y venderá la acción al precio de ejercicio, siendo el pago bruto la diferencia entre el precio strike y el valor de mercado del activo. Una vez más, al incluir el costo inicial pagado por el put (prima), se obtiene el pago neto de la transacción.

Un put tiene pago neto negativo si el valor del activo subyacente es mayor que el precio de ejercicio, y tiene un pago bruto igual a la diferencia entre el precio strike y el valor del bien subyacente si el valor del activo es menor a este precio (Damodaran, 1999).

El diagrama 3 muestra el perfil de riesgo o de pérdidas o ganancias del comprador de una opción put. El eje Y indica las pérdidas o ganancias netas, que corresponden a movimientos del precio del activo subyacente durante el plazo de vigencia de la opción. El eje X mide el valor del activo subyacente. Al inicio el comprador de la opción paga una prima que representa una pérdida neta (distancia entre 0 y p). Si el precio del activo subyacente es mayor o igual que el de ejercicio, el comprador del put no ejercerá la opción y con ello perderá la prima pagada. En cambio, si el precio es menor que el precio de ejercicio, el poseedor de la opción la ejercerá y venderá el activo al precio previamente establecido. A medida que el precio del subyacente descienda las pérdidas del dueño de la opción también descenderán hasta llegar al punto donde convergen el precio del activo subyacente y la línea que representa el pago neto en donde las pérdidas o ganancias serán cero, a partir de ahí mientras más bajo sea el precio de mercado del activo subyacente, con relación al precio de ejercicio, mayores serán las ganancias.

Diagrama 3: Perfil para el comprador de una opción put.

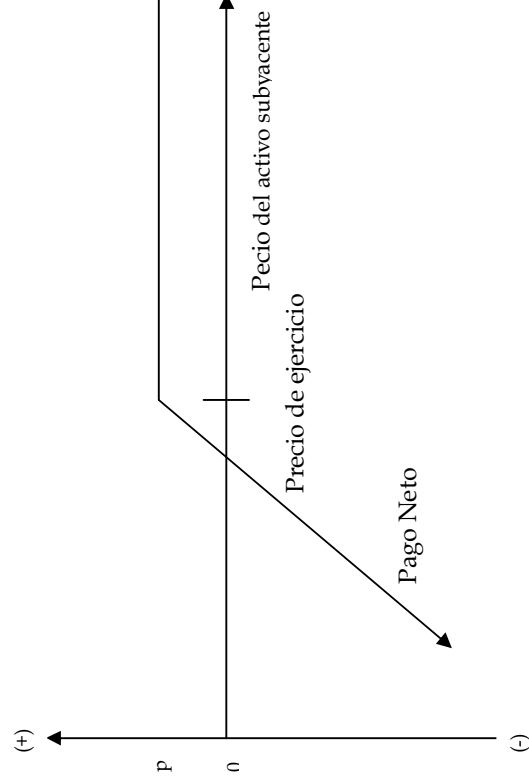


Fuente: Aswath Damodaran, 1999

El vendedor de una opción put tiene la obligación de comprar el activo subyacente si el comprador elige ejercer su opción para vender.

El diagrama 4 muestra el perfil de riesgo para el vendedor de una opción put. Al inicio el vendedor de la opción recibe una prima que representa una ganancia neta (distancia entre 0 y p). Si el precio del activo subyacente es mayor o igual que el de ejercicio, el comprador del put no ejercerá la opción y con ello el vendedor ganará la prima. A medida que el precio del subyacente descienda las ganancias del vendedor de la opción también descenderán hasta llegar al punto donde convergen el precio del activo subyacente y la línea que representa el pago neto en donde las pérdidas o ganancias serán cero, a partir de ahí mientras más bajo sea el precio de mercado del activo subyacente, con relación al precio de ejercicio, mayores serán las pérdidas.

Diagrama 4: Perfil para el vendedor de una opción put.



Fuente: Elaboración propia con base en diagrama 3

En esencia, las opciones actúan como seguros, porque proporcionan cobertura a su poseedor frente a subidas o caídas en el precio de los activos objeto de la transacción. Existen dos tipos de opciones, las opciones americanas y las opciones europeas, las

cuales se comercian tanto en Estados Unidos como en Europa. La diferencia entre ambas es que la opción americana puede ejercerse en cualquier momento durante la vida del contrato, mientras que la opción europea sólo puede ejercerse al vencimiento.

2.2.2 Variables que determinan el valor de una opción.

El valor de una opción esta determinado por cierto número de variables que relacionan el activo subyacente con los mercados financieros. Según Aswath Damodaran (1999), estas variables son:

1.- El valor actual del activo subyacente: las opciones son acciones que derivan su valor de un activo subyacente, consecuentemente, los cambios en el valor de éste, afectan el valor de las opciones sobre esa acción. Dado que las calls dan el derecho de comprar el activo subyacente a un precio establecido, un incremento en el valor de dicho activo, incrementará el valor de la call. Por el contrario, las opciones put se vuelven menos valiosas al incrementar el valor del activo subyacente.

2.- La varianza en el valor del activo subyacente: el comprador de una opción adquiere el derecho de comprar o vender el activo subyacente a un precio establecido. Mientras más alta sea la varianza en el valor de ese activo, mayor será el valor de la opción. Esto se cumple, tanto para los puts como para los calls. Aunque pareciera obvio que un incremento en la medida de riesgo (varianza) debería incrementar el valor, el supuesto no es redundante al tener en cuenta que las opciones son diferentes a otros instrumentos, ya que los compradores de opciones nunca pueden perder más que el precio que pagaron por ellas; de hecho, tienen el potencial de ganar retornos significativos al existir grandes movimientos de precios.

3.- Dividendos Pagados sobre el Activo Subyacente: el valor del activo subyacente puede disminuir si se hacen pagos de dividendos sobre este activo mientras dure la opción. En consecuencia, el valor de una opción call es una función decreciente del

monto esperado de los pagos de dividendos, y el valor de un put es una función creciente de los pagos esperados de dividendos. Una manera más intuitiva para enfocar los pagos de dividendos en las opciones call, es el costo de posponer el ejercicio de las opciones “in the money”. El poseedor de la opción tendrá un pago bruto al ejercer la opción. El ejercer la opción call proveerá al tenedor con la acción y lo hace acreedor a los dividendos sobre la acción en períodos subsiguientes. El no ejercer la opción implicará que estos dividendos se pierdan.

4.- Precio de Ejercicio de la Opción: una característica clave que se usa para describir una opción es su precio del ejercicio. En el caso de calls, donde el comprador adquiere el derecho de comprar a un precio fijo, el valor del call declinará mientras dicho precio se incrementa. En el caso de puts, donde el comprador tiene derecho de vender a un precio fijo, el valor se incrementará mientras este precio se incrementa.

5.- Tiempo de Duración de la Opción: tanto los puts como los calls incrementan su valor conforme el tiempo de expiración aumenta. Esto es porque mientras más grande sea el período, es mayor el tiempo que el activo subyacente tiene para variar su valor, y la opción para ejercerse, haciendo que el valor para ambos tipos de opciones crezca. Adicionalmente, en el caso de un call donde el comprador tiene que pagar un precio fijo a la expiración, el valor presente de este precio fijo disminuye cuando la duración de la opción se incrementa, haciendo que el valor de la opción call aumente.

6.- Tasa de Interés Libre de Riesgo correspondiente al período de vida de la Opción. Cuando el comprador de una opción paga el precio de la opción por anticipado, se involucra un costo de oportunidad. Este costo dependerá del nivel de las tasas de interés y el tiempo hasta la expiración de la opción. La tasa libre de riesgo también entra en la valuación de opciones cuando el valor presente del precio de ejercicio es calculado, pues este precio no tiene que ser pagado (o recibido) hasta la expiración de los dos tipos de opciones. Cuando la tasa de interés aumenta, se incrementará el valor de los calls y se reducirá el valor de los puts.

En el cuadro 1 se resume el efecto que tiene cada una de las anteriores variables en el precio de las opciones Call y Put.

Cuadro 1. Variables que afectan los precios de las opciones Call y Put.

VARIABLE	Efecto en:	
	Valor Call	Valor Put
Aumento en el valor del activo subyacente	Aumenta	Disminuye
Aumento en el precio de ejercicio	Disminuye	Aumenta
Aumento en la varianza del activo subyacente	Aumenta	Aumenta
Aumento en el tiempo de expiración	Aumenta	Aumenta
Aumento de la tasa de interés	Aumenta	Disminuye
Aumento en los dividendos pagados	Disminuye	Aumenta

Fuente: Aswath Damodaran, 1999

2.2.3 Métodos de valoración de opciones

En el análisis de opciones financieras existen múltiples metodologías y aproximaciones usadas para calcular el valor de una opción. Sin embargo, los métodos más usuales para la valorización de opciones son: el modelo binomial y el modelo desarrollado por Fischer Black y Myron Scholes, posteriormente complementado por Robert Merton (Modelo de Black & Scholes). Ambos métodos se basan en criterios muy simples que se derivan de la utilización de portafolios equivalentes y en los principios de comportamiento de los modelos de arbitraje. El modelo Black Scholes se basa en técnicas matemáticas de cálculo estocástico, donde existe ecuaciones que pueden ser resueltas dado un conjunto de supuestos, este método es exacto rápido y de fácil implementación, pero son muy específicos y con limitada flexibilidad.

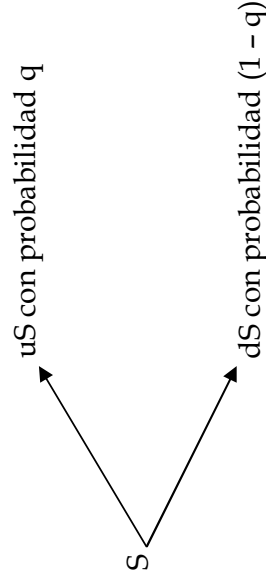
El método binomial en contraste tiene una gran flexibilidad, es de fácil implementación y se basa en matemáticas muy simples. Sin embargo, se requiere de cierto poder computacional y tiempo entre pasos para obtener buenas aproximaciones. Es importante señalar que en el límite los resultados obtenidos mediante el uso de árboles binomiales tienden a aproximarse a aquellos derivados por el método Black Scholes, y por ello se recomienda que ambas aproximaciones sean usadas para verificar los resultados (Mun, 2002).

2.2.3.1 Modelo binomial

El modelo binomial es un modelo discreto que fue propuesto originalmente por William Sharpe en 1978 y que se hizo ampliamente conocido con la publicación hecha por John Cox, Stephen Ross y Mark Rubinstein en 1979 (Branch, 2003). En la actualidad el modelo binomial de valoración de opciones es el más utilizado en la valoración de activos reales (Michael J. Mauboussin 1999).

En el modelo binomial es importante tomar en cuenta que no importa el tipo de problema sobre opciones reales que se este tratando de resolver, si se utiliza el método binomial la solución puede ser obtenida de dos formas. La primera es con el uso de un portafolio réplica, y la segunda es mediante el uso de probabilidades en un mundo neutral. La utilización del portafolio réplica es más difícil de entender y de aplicar pero los resultados obtenidos son idénticos que los alcanzados a través de probabilidades en un mundo neutral al riesgo, por lo que no importa cual método se utilice (Mun, 2002).

En este modelo se divide al tiempo entre el ahora y la fecha de expiración de la opción en intervalos discretos señalados por nodos. En cada intervalo o en cada nodo el valor del activo puede ir hacia arriba (uS) o hacia abajo (dS) cada uno con una probabilidad asociada " q " y " $(1-q)$ ". De esta forma, extendiendo esta distribución de probabilidades a lo largo de un número establecido de períodos se consigue determinar el valor teórico de una opción, que puede ser tanto de tipo europeo como americano.



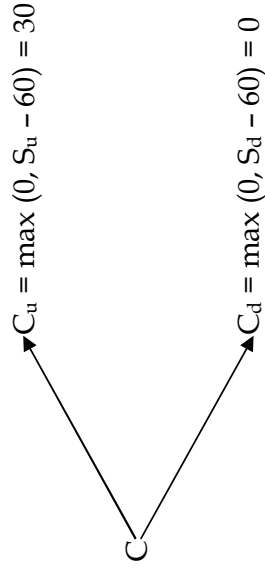
Para desarrollar el modelo binomial Cox, Ross y Rubinstein (1979), hacen los siguientes supuestos:

- El precio del activo subyacente sigue un proceso binomial multiplicativo a lo largo de períodos discretos de tiempo.
- Existencia de una tasa de interés sin riesgo a corto plazo (r_f) conocida, positiva y constante para el período considerado. Esto implica la posibilidad de prestar o tomar prestado al mismo tipo de interés (r_f).
- Inexistencia de costos de transacción, de costos de información e impuestos
- La acción o activo subyacente no paga dividendos, ni cualquier otro tipo de reparto de beneficios durante el período considerado.
- Todas las transacciones se pueden realizar de manera simultánea y los activos son perfectamente divisibles.

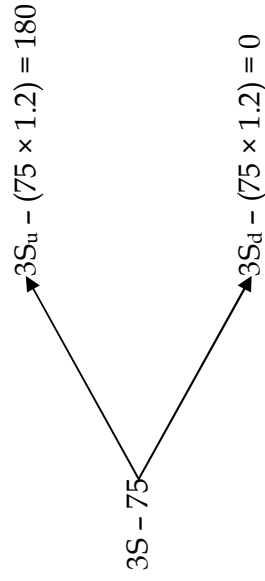
2.2.3.2 Portafolio réplica de una opción.

El concepto de portafolio réplica parte de la premisa de que si no es posible modelar la dinámica del precio de una acción, se puede crear una opción sintética; usando una estrategia de negociado dinámica. Específicamente, consistirá de una posición (larga o corta) en la acción y de un préstamo (deuda) que será ajustado en cada estado de la naturaleza. La idea es construir el portafolio de tal manera que su valor replique exactamente al valor de la opción en cada momento.

Para entender este concepto se utilizará el siguiente ejemplo: supóngase que la tasa de interés corriente es de 20% por período (interés simple), que el precio actual de la acción es de \$60, y que puede subir a \$90 o bajar a \$30. Por lo tanto, al final del período una opción call con un precio de ejercicio de \$60 valdrá \$30 o \$0, esto es:



Ahora supóngase que se compran 3 acciones y se pide prestados \$75.



Dado que este portafolio replica el rendimiento de la opción call debe costar lo mismo que al día de hoy (periodo de inicio)

$$C = 3S - 75 = 180 - 75 = 105$$

Por lo tanto, la opción call deberá intercambiarse en \$105. De otro modo, si por ejemplo el precio de la opción call fuera de \$100, se compraría inmediatamente, porque estaría subvalorada y se tomaría una posición corta en el portafolio (réplica) que contenga 3 acciones y \$75 de préstamo, con lo que se obtendría \$5 de ganancia. Se sabe que esta opción call por construcción cubrirá el valor del portafolio réplica en cada estado de la naturaleza.

Para obtener el portafolio réplica se utiliza la condición de que este vale lo mismo que la opción en cada momento. Ahora si se supone un portafolio compuesto por Δ acciones y un préstamo de \$L, que simula el valor de la opción.

Si el precio de la opción sube a \$90 se tiene:

$$90\Delta - 1.2L = 30.$$

Por el contrario, si el precio de la acción cae a \$30 se tendrá:

$$30\Delta - 1.2L = 0$$

Resolviendo este sistema de 2 ecuaciones se encuentra que $\Delta = 0.5$ y $L = 12.5$. Es importante señalar que el portafolio réplica debe tener la misma sensibilidad al precio de la acción que la opción call. Esta medida de sensibilidad se denomina "razón de hedge" o "delta" de la call, y esta dado por:

$$\Delta = \frac{\partial C}{\partial S} = \frac{30 - 0}{90 - 30} = \frac{1}{2}$$

2.2.3.3 El modelo general de un período.

Sea:

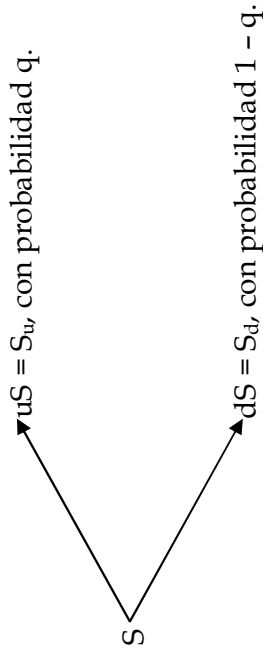
$u = 1 +$ tasa de retorno si el precio de la acción sube

$d = 1 +$ tasa de retorno si el precio de la acción baja

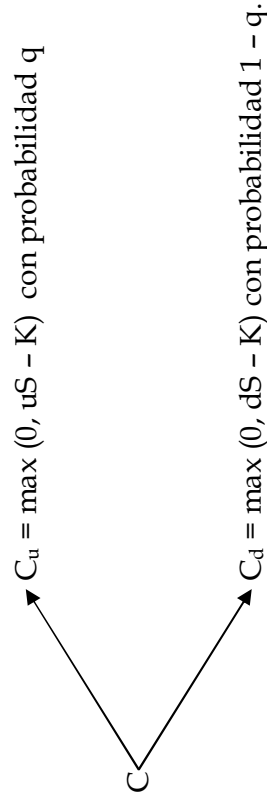
$r^* = 1 +$ tasa de interés

Tal que: $d < r^* < u$.

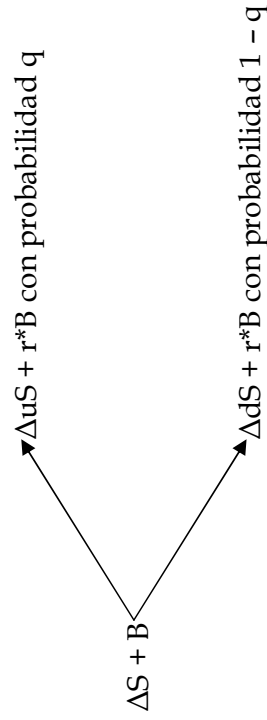
De tal modo que si el valor actual de de la acción es S , el valor de la acción al final del período será uS ó dS . Por lo tanto, el movimiento del precio de la acción esta dado por:



Para evaluar la opción call en esta situación, se supone que la fecha de expiración es de sólo un periodo, C es el valor actual de la opción, C_u es valor al final del período si el precio sube a uS , C_d es el valor si el precio baja a dS y K es el precio de la acción. Dado que se tiene solo un período, se sabe que una política racional implica que $C_u = \max[0, uS - K]$ y $C_d = \max[0, dS - K]$. Por lo tanto, el precio de la acción en la fecha de vencimiento está dado por:



Si se crea un portafolio que contenga Δ acciones y una cantidad B en certificados de la tesorería (CETES)¹. Al final del período el valor de este portafolio será:



Dado que se desea replicar el precio de la opción call. Entonces:

$$\Delta uS + r^*B = C_u$$

$$\Delta dS + r^*B = C_d.$$

Resolviendo estas ecuaciones, se obtiene:

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

Dado que: $d < r^* < u$, entonces $0 \leq p \leq 1$. Por lo tanto:

¹ La tasa de rendimiento de los CETES será la misma que la tasa de rendimiento de las acciones

$C = \Delta S + B$ Sustituyendo se tiene:

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

La ecuación anterior puede simplificarse si se define a:

$$p = \frac{r^* - d}{u - d} \quad \text{Y} \quad 1 - p = \frac{u - r^*}{u - d}$$

De este modo la ecuación queda de la siguiente forma:

$$C = \frac{pC_u + (1 - p)C_d}{r^*}$$

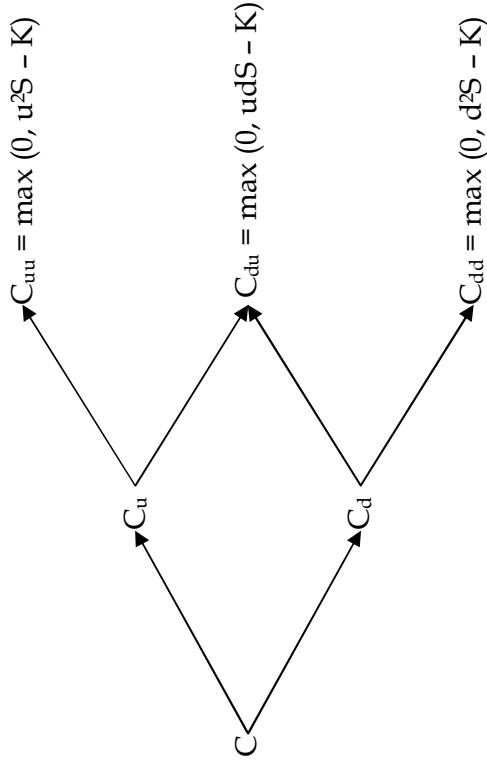
Esta es la formula que se utiliza para un periodo.

2.2.3.4 El modelo de dos periodos.

Para poder resolver un árbol binomial de varios periodos, es necesario resolver el modelo binomial de un periodo repetidamente.

En el caso de dos periodos, el valor del activo subyacente podrá tomar tres posibles valores, como se muestra en la figura 1.

Figura 1. Árbol binomial del valor del activo subyacente



Fuente: Cox J., Ross, S., y Rubinstein M. (1979)

Del caso de un período se sabe que:

$$C_u = \frac{pC_{uu} + (1-p)C_{ud}}{r^*} \dots\dots\dots A$$

$$C_d = \frac{pC_{ud} + (1-p)C_{dd}}{r^*} \dots\dots\dots B$$

Una vez que se obtiene C_u y C_d , se tiene nuevamente el caso de un período. Por lo tanto:

$$C = \frac{pC_u + (1-p)C_d}{r^*} \dots\dots\dots 1$$

Donde C_u y C_d están dados por las ecuaciones A y B, respectivamente. Sustituyendo a C_u y C_d en 1 y haciendo un poco de álgebra, se obtiene que:

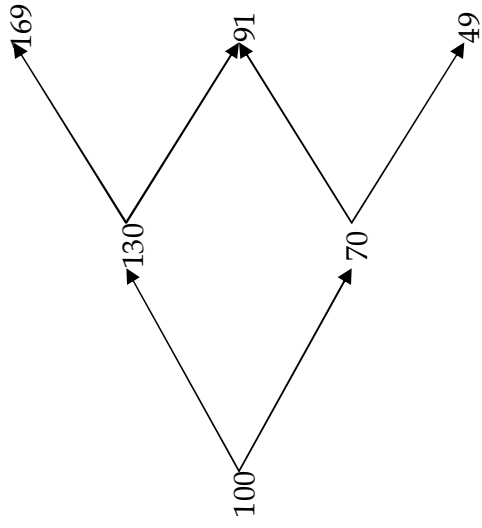
$$C = \frac{p^2C_{uu} + 2p(1-p)C_{ud} + (1-p)^2C_{dd}}{r^{*2}} \dots\dots 2$$

Con la formula 2 se puede calcular una opción call para dos períodos.

El siguiente ejemplo muestra como se puede utilizar la formula para dos períodos. Supóngase que la acción de una empresa X se está negociando en \$100. Con base en experiencia de mercado se sabe que el precio de esta acción puede aumentar o bien disminuir en 30% en los próximos 2 años. La tasa libre de riesgo anual es de 12%. El precio de una opción call a dos años sobre la acción de la empresa X que tiene un precio de ejercicio de \$80, será mayor.

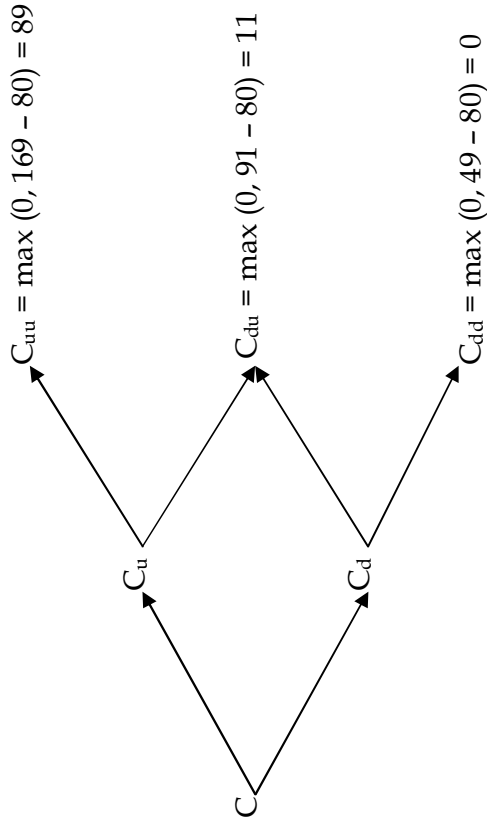
Con la información dada se sabe que: $u = 1.30$, $d = 0.70$, $r = 1.12$, por lo tanto de la definición de p se tiene: $p = \{(1.12 - 0.70) / (1.30 - 0.70)\} = 0.70$. Los árboles binomiales para esta opción call se presentan en las figuras 2 y 3.

Figura 2. Árbol binomial del valor del activo subyacente



Fuente: Elaboración propia con base en cálculos realizados

Figura 3. Árbol binomial del cálculo de la opción.



Fuente: Elaboración propia con base en figura 1.

Utilizando la fórmula 2 se tiene:

$$C = \frac{(0.70)^2(89) + 2(0.70)(0.30) + (0.30)^2(0)}{(1.12)^2} = \frac{43.61 + 4.62}{1.2544} = 38.44$$

Esto también se puede resolver obteniendo C_u y C_d .

$$C_u = \frac{(0.70)(89) + (0.3)(11)}{1.12} = 58.571 \qquad C_d = \frac{(0.7)(11) + (0.3)(0)}{1.12} = 6.87$$

Ahora sustituyendo estos valores y los de los parámetros en la ecuación 1 se tiene:

$$C = \frac{(0.7)(58.571) + (0.3)(6.875)}{1.12} = 38.44$$

Por lo cual el precio de la opción call el día de hoy es de \$38.44

2.2.2.5 El caso general: n períodos.

La ecuación 2 se puede generalizar al caso de n períodos.

Sea:

n = número de períodos.

j = número de movimientos hacia arriba necesarios para alcanzar un punto dado.

n - j = número de movimientos hacia abajo necesarios para alcanzar un punto dado.

El número de trayectorias que conduce a $Cu^j d^{(n-j)}$ está dado por:

$$\frac{n!}{j!(n-j)!}, \text{ donde } n! = n(n-1)(n-2) \dots 1$$

$$C = \frac{1}{r^{*n}} \sum_{j=0}^n \frac{n!}{j!(n-j)!} p^j (1-p)^{n-j} C_{u^j d^{(n-j)}}, \dots \dots \dots 3$$

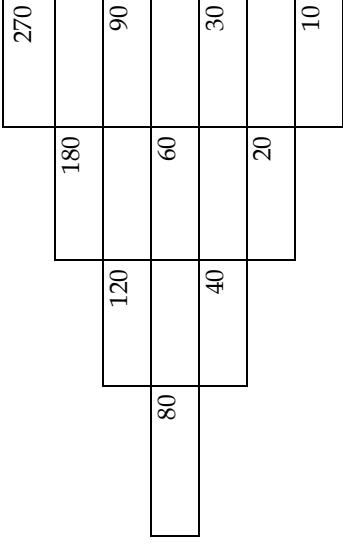
Donde: $C_{u^j d^{(n-j)}} = \max(0, u^j d^{(n-j)} S - K)$

El siguiente ejemplo muestra como se puede utilizar la formula No. 3.

Suponiendo que la acción de una empresa se está negociando en \$80. Con base en experiencia de mercado se sabe que el precio de esta acción puede aumentar o bien disminuir en 50% en los próximos 3 años. La tasa libre de riesgo anual es de 10%. ¿Cuál

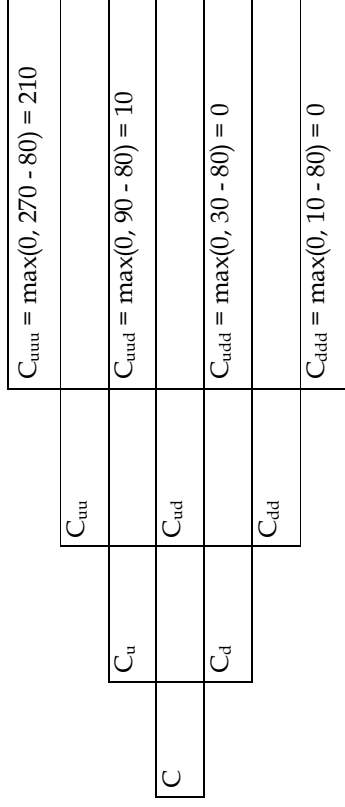
es el precio de una opción call a tres años sobre la acción de la empresa, que tiene un precio de ejercicio de \$80? Con la información dada se sabe que: $u = 1.50$, $d = 0.50$, $r^* = 1.10$. Por lo tanto de la definición 1 se tiene que $p = \frac{(1.10 - 0.50)}{(1.50 - 0.50)} = 0.60$. Los árboles binomiales para esta opción call se presentan en las figuras 4 y 5.

Figura 4. Árbol binomial del valor del activo subyacente



Fuente: Elaboración propia con base en cálculos realizados.

Figura 5. Árbol binomial del calculo de la opción



Fuente: Elaboración propia con base en cálculos realizados.

Utilizando la formula No. 3 se tiene:

$$C = \frac{1}{(1.10)^3} \left[\left(\frac{3x2x1}{3x2x1(1)} + (0.6)^3 (1)(210) \right) + \left(\frac{3x2x1}{2x1(1)} (0.6)^2 (0.4)(10) \right) + \left(\frac{3x2x1}{1(2x1)} (0.6)(0.4)^2 (0) \right) + \dots \right. \\ \left. + \left(\frac{3x2x1}{1(3x2x1)} (1)(0.4)^3 (0) \right) \right]$$

$$C = \frac{(0.6)^3(210) + 3(0.6)^2(0.4)(10) + 3(0.6)(0.4)^2(0) + (0.4)^3(0)}{(1.10)^3} = \frac{(0.216)(210) + (0.432)(10)}{1.331}$$

$$C = \frac{49.68}{1.331} = 37.32$$

2.2.3.6 Valoración mediante el uso del riesgo neutral

La segunda forma de resolver un problema sobre opciones reales con el método binomial es mediante el uso de probabilidades en un mundo neutral al riesgo. En este método, existe el requerimiento mínimo de al menos 2 enrejados (árboles). El primero es siempre el árbol del activo subyacente, y el segundo es el árbol de valoración de la opción. No importa que modelo de opciones reales sea de interés, la estructura básica toma la siguiente forma (Mun, 2002):

Argumentos: S, X, σ, T, r_f, b

$$u = e^{\sigma\sqrt{\delta t}} \quad y \quad d = e^{-\sigma\sqrt{\delta t}}$$

$$p = \frac{e^{(r_f - b)(\delta t)} - d}{u - d}$$

Donde:

S = Valor presente del activo subyacente

X = Valor presente de los costos e implementación de la opción

σ = volatilidad del logaritmo natural del flujo de retornos en porcentaje

T = tiempo de expiración en años

r_f = tasa libre de riesgo o la tasa de retornos del activo con menor riesgo

b = dividendos continuos de los flujos en porcentaje

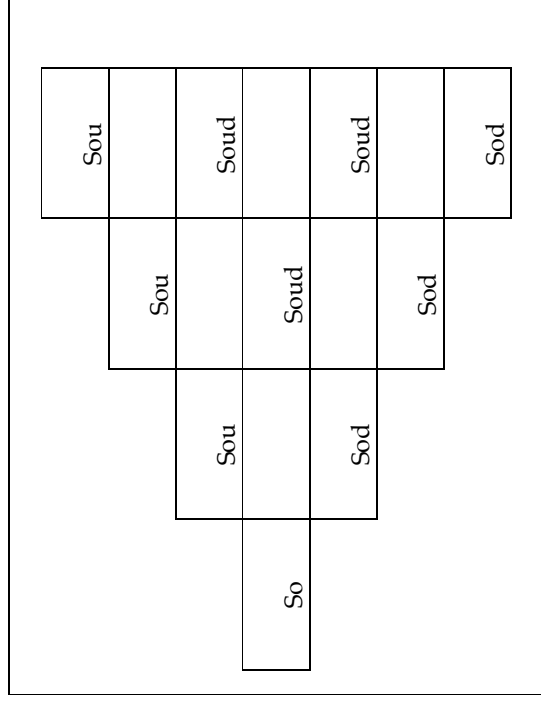
El método binomial requiere 2 sets de cálculos adicionales, que son el cálculo de los factores de ascenso y descenso (u y d), así como el cálculo de la probabilidad de riesgo neutral (p). De $u = e^{\sigma\sqrt{\delta t}}$ se puede ver que este factor es simplemente la función exponencial de la volatilidad del flujo de caja multiplicada por la raíz cuadrada de los

periodos de tiempo o el ciclo (δt). El período de tiempo es simplemente la escala, es decir si una opción tiene un año de maduración y el árbol binomial tiene 10 etapas, cada etapa tendrá un periodo de 0.1 años, la volatilidad es un valor anualizado multiplicado por la raíz cuadrada de los periodos (δt), por otra parte, el factor d es el recíproco del factor u y tiene la misma magnitud pero diferente signo. El segundo cálculo necesario es el de la probabilidad con neutralidad al riesgo, la cual se define como el cociente de la función exponencial de la diferencia entre la tasa libre de riesgo y los dividendos, multiplicado por el período de tiempo (δt), menos el factor d dividido por la diferencia entre los factores u y d .

$$p = \frac{e^{(r-b)(\delta t)} - d}{u - d}$$

Una vez que se obtienen los valores u , d y la probabilidad se puede crear el árbol binomial del valor del activo subyacente como en la figura 6.

Figura 6. Árbol binomial del valor del activo subyacente.



Fuente: Johnathan Mun, 2002 pagina 145

Se inicia con el valor presente del activo subyacente en el periodo cero (S_0), y se multiplica por los factores u y d , y así sucesivamente se va formando el árbol.

Se puede definir a la etapa como el número de ramas (eventos) en el árbol, como se observa el árbol binomial mostrado en la figura 6, tiene 4 etapas: iniciándose en el periodo cero, el primer paso tiene 2 nodos (Sou y Sod), mientras el segundo tiene tres, y así sucesivamente. En apariencia parece una tarea sencilla pero son necesarias muchas etapas para una buena estimación cuando se usa el método binomial. Ha sido demostrado en investigaciones pasadas que 1000 etapas son por lo general suficientes para una buena aproximación (Mun, 2002). Por lo anterior, es necesario calcular 501, 501 nodos para cubrir las 1000 etapas, por lo cual se hace absolutamente necesario la utilización de algún software que facilite tales cálculos. Los árboles binomiales a diferencia del modelo Black Sholes son muy fáciles de construir y requieren tan sólo simple algebra, son muy flexibles en el sentido de que se pueden adaptar a la mayoría de los problemas de opciones reales.

2.2.3.7 Modelo Black & Scholes

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

- Mercado financiero perfecto, en el sentido de que los inversionistas pueden prestar y pedir prestado al mismo tipo de interés sin riesgo, que es conocido y constante en el período estimado.
- No existen comisiones ni costos de transacción ni de información.
- Ausencia de impuestos, y si existieran, gravarían por igual a todos los inversionistas.
- La acción o activo subyacente no paga dividendos ni cualquier otro tipo de reparto de beneficios durante el período considerado.
- La opción es de tipo europeo, sólo puede ejercerse a su expiración.
- Son posibles las “ventas al descubierto” del activo subyacente, es decir, ventas sin poseer el activo.
- La negociación en los mercados es continua.

- El precio del subyacente (S) realiza un recorrido aleatorio con varianza (σ^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 período.

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

$$C = SN(d_1) - Xe^{-r(T-t)}N(d_2)$$

Donde:

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S}{X}\right) + \left(r + \frac{1}{2}\sigma^2\right)(T-t)}{\sigma(\sqrt{T-t})}$$

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

Siendo:

C = Precio de la opción "call"

S = Precio del activo subyacente

X = Precio de ejercicio

r = Tasa de interés libre de riesgo, en tiempo continuo.

t = Tiempo hasta la expiración de la opción

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

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

e = Base de los logaritmos neperianos 2.71823

ln = Logaritmo natural

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

$$P(S, T - t) = -SN(-d_1) + Xe^{-r(T-t)}N(-d_2)$$

Donde los valores d_1 y d_2 son los mismos que para la opción call.

2.2.4 La precisión en el método binomial

Cuando se utiliza el método binomial, un concepto importante que se tiene que considerar es que a mayor segmentación se tendrá mayor precisión, es decir, cuanto mayor sea el número de intervalos (nodos) mayor será la exactitud de los resultados. Por ejemplo, si un proyecto de opciones reales para 10 años es valorado usando 10 intervalos, el tamaño de cada intervalo (δt) será equivalente a un año; por otro lado, si se utilizan 100 intervalos, entonces (δt) será igual a 0.1 años.

Para ilustrar lo expresado en el párrafo anterior, supóngase que se tiene una opción financiera europea simple (call option), la cual tiene las siguientes características: un valor del activo de \$150, un precio strike de \$150, un período de expiración de 2 año, una tasa libre de riesgo del 7%, una volatilidad calculada del 15%, no se pagan dividendos, y dicha opción solo podrá ser ejercida al término del período.

El primer paso es resolver las ecuaciones del árbol binomial, es decir, calcular las dimensiones de las trayectorias hacia arriba y hacia abajo, así como calcular la probabilidad en un mundo neutral al riesgo. Si se emplean 5 nodos para resolver este problema, se tendrá una dimensión por nodo (δt) de 0.4 años (período de expiración de dos años dividido por 5). El procedimiento es el siguiente:

$$\begin{aligned}
 u &= e^{\sigma\sqrt{\delta t}} = e^{0.15\sqrt{0.4}} = 1.0995 \\
 d &= e^{-\sigma\sqrt{\delta t}} = e^{-0.15\sqrt{0.4}} = 0.9094 \\
 p &= \frac{e^{r(\delta t)} - d}{u - d} = \frac{e^{0.07(0.4)} - 0.9094}{1.0995 - 0.9094} = 0.6257
 \end{aligned}$$

2.3 Teoría de Opciones reales.

Las primeras preguntas que saltan a la vista al abordar este tema son: ¿Cómo habría que adaptar el modelo de valoración de opciones financieras para poder valorar opciones sobre activos reales? Y ¿Qué efectividad tiene realmente este método para las aplicaciones de activos reales?

De acuerdo con Amram y Kulatilaka (2000), este método es efectivo para valorar opciones reales. Un motivo por el cual el marco resulta efectivo para aplicarlo en opciones sobre activos reales es que los retornos de la decisión de inversión contingente se pueden determinar prácticamente ante cualquier situación. Esto es particularmente importante en el diseño proactivo de productos y contratos.

Otra razón por el cual el marco resulta efectivo par aplicarlo a las opciones sobre activos reales es que revela la naturaleza del riesgo implícito en dichos activos. Los directivos saben que a pesar de que algunos riesgos que deben asumir tienen su origen en el mercado, otros proceden de fuentes privadas que no afectan a nadie más.

En resumen, se puede decir que el método de las opciones reales amplía el modelo de valoración de opciones financieras para incorporar tanto los efectos del riesgo de mercado como los efectos del riesgo privado en las oportunidades de inversión estratégicas.

De acuerdo con Martha Amram y Nalin Kulatilaka (2000), en un sentido estricto, el método de las opciones reales es la extensión de la teoría de las opciones financieras a las opciones sobre activos reales (no financieros). Trigeorgis (1996), da la siguiente definición: *“similar a las opciones financieras, las opciones reales implican las decisiones flexibles o derechos sin obligación para adquirir o cambiar una alternativa de inversión”*

2.3.1 Como se convierte un proyecto de inversión en una opción real

Una oportunidad de inversión es como una opción call, porque da el derecho pero no la obligación de invertir en un nuevo negocio. Si pudiera encontrarse una opción call lo más semejante a la oportunidad de inversión, el valor de la opción proporcionaría información relevante sobre el valor de la oportunidad. Desafortunadamente, muchas oportunidades de negocio son únicas, así que la posibilidad de encontrar una opción parecida es muy baja, y la única manera viable de lograrlo es construyendo la opción. Para construir la opción es necesario establecer la analogía entre las características del proyecto y las variables que determinan el valor de una opción call simple en un intercambio de acciones. Al relacionar estas características con la oportunidad de negocio, bajo la estructura de una opción call, se obtiene un modelo del proyecto que combina sus características particulares con la estructura de dicha opción. Se modela con una opción call europea, que es la más simple de todas las opciones porque puede ser ejercida solo en su fecha de expiración, y la opción que resulta de este modelo no es un sustituto perfecto para la oportunidad real, pero como se ha diseñado de tal forma que se parezca lo más posible, es per se, informativa.

2.3.2 Análisis comparativo entre opciones financieras y opciones reales

Son cinco los conceptos que, por analogía, permiten la aplicación de las fórmulas de valoración de opciones financieras a los casos de opciones reales. El cuadro 2 muestra la equivalencia conceptual entre los parámetros necesarios para el cálculo del valor de una opción de compra, aplicado a las opciones reales.

Cuadro 2. Equivalencia entre opciones financieras y opciones reales.

OPCIÓN FINANCIERA	VARIABLE	PROYECTO INVERSIÓN/OPCIÓN REAL	DE
Precio de ejercicio	k	Costos de adquisición del proyecto (inversión inicial)	
Precio de la acción	s	Valor presente del flujo de efectivo futuro del proyecto	
Tiempo de expiración de la acción	t	Periodo durante el cual la opción es viable.	
Varianza del rendimiento del proyecto	σ^2	Riesgo que tiene el proyecto. Varianza del mejor y peor escenario.	
Tasa libre de riesgo	r	Tasa libre de riesgo (tasa de descuento)	

Fuente: Marion A. Branch, Pagina 43

En el cuadro 2 se ven las entradas (*inputs*) de las opciones financieras y cómo se adaptan para el enfoque de opciones reales. Las oportunidades de inversión se asemejan a una opción de compra (*call*), donde la cantidad de dinero invertida corresponde al precio de ejercicio de la opción (k). El valor presente del flujo de efectivo del proyecto corresponde al precio de las acciones(s). El período durante el cual la opción es viable, o el tiempo en el cual la compañía puede diferir la decisión de invertir sin perder la oportunidad corresponde al tiempo de expiración de la acción (t). La incertidumbre sobre el valor futuro de los flujos de efectivo del proyecto, esto es, el riesgo del proyecto, corresponde a la varianza del rendimiento del proyecto (σ^2). El valor del dinero en el tiempo esta dado en ambos casos por la tasa libre de riesgo (r).

2.3.3 Tipos de opciones reales.

Una opción real es el derecho mas no la obligación, de tomar una acción sobre un activo a un precio preestablecido (llamado precio de ejercicio), dentro de un período de tiempo predeterminado, que es la vida de la opción (Scialdone , 2007).

Las opciones reales básicas se presentan en el cuadro 3.

Cuadro 3. Opciones reales básicas.

Opción de diferir	Esperar hasta que nueva información, reduzca la incertidumbre de mercado.
Opción de abandono	Deshacerse de un proyecto no rentable.
Opción de cambio	Cambiar los parámetros de entrada/salida o el modus operandi.
Opción de expansión/contracción	Alterar la capacidad dependiendo de las condiciones de mercado.
Opción de crecimiento	Considerar oportunidades futuras.
Opción de inversión por etapas	Seccionar la inversión en etapas.

Fuente: Marion A. Branch, Pagina 67

2.3.3.1 Opción de diferir.

Opción de diferir, también conocida como opción de esperar para invertir, deriva su valor de la reducción de la incertidumbre; retrasando la decisión de invertir hasta que se haya obtenido mayor información.

Este tipo de opción tiene valor para aquellas empresas que planean una expansión o una gran inversión irreversible, pero que enfrentan elevada incertidumbre económica. Realizar una inversión en estas condiciones sería como realizar una apuesta esperando que el contexto sea favorable. Por lo que esta opción reconoce que el esperar a que se disipe dicha incertidumbre tiene valor. Una inversión sólo es recomendable cuando su valor es mayor que el valor de la opción de esperar.

Un ejemplo de esta opción es el siguiente: una agroindustria quiere hacer una inversión en el desarrollo de un producto nuevo, el cual no se sabe si tendrá buena aceptación en el mercado, debido a lo cual la gerencia ha decidido crear una opción de espera estratégica que le permita en el periodo de un año replantear si es conveniente hacer la inversión. Una vez realizados los estudios de viabilidad pertinentes, el valor actualizado de los flujos netos de caja ajustados a una tasa del 10% es de 480 millones de pesos, y la inversión inicial de 500 millones. Así pues, el VAN de la inversión es:

$$VAN = - 500 + 480 = -20$$

La volatilidad de la inversión que es determinada por la volatilidad de sus flujos netos de caja es de 30%.

Se desea calcular el valor de la opción, y en consecuencia el VAN ampliado o VAN total.

$VAN_{total} = VAN_{normal} + Valor \text{ de la opción.}$

Utilizando el método binomial para el cálculo del valor de la opción se requieren los siguientes argumentos:

s = Valor del activo subyacente, el valor actual de este activo es el valor presente del flujo de efectivo esperado de iniciar el proyecto ahora, el cual es de 480 millones.

σ^2 = Varianza en el valor del activo que se determina a partir de la volatilidad de los flujos de caja, que es del 30%

t = Fecha de expiración de la opción: el período durante el cual la opción es viable en este proyecto es de 1 año.

r = Tasa libre de riesgo, es la tasa de interés real anual libre de riesgo y se calcula de la siguiente manera:

$$\frac{1 + Cetes}{1 + \Pi^e} = 1 + r$$

Donde:

CETES: tasa de interés que pagan los certificados de la tesorería.

Π^e : Inflación esperada.

r : tasa de interés real.

Si CETES = 7.43% y Π^e = 4%

$$\frac{1.0743}{1.0016} = 1 + r$$

$$1.0726 = 1 + r$$

$$r = 7.26\%$$

Con los argumentos anteriores se calcula el valor u , d , p , y q .

u = coeficiente o factor de ascenso del valor del activo subyacente, y se calcula de la siguiente manera:

$$u = e^{\sigma\sqrt{\delta t}} = e^{0.3\sqrt{1}} = 1.3498$$

d = Coeficiente o factor de descenso. Este coeficiente, al igual que el de ascenso mide la amplitud de la variación del subyacente, y para este proyecto es el siguiente:

$$d = e^{-\sigma\sqrt{\delta t}} = e^{-0.3\sqrt{1}} = 0.7408$$

p = L a probabilidad de riesgo neutral es:

$$p = \frac{e^{rf(\delta t)} - d}{u - d} = \frac{e^{0.0726(1)} - 0.7408}{1.3498 - 0.7408} = 0.5491$$

$$q = 1 - p = 0.4509$$

El valor actual de la inversión puede ascender en un año hasta tomar el valor de 647.93 millones ($480 * 1.3498$) o, por el contrario, descender hasta 355.59 millones ($280 * 0.7408$).

La decisión de realizar o no el proyecto al finalizar el primer año puede tomar dos valores posibles:

$$C_u = \text{Max} [(647.93 - 480), 0]$$

$$C_d = \text{Max} [(355.59 - 480), 0]$$

En el primer caso a la empresa le conviene realizar el proyecto, mientras que en el segundo caso lo más conveniente es no invertir. De ese modo no gana, pero evita el tener que incurrir en una cuantiosa pérdida.

De este modo el valor del VAN al término del año 1 es:

$$VAN_1 \text{ total} = (647.93 \times 0.55) + (0 \times 0.45) = 355.84 \text{ millones}$$

El valor del VAN en el momento cero es:

$$VAN_0 \text{ total} = 355.84 \times (1.0726)^{-1} = 331.75$$

El valor de diferir un año es:

$$331.75 - (-20) = 351.75 \text{ millones.}$$

O, dicho de otra manera, el VAN total es igual al VAN normal más el valor de la opción.

$$331.75 = -20 + 351.75$$

Con lo cual queda claro que pese a su VAN negativo inicial, es conveniente esperar un año para invertir, porque si las condiciones de mercado mejoran se puede obtener un VAN positivo.

2.3.3.2 Opción de abandono.

La opción de abandono es una opción de venta. Es el derecho de deshacerse de un proyecto y recobrar el valor de salvamento, cuando las expectativas de mercado no se cumplen. En esencia una opción de venta es la barrea en contra de una situación adversa. La venta de un proyecto compensa de las pérdidas y permite invertir en nuevos proyectos o en opciones reales más valiosas (Branch, 2003).

Esta opción es valiosa para aquellas empresas que tienen incertidumbre sobre si emprender un determinado proyecto de desarrollo de algún producto porque desconocen el tamaño del mercado, o no se sabe si podrán cumplir con los

requerimientos técnicos o legales. Ante incertidumbre algunas herramientas tradicionales recomiendan no desarrollar el producto. Pero esto es porque estás herramientas no consideran la opción de abandonar cuando sea conveniente. Por lo que con esta opción, lo conveniente es comenzar el desarrollo, avanzar mientras se van cumpliendo las metas y abandonarlo si los resultados no son los esperados.

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

- a) Se debe tener en cuenta en la decisión de inversión.
- b) Determinar el momento en el que el valor de abandonar alcanza su máximo.

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

En general, un proyecto debería ser abandonado en los siguientes casos:

- a) Su valor de abandono exceda el valor presente de los flujos de caja futuros.
- b) Que sea mejor abandonarlo ahora que después (momento óptimo de abandono).

Para ilustrar esta opción, supóngase que una empresa farmacéutica esta realizando estudios en un nuevo medicamento, sin embargo, debido a la incertidumbre que existe en el mercado, las pruebas que tienen que realizarse que pueden ser éxitos o fracasos y la aprobación que tiene que hacer la secretaria de salud, la gerencia ha decidido crear una opción de abandono estratégica que le permita revisar el progreso de la investigación, y decidir si conviene continuarla o darla por terminada. Si el estudio es

concluido con éxito la empresa podría vender la patente, o bien explotarla comercialmente. El periodo de tiempo contemplado para desarrollar el medicamento es de 5 años, dentro de los cuales la opción de abandono puede ser ejercida a criterio de la gerencia.

Utilizando el modelo tradicional de flujo de caja descontado el valor presente neto es de 200 millones, la tasa libre de riesgo calculada es de 7%, la volatilidad implícita es del 25%, se sabe que el valor de salvamento de la patente es de 150 millones. Por simplicidad, suponga que estos 150 millones son fijos por los próximos 5 años. Con esta información se calcula el valor de la opción, y cuanto vale para la empresa este proyecto, para ello se utiliza la forma de una opción americana, porque puede ser ejercida en cualquier momento.

Los argumentos necesarios para el cálculo de esta opción mediante el método binomial son:

Valor residual = 150

Valor del activo subyacente = 200

Volatilidad = 25%

Tasa libre de riesgo = 7%

Duración de la opción = 5 años

$$u = e^{\sigma\sqrt{\delta t}} = e^{0.25\sqrt{1}} = 1.284$$

$$d = e^{-\sigma\sqrt{\delta t}} = e^{-0.25\sqrt{1}} = 0.7788$$

$$p = \frac{e^{r_f(\delta t)} - d}{u - d} = \frac{e^{0.07(1)} - 0.7788}{1.284 - 0.7788} = 0.5491$$

$$q = 1 - p = 0.4509$$

El valor actual de la inversión puede ascender en el primer año hasta tomar el valor de 256.80 millones (200 * 1.284) o, por el contrario, descender hasta 155.76 millones (200 * 0.7788). Este proceso se va realizando en cada nodo hasta llegar al año 5, que tiene 6 posibles resultados.

2.3.3.3 Opción de cambio de escala (expandir/contraer)

Esta opción es la flexibilidad que tiene la empresa de alterar su capacidad en respuesta a cambios en las condiciones de mercado. Esto puede conducir a que un proyecto sea redimensionado (reducido o ampliado).

La opción de expansión se da como respuesta a condiciones favorables de mercado, la empresa puede expandir la escala de producción o acelerar la utilización de los recursos disponibles. La alternativa de expandir es equivalente a una opción de compra. La gerencia tiene la alternativa de construir una planta con capacidad en exceso del nivel esperado de demanda y, de esa forma, estar preparada para producir a un mayor ritmo, en el caso que la demanda exceda las expectativas iniciales. Por el contrario, si las condiciones de mercado resultan menos favorables que lo inicialmente esperado, la empresa puede bajar su nivel de operación. Esta alternativa es análoga a una opción de venta.

Un ejemplo de opción de expansión es el siguiente: supóngase que una empaedora de productos agropecuarios tiene un valor actual neto de 500 millones de pesos, que la tasa libre de riesgo es de 7% para los próximos 5 años, y que la volatilidad implícita de los retornos del futuro flujo de caja del proyecto es de 30%, además suponga que esta empaedora tiene la opción de expandir y duplicar sus ventas, si construye una planta nueva en algún momento en los próximos 5 años; lo cual tendría un costo de 300 millones de pesos ¿Cuál será el valor total de la empaedora asumiendo que se toma en cuenta la opción de expandir?

Para calcular el valor total de la empaedora se decide utilizar el método binomial en la forma de una opción "call" americana, porque la opción de expandir las operaciones de la empaedora puede ser ejercida en cualquier momento antes de la fecha de expiración. Las figuras 11 y 12 muestran los resultados utilizando la aproximación binomial en donde se estima un valor de la opción de 805.27 utilizando 5 pasos. Los argumentos necesarios para el cálculo de esta opción mediante el método binomial son:

a duplicar su capacidad existente menos los costos de construcción de la planta ó $2(\$2877.30)-\$300 = 5454.60$, el cual es mayor a 2877.30, que es el valor sin expansión.

Posteriormente se obtienen los valores intermedios como en el nodo d que tiene un valor de 1770.5774 millones, porque el valor de expansión en ese nodo es $2(\$1006.87) - 300 = 1713.75$, por otro lado el valor de continuar con la opción abierta es: $[(p)(2596.84)+(1-p)(1158.26)]\exp[-(rf)(\delta t)] = \1770.57 millones que es más alto que el valor de expansión, usando la técnica de inducción regresiva el valor de la opción es calculado como 805.27 millones. Como el valor obtenido por medio del flujo de caja descontado es de \$500 millones para las operaciones actuales, el valor de construir una planta nueva hoy es el valor de duplicar sus operaciones actuales menos los costos de construcción, esto es $2(\$500) - \$300 = \$700$ millones, es el valor presente neto sin flexibilidad, los 105.27 millones es el valor de la opción real, y el valor combinado de 805.27 es el valor presente neto expandido que es el valor total correcto de esta empaadora.

Por su parte, una opción de contraer se presenta en el siguiente ejemplo: supóngase que una empresa no esta segura de la demanda de mercado de sus productos y decide protegerse con una opción de contracción, lo cuál le permitirá reducir sus operaciones un 40% durante los próximos 5 años; también supóngase que la empresa tiene un valor actual neto de 500 millones de pesos, que la volatilidad es de 40%, que la tasa libre de riesgo para los próximos 5 años es de 0.05% y que al contraer sus operaciones se tendrá un ahorro de 100 millones de pesos. Para calcular el valor de la empresa se decide utilizar el método binomial en la forma de una opción "call" americana, porque la opción de contraer las operaciones de la empresa puede ser ejercida en cualquier momento antes de la fecha de expiración. Las figuras 13 y 14 muestran los resultados utilizando la aproximación binomial en donde se estima un valor de la empresa con opción de contracción de 524.46.

Para hacer los cálculos en la Figura 14 se parte de los valores finales, y se van obteniendo los valores intermedios, por ejemplo se observa que el nodo terminal s tiene un valor de \$312.29 millones, los cuales se obtienen de la maximización del valor de la opción de contracción, versus continuar sin cambios. El valor de contracción es equivalente a reducir el 40% de su capacidad existente, más los ahorros que se generen por dicha reducción ó $0.4(\$303.26)+\$100 = 312.29$ para el nodo s, del mismo modo para los nodos f, j, n, o, t, y u lo más conveniente es contraer, mientras que para el resto de los nodos lo mejor será continuar sin cambios manteniendo la opción de contracción abierta ó $[(P) (\$24.36)+ (1-p) (\$312.29)] \exp. [(-rf) (\delta t)] = \504.91 millones para el nodo m, y así continuamos hacia atrás hasta el nodo inicial para obtener un valor de \$524.46. Debido a que el valor obtenido a través de del flujo de caja descontado es de \$500 millones, se puede decir que la diferencia de \$24.46 millones de valor adicional es debido a la opción de abandono; por lo anterior, el proyecto con opción de abandono tiene mayor valor que su valor estático.

2.3.3.4 Opción de cambio.

Una opción de cambio es un derivado dependiente de un activo subyacente, el pago de esta opción depende de barreras predeterminadas, una barrera inferior y una barrera superior. La opción de cambio se activa cada vez que la acción alcanza la barrera y se desactiva si la acción alcanza la otra barrera, el pago durante el ejercicio esta en función del valor del activo subyacente si la opción es activada durante el ejercicio, esta opción nunca es cero y nunca se cancela. Con la creciente volatilidad del activo subyacente, la opción de cambio tiene alta probabilidad de ser activada y desactivada, el siguiente ejemplo clarificará este tipo de opción.

Supóngase que una empresa quiere protegerse mediante el uso de una opción estratégica, específicamente lo que se desea es tener la alternativa de elegir entre 3 tipos de opciones: a) expandir operaciones 30%, lo cual tendrá un costo de implementación de 30 millones, b) contraer sus operaciones 10% lo que implicaría ahorros adicionales

por 35 millones y c) abandonar completamente sus operaciones en algún momento dentro de los próximos 5 años. Suponga también que la empresa tiene un valor actual neto de 150 millones, que la volatilidad implícita es de 15% y que la tasa libre de riesgo para los próximos 5 años es de 5%. Finalmente, si se abandona el proyecto la empresa puede vender sus propiedades intelectuales por 150 millones.

En las figuras 15 y 16 se muestran los resultados del análisis usando el método binomial, donde el valor de la opción real es calculado en 28.54 millones.

Figura 15. Árbol binomial del valor del activo subyacente.

				G		K		P
				235.25		273.32		317.55
		D		H		L		Q
		202.48		174.27		202.48		235.25
		E		I		M		R
		174.27		129.11		150.00		174.27
		B		J		N		S
		129.11		95.64		111.12		129.11
		C		O		T		T
		150.00		82.32		95.64		95.64
		F		U		U		U
		111.12		70.85		82.32		70.85
A								
150.00								

Fuente: Elaboración propia con base en cálculos realizados.

Figura 16 Árbol binomial, calculo de la opción de cambio.

				P	
				K	Q
		G		L	R
		D	H	M	S
		B	E	I	N
		A	C	F	J
178.54		204.78	175.87	150.00	150.00
	158.26		238.14	278.67	326.78
		201.52	234.68	172.50	150.00
		156.23	196.56	150.00	150.00
		150.00	150.00	150.00	150.00
			150.00	150.00	150.00
				150.00	150.00
					382.82

Fuente: Elaboración propia con base en cálculos realizados.

Para realizar los cálculos en la Figura 15, se utilizó el coeficiente de ascenso del activo subyacente (u) y el coeficiente de descenso (d). El coeficiente u se calcula en 1.1618, y el coeficiente d en 0.8607, de tal modo que iniciando con un valor del activo subyacente de 150 millones y multiplicándolo por los factores u y d se obtienen \$174.27 y \$129.10 millones, respectivamente; y, así sucesivamente, se van realizando los cálculos hasta llegar al periodo 5, en donde se tiene un abanico de 6 resultados posibles.

Posteriormente se calcula el valor de la opción, como se muestra en la figura 16, utilizando los valores obtenidos en el árbol 15, y se inicia con el cálculo de los nodos terminales hasta llegar al nodo inicial, mediante el proceso de inducción regresiva.

En la Figura 16 se observa que el nodo terminal p tiene un valor de \$382.82 millones, los cuales se obtienen de la maximización de las opciones de expansión, continuar sin cambios, abandono y contracción. Al término de los 5 años, la empresa tiene la opción de elegir como quiere que continúen sus operaciones a través de esas opciones. Por

lógica la dirección de la empresa elegirá la estrategia que maximice ganancias, de este modo se puede ver que el valor de la opción de abandono en el nodo p es de 150 millones, el valor de expansión es de $1.3(\$317.55)-\$30 = \$382.82$ millones, el valor de contracción es de $0.9(\$317.55)+\$37.5 = 323.29$, que equivale al 90% de sus operaciones más los 37.5 de ahorros y por último el valor de continuar con las operaciones existentes puede verse en la figura 15, en el mismo nodo p el cual es de 317.55 millones. Por lo tanto la decisión de maximizar ganancias es expandir las operaciones en el nodo p. Este mismo proceso se va realizando en cada uno de los nodos eligiendo la opción que maximice ganancias, hasta llegar al nodo inicial.

En la Figura 16 el árbol binomial se calcula hacia atrás hasta el punto inicial, el cual tiene un valor de \$178.54 millones. Como el valor presente del activo subyacente es de \$ 150 millones, el valor de la opción real es de 28.54 millones. Si el proyecto es analizado separadamente se obtienen diferentes resultados, los cuales se muestran a continuación:

Únicamente la opción de abandono = 9.47 millones

Únicamente la opción de contracción = 22.5

Solamente la opción de expansión = 21.74

Suma de las 3 opciones = 53.71

Los resultados que se obtienen desarrollando cada una de las opciones por separado, y después sumándolas son diferentes e incorrectos debido a que no se toma en cuenta la interacción de los diferentes tipos de opciones en el mismo proyecto, como en el ejemplo de las figuras 9 a 16. La razón del porque la suma de las opciones individuales no es igual a la interacción de las mismas, es debido a que una empresa nunca puede expandir sus operaciones y abandonarlas al mismo tiempo en el mismo nodo, por lo que con la opción de elección y utilizando el método binomial se puede capturar la interacción de los diferentes tipos de opciones.

2.3.3.5 Opción de crecimiento.

Una compañía adquiere una opción de crecimiento para hacer una inversión en un nuevo mercado, una nueva línea de producción o en nueva tecnología. Tal inversión a menudo requiere mayor inversión inicial de lo que la utilidad podría justificar. En otras palabras, el valor actual neto resulta negativo, sin embargo, el valor de esta oportunidad de inversión viene de la creación de futuras oportunidades de crecimiento (Branch, 2003).

2.3.3.6 Opción de inversión por etapas

Este tipo de opción se presenta cuando las inversiones de capital se realizan en diferentes etapas del proyecto como medida contingente contra la incertidumbre. La mayoría de los proyectos se desarrollan en una serie de pasos sucesivos, en donde cada uno depende de la culminación exitosa del paso precedente, y la gerencia tiene la opción de evaluar el proyecto en cada etapa.

Un proyecto de inversión o una oportunidad de invertir es semejante a una opción call, porque el inversionista tiene el derecho pero no la obligación de poner el proyecto en marcha, o comprar los activos de un negocio ya establecido. Lo deseable es encontrar una opción call similar a la oportunidad de inversión para que el valor de la opción proporcione información relevante sobre el valor del proyecto, pero existen muchas oportunidades de invertir que son únicas para las cuales el encontrar una opción equivalente es casi imposible, por lo que se tiene que construir la opción. Para hacerlo, se tiene que realizar un análisis comparativo entre las opciones financieras y las opciones reales, es decir, establecer la correspondencia entre las características del proyecto y las cinco variables que determinan el valor de una opción call simple en un intercambio de acciones.

3. EJEMPLIFICACION DEL USO DE OPCIONES REALES EN PROYECTOS PREVIAMENTE EVALUADOS CON EL METODO TRADICIONAL

La evaluación tradicional de proyectos es una técnica que ayuda a tomar decisiones; no obstante, cuando estas decisiones están ligadas a proyectos que estarán insertos en ambientes de elevada incertidumbre y de alta competencia, dicha técnica presenta deficiencias, lo que puede llevar a una toma de decisiones equivocada, es por ello que es necesario incorporar a la tradicional forma de evaluar proyectos, instrumentos y metodologías que permitan “administrar” el riesgo. Una de estas metodologías es la de opciones reales.

En este capítulo se hace una revisión de proyectos evaluados previamente con el enfoque tradicional: Valor Actual Neto (VAN) y tasa interna de retorno (TIR), para identificar sus limitaciones y complementar su evaluación con el enfoque de opciones reales. La evaluación de estos proyectos mediante el enfoque de opciones reales se hace utilizando los métodos binomial (valoración neutral al riesgo) y Black - Scholes. Los proyectos analizados son los siguientes: proyecto de inversión para el establecimiento de una planta empacadora de camarón en el sur de Sonora y proyecto de inversión para el cultivo en invernadero de *Lilium sp.* Variedad asiática (*lily*) en el municipio de Texcoco, estado de México.

3.1 Proyecto de inversión para el establecimiento de una planta empacadora de camarón en el Sur de Sonora².

Descripción: Evaluar la factibilidad y rentabilidad de un proyecto para establecer una planta empacadora de camarón en el sur de Sonora, para lo cual se establece un plan de producción semi - intensivo en una superficie total de 1,354 hectáreas con una

² Ortiz Rosales Miguel Ángel “Proyecto de inversión para el establecimiento de una planta empacadora de camarón en el Sur de Sonora”. Tesis (maestría en economía) Colegio de Postgraduados, 2005.

producción esperada de 3467.52 toneladas de camarón, que se empastrarán en su totalidad en la planta. El tipo de camarón a procesar es de la especie *Litopenaeus vannamei* ó *Litopenaeus stylirostris*, y se empastrará en fresco y a granel en contenedores de 45 kilogramos. El mercado para el camarón del sur de Sonora son los Estados Unidos de América, a mediano plazo se pretende explorar el mercado nacional.

Inversión total: El monto total requerido para la implementación del proyecto y su distribución es la siguiente:

Cuadro 4. Inversión total (USD) del proyecto de empastrado de camarón.

CONCEPTO	MONTO
Inversión fija	3,350,425.86
Inversión diferida	60,194.57
Capital de trabajo(15 semanas)	9,174.67
Inversión total del proyecto	3,419,795.09

Fuente: Ortiz, 2005

Costo del capital o tasa de actualización utilizada: 12%

Los indicadores obtenidos con el enfoque tradicional se presentan en el cuadro 5.

Cuadro 5. Indicadores obtenidos del proyecto de empastrado de camarón

INDICADOR	VALOR OBTENIDO
VAN	643,963.37 USD.
B/C	\$1.04
TIR	15.90%

Fuente: Ortiz, 2005

Se acepta el proyecto por tener un VAN positivo, una relación Beneficio costo mayor a uno y una Tasa Interna de Retorno (TIR) mayor a la tasa de descuento.

Además, de lo anterior se realiza un análisis de sensibilidad bajo los siguientes supuestos;

- a) Reducción del 5% en el precio de empacado del camarón.
- b) Disminución del 10% en el precio de empacado.

Los resultados obtenidos de los escenarios supuestos son los siguientes:

Cuadro 6 Análisis de sensibilidad del proyecto de empacado de camarón.

CONCEPTO	ESCENARIO A	ESCENARIO B
TIR	13.57%	11.19%
VAN	256,183.83	-131,595.70
B/C	1.02	0.99

Fuente: Ortiz, 2005

Observaciones:

- Una vez realizada la inversión es irreversible.
- Según la evaluación tradicional este proyecto es poco atractivo debido a que tiene una relación beneficio costo de 1.04, es decir, que por cada dólar invertido solo se obtienen 4 centavos de ganancia.
- De acuerdo con la evaluación tradicional este proyecto tiene un dictamen negativo condicionado, es decir, que el proyecto alcanza los valores críticos³ de los indicadores con una variación del precio de venta menor al 10%.
- Este proyecto tiene una cuantiosa inversión de 3, 419,795.09 dólares, un VAN de solo 643,963.37 dólares y un valor de salvamento de 858,698.28 dólares, por lo

³ El valor crítico se presenta cuando se tiene: VAN = 0, B/C = 1 y TIR = Tasa de actualización.

que se observa que la opción de abandono puede ser muy valiosa en este proyecto.

- Este proyecto no incorpora la flexibilidad que tiene la gerencia en la toma de decisiones para ampliar la producción, dado que se tiene capacidad de sobra. Solo se menciona que en el mediano plazo se pretende explorar el mercado nacional, pero no se toma en cuenta en el proyecto (opción de expandir).
- El proyecto no toma en cuenta la competencia que se pudiera tener en el futuro, lo cual puede llevar a obtener menores ingresos, y que el proyecto deje de ser rentable de continuar con el mismo nivel de operaciones, por lo que la opción de contracción es una buena alternativa que puede ayudar a que las pérdidas sean menores.

Para hacer la evaluación de este proyecto mediante opciones reales, primeramente se valora la opción de expansión, debido a que se tiene planeado la exploración y entrada al mercado nacional, por lo que se vislumbra claramente una opción de ampliación, para hacerlo se utiliza el método binomial (valor neutral al riesgo). En este caso se puede hacer porque la empaedora tiene capacidad de sobra, es decir, el proyecto solo contempla el empaedado de camarón durante los meses de junio a noviembre; por lo que entrando al mercado nacional se podría cubrir parte de los meses en los que la empaedora estará inactiva, para ello se pretende una ampliación del 50% en el empaedado.

Los argumentos que se requieren para aplicar la teoría de valoración de opciones para evaluar la opción de expansión son las mismas que se necesitan para cualquier opción. Se requiere el valor del activo subyacente, la varianza sobre ese valor, el tiempo a la expiración de la opción, el precio de ejercicio, la tasa libre de riesgo y la equivalente de dividendos (el costo de posponer).

a) Valor del activo subyacente. En el caso de opciones de activos físicos o reales, el activo subyacente es el proyecto por sí mismo. El valor actual de este activo es el valor presente del flujo de efectivo esperado de iniciar el proyecto ahora, el cual se obtuvo con la evaluación tradicional y fue de 643,963.37 dólares.

b) Precio de ejercicio de la opción. La opción de expansión se ejerce cuando la empresa que posee derechos sobre el proyecto por diversos motivos decide incrementar sus operaciones, el hecho de expandir o de comprar nuevos activos será el equivalente a ejercer la opción de compra. En este tipo de opción el precio de ejercicio es el costo de expansión que es de 298,544.53 dólares y equivalen al 50% de los costos variables, ya que se piensa expandir las operaciones 50%, y como se tiene capacidad de sobra no existen gastos por nuevos activos.

c) Varianza en el valor del activo. Es posible que exista incertidumbre asociada con las estimaciones de los flujos de efectivo y el valor presente que mide el valor del activo a la fecha actual. Esto es porque existen factores con alta volatilidad. Para el caso de este proyecto, se consideró al precio del camarón como el factor de mayor riesgo, y es a partir de esos precios que se estima la varianza del proyecto, para ello se obtuvo el precio de las diferentes tallas de camarón comercializado a los EE. UU., y se calculó el índice de precios de los mismos, posteriormente se deflactaron con el índice general de precios al consumidor de los Estados Unidos base, 2000, por ser el precio de exportación el utilizado. Después se obtuvo la tasa de crecimiento continua de los precios, esto es el logaritmo natural de el cociente del año t , entre el año anterior ($t-1$). Con estas tasas de crecimiento se calculó la desviación estándar de las diferentes tallas de camarón comercializado a EE. UU., para tener una referencia de la posible volatilidad de este proyecto. Finalmente se hizo lo mismo para el precio medio de venta por libra recibido por la Unión de Ejidos Acuícola del Sur de Sonora, obteniendo una desviación estándar de 18.57% y que cae dentro del rango de desviaciones de las diferentes tallas comercializadas a los Estados Unidos.

d) Fecha de expiración de la opción: El período durante el cual la opción es viable en este proyecto es de 5 años, y se podrá ejercer en cualquier momento durante el mismo.

e) Tasa libre de riesgo: Es la tasa de interés real anual libre de riesgo y, se calcula de la siguiente manera:

$$\frac{1 + Cetes}{1 + (\pi^e)^2} = 1 + r$$

Donde:

CETES: tasa de interés que pagan los certificados de la tesorería.

π^e : Inflación esperada.

r: tasa de interés real.

Si CETES = 7.43% y $\pi^e = 4\%$

$$\frac{1.0743}{1.0016} = 1 + r$$

$$1.0726 = 1 + r$$

$$r = 7.26\%$$

Para calcular el valor total de la empacadora se decide utilizar el método binomial en la forma de una opción "call" americana, porque la opción de expandir las operaciones de la empacadora es similar a una opción de compra y puede ser ejercida en cualquier momento antes de la fecha de expiración.

Se tiene que:

$$S = 643,963.37, k = 298,544.53 \sigma = 18.57, t = 5, r = 7.26,$$

Con los datos anteriores se calcula el valor u, d, p, y q.

u = coeficiente de ascenso del valor del activo subyacente, y se calcula de la siguiente manera:

$$u = e^{\sigma\sqrt{\Delta t}} = e^{0.1857\sqrt{1}} = 1.20406099$$

d = Coeficiente de descenso, este coeficiente al igual que el de ascenso, mide la amplitud de la variación del subyacente, y para este proyecto es el siguiente:

$$d = e^{-\sigma\sqrt{\Delta t}} = e^{-0.1857\sqrt{1}} = 0.83052271$$

p = La probabilidad de riesgo neutral es:

$$p = \frac{e^{r\Delta t} - d}{u - d} = \frac{e^{0.0726(1)} - 0.8305}{1.2040 - 0.8305} = 0.6552$$

$$q = 1 - p = 0.3448$$

El valor actual de la inversión (643,963.37) puede ascender en un año hasta tomar el valor de 775,371.17 dólares (643,963.37 * 1.20406099) si todo va bien o, por el contrario, descender hasta 534,826.206 (643,963.37 * 0.83052271) si todo va mal. La probabilidad de que todo vaya bien es $p_u = 0.6552$ y de que todo vaya mal $p_d = 0.3448$. De este modo se van realizando los cálculos hasta llegar al periodo 5. Véase el diagrama de árbol presentado en la figura 17; el cual calcula el “árbol binomial del valor del proyecto”.

Figura 17. Árbol binomial del valor del proyecto.

				K		P	
		G		1,353,490.17		1,629,684.71	
		D		1,124,104.33		Q	
		B		933,594.18		1,124,104.33	
		E		775,371.17		R	
A		C		643,963.37		775,371.17	
643,963.37		F		534,826.21		S	
		I		643,963.37		534,826.21	
		J		444,185.31		T	
		O		368,905.99		368,905.99	
		U		306,384.81		254,459.54	

Fuente: Elaboración propia con base en cálculos realizados.

Si se calcula la probabilidad de que ocurra cada resultado del último año, y luego se calcula el valor esperado del proyecto de ese último año, en el cálculo de las probabilidades en cada nodo del último año se utiliza la siguiente formula:

$$p = \left[\frac{t!}{(t-n)!n!} \right] [p_u (1-p_u)^{t-n}]$$

Donde:

t = 5

n = 5,4,3,2,1 (es el numero del nodo, iniciando por el nodo de arriba)

$$p = \frac{(1+r) - d}{u - d} = \frac{1.0726 - 0.8305}{1.2040 - 0.8305} = 0.6480$$

$$1 - p = 0.3519$$

Si se calcula la probabilidad de que ocurra cada resultado del año 5 se tiene:

Cuadro 7. Probabilidades asociadas a cada nodo del último año.

PROBABILIDAD	VALOR DEL NODO	VALOR ESPERADO
0.11431	1,629,684.71	186,293.74
0.31039	1,124,104.33	348,910.58
0.33712	775,371.17	261,390.63
0.18307	534,826.21	97,911.99
0.04971	368,905.99	18,337.99
0.00540	254,459.54	1,373.81
TOTAL		914,218.757

Fuente: elaboración propia con base en cálculos realizados.

Nótese que el valor más probable es el del nodo r que tiene un valor de 775,371.17 y una probabilidad de 33.71%. Multiplicando cada uno de los valores del nodo por su probabilidad, y sumando se tiene un valor final de 914,218.75 que es el valor del proyecto sin flexibilidad en el periodo cinco, el cual al traerlo a valor presente, es de 643,963.37 que es el valor presente neto del proyecto sin flexibilidad.

Con base en el árbol binomial del valor del proyecto (figura 17), se realiza el cálculo de la opción de expansión, la cual se efectúa en dos pasos, el primero es el cálculo de los nodos terminales, y el segundo es el cálculo de los nodos intermedios hasta llegar al nodo inicial que tiene un valor de 766,341.25 dólares. Véase el diagrama de árbol presentado en la figura 18.

Figura 18. Árbol binomial, cálculo de la opción de expansión

				P		
				K	Q	
		G		L	R	
		D		H	M	
B		1,161,301.54			864,512.23	
A		943,460.82	E	908,059.88		
		C		I	S	
766,341.25		597,037.99		F		
		J		N	T	
		464,359.60		O	U	
				368,905.99	306,384.80	254,459.54
				1,752,596.98		2,145,982.53
				1,427,960.46		1,387,611.96

Fuente: Elaboración propia con base en cálculos realizados.

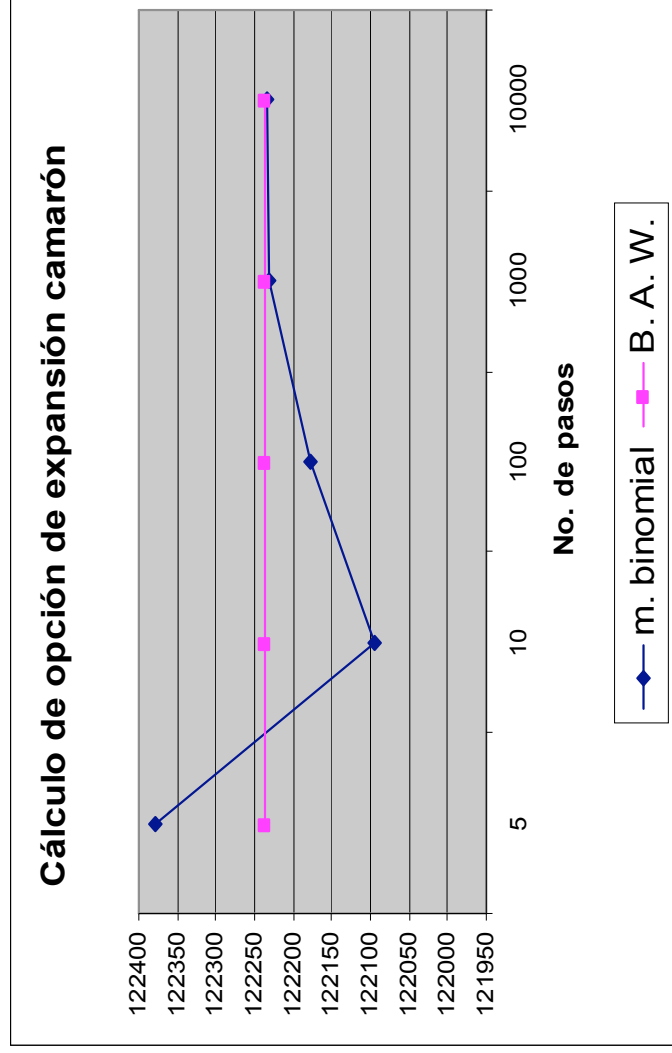
En el primer paso se calcula el valor de expansión de los nodos terminales, el cual es equivalente a incrementar la capacidad existente en 50%, menos los costos de expansión, que en este caso solo serán los costos variables dado que se tiene capacidad de sobra, y este valor se compara con el obtenido en los nodos terminales de la figura 17, eligiendo el valor que maximiza ganancias, por ejemplo, el nodo terminal p tiene un valor de 2,145,982.53 dólares, los cuales se obtienen de la maximización del valor de la opción de expansión, que es $[1.5(1,629,684.71) - (298,544.53)] = 2,145,982.53$ dólares, versus continuar sin cambios que es de 1,629,684.71 para el nodo p. Del mismo modo para el nodo u, se observa que la opción que maximiza ganancias es la de continuar solo con las operaciones existentes porque tiene un valor de 254,459.54 dólares, mientras que el valor de expansión es de solo 83,144.78 dólares.

El segundo paso es el cálculo de los nodos intermedios, en donde el valor de expansión se obtiene de la misma forma que en los nodos terminales, mientras que el valor de continuar sólo con las operaciones actuales se obtiene con la siguiente expresión:

$[p)(up) + (1 - p)(d)]\exp[(-rf)(\delta t)]$, por ejemplo, en el nodo d se tiene un valor de 1,161,301.54 dólares. En este punto nuevamente se tienen dos opciones, expandir las operaciones en ese momento o mantener la opción de expansión abierta para el futuro, con la esperanza de que cuando las condiciones de mercado mejoren la empacadora tendrá la oportunidad de ejercer la opción e incrementar sus operaciones. El valor de expansión en ese nodo es $1.5(933,594.17) - 298,544.53 = 1,101,846.74$, por otro lado el valor de continuar con la opción abierta es $[(p)(1,427,960.46) + (1-p)(908,059.88)]\exp[(-rf)(\delta t)] = 1,161,301.54$ dólares, el cual es más alto que el valor de expansión, mediante la técnica de inducción regresiva el valor del nodo inicial es calculado en 766,341.25 dólares, el cual es el valor presente neto expandido, y la diferencia entre este, y el valor obtenido por medio del flujo de caja descontado es el valor de la opción de expansión, el cual es de 122, 377.88 dólares. Si el valor de la opción de expansión no se toma en cuenta en este proyecto estará subvaluado porque se tiene la opción estratégica de incrementar las operaciones actuales, pero no la obligación de hacerlo al menos que las condiciones de mercado sean las óptimas.

Adicionalmente se utiliza el paquete computacional Real Options Analysis Toolkit para hacer el cálculo de la opción de expansión mediante el método binomial con 10, 100 1000 y 10000 pasos que son comparados con el resultado obtenido al utilizar la ecuación Barone-Adesi-Whaley que es una adaptación de la formula general de Black-Schooles para evaluar opciones de tipo americano. Los resultados y la comparación de los dos métodos se pueden ver en la gráfica 1:

Grafica 1. Comparativo del cálculo de la opción de expansión.



Fuente: Elaboración propia con base en cálculos realizados.

En la gráfica 1 se observa que los valores de la opción de expansión con el método binomial son de 122,377.88, 122,095.784, 122,176.439, 122,230.945 y 122,235.229 dólares al utilizar 5, 10, 100, 1000 y 10000 pasos, respectivamente; mientras que el valor de la opción con la ecuación B-A-W es de 122,235.77, en donde se observa que a medida que se incrementa el número de pasos los resultados obtenidos por los dos métodos tienden a converger. También se observa que son necesarios al menos mil pasos mediante el método binomial para tener resultados más precisos.

Otro tipo de opción que es valiosa para este proyecto es la opción de contracción, y se utilizan los mismos argumentos que en la opción de expansión, a excepción del precio de ejercicio, dado que se piensa contraer 50% de las operaciones, por lo que el nuevo precio de ejercicio es de 298,544.53 dólares que son el 50% de los costos variables. Para calcular el valor de la empaedora se decide utilizar el método binomial en la forma de una opción "put" americana porque la opción de contraer las operaciones de la empresa es equivalente a una opción de venta y puede ser ejercida en cualquier momento antes

Figura 20. Árbol binomial del cálculo de la opción de contracción

				K		P
		G		1,353,490.17		1,629,684.71
		D		L		Q
		934,619.72		1,124,104.33		1,124,104.33
B		H		R		
779,820.27		778,570.33		775,371.17		
E		I		S		
656,861.55		655,892.65		653,943.07		
C		F		N		
566,603.90		520,637.19		520,637.19		
		J		T		
		482,997.53		O		
				482,997.53		
				U		
				45,1736.93		
				425,774.30		

Fuente: Elaboración propia con base en cálculos realizados.

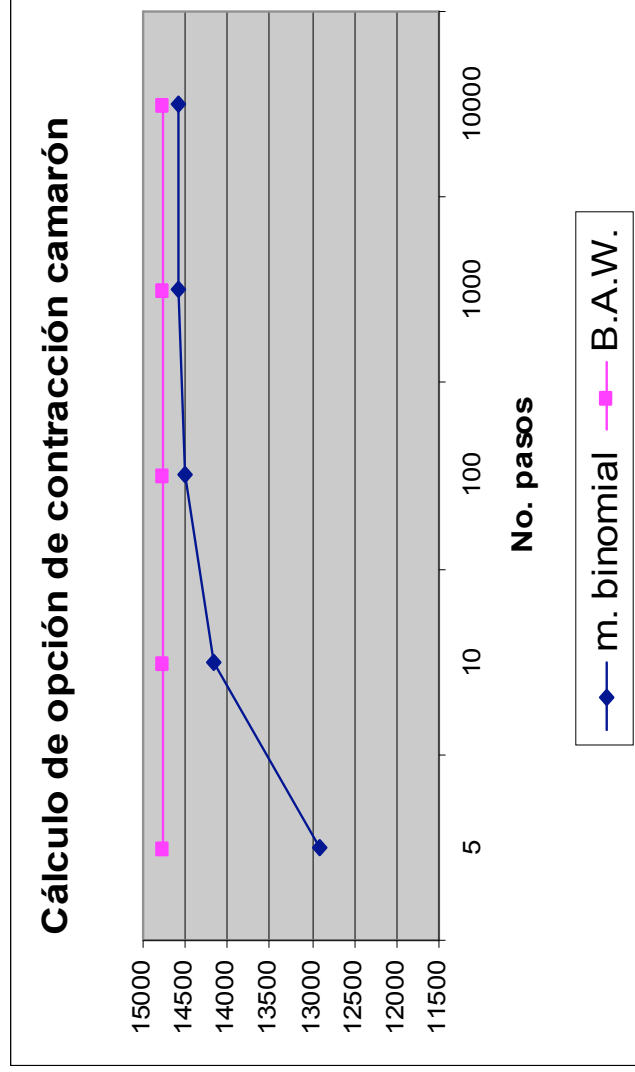
En la figura 20, primeramente se calculan los nodos terminales eligiendo la opción que maximice ganancias, por ejemplo, en el nodo terminal u se tiene un valor de 425,774.30 dólares, los cuales se obtienen de la maximización del valor de la opción de expansión (425,774.30), versus continuar sin cambios (254,459.54). El valor de contraer es equivalente a disminuir la capacidad existente en 50% más los ahorros que se generen con dicha contracción que en este caso será el 50% de los costos variables, esto es $0.5(368,905.99)+298,544.53 = 482,997.53$ dólares para el nodo t. Del mismo modo para el nodo p en la figura 15 se observa que lo más conveniente es continuar con las operaciones existentes porque tiene mayor valor que la opción de contracción.

El segundo paso es calcular los nodos intermedios, por ejemplo, se observa que en el nodo k se tiene un valor de 1,353,490.16 dólares. En este punto nuevamente se tienen dos opciones, contraer las operaciones o mantener la opción de contracción abierta para el futuro con la certeza de que si las condiciones de mercado empeoran, la empacadora tendrá la oportunidad de ejercer la opción y disminuir las operaciones con lo que se

reducirán las pérdidas. El valor de contracción en ese nodo es $0.5(1,353,490.16) + 298,544.53$ dólares = 975,289.61 dólares, por otro lado el valor de continuar con la opción abierta es $[(p)(1,629,684.71) + (1-p)(1,124,104.33)]\exp[-(r_f)(\delta t)] = 1,353,490.16$ dólares lo cual es más alto que el valor de contracción, por el contrario para los nodos $s, t, u, o, j,$ y f lo más conveniente es contraer, mientras que para el resto de los nodos lo mejor será continuar sin cambios manteniendo la opción abierta. Haciendo los cálculos hacia atrás hasta el nodo inicial se obtiene un valor de 656,861.54 dólares, la diferencia entre ese valor y el valor obtenido a través del flujo de caja descontado que es de 12,898.17 dólares, es el valor de la opción de contracción, por lo anterior el proyecto con opción de contracción tiene mayor valor que su valor estático.

Adicionalmente, se hace el cálculo de la opción de expansión mediante el método binomial con 10, 100 1000 y 10000 pasos, y son comparados con el resultado obtenido al utilizar la ecuación Barone-Adesi-Whaley que es una adaptación de la fórmula general de Black-Scholes para evaluar opciones de tipo americano. Los resultados y la comparación de los dos métodos se pueden ver en la gráfica 2:

Grafica 2. Comparativo del cálculo de la opción de contracción



Fuente: Elaboración propia con base en cálculos realizados.

En la gráfica 2 se observa que los valores de la opción de expansión con el método binomial son de 12,898.17, 14,174.66, 14,511.58, 14,585.63 y 14,590.53 dólares al utilizar 5, 10, 100, 1000 y 10000 pasos, respectivamente; mientras que el valor de la opción con la ecuación B-A-W es de 14767.97, en donde se observa que a medida que se incrementa el número de pasos los resultados obtenidos por los dos métodos tienden a converger. También se observa que son necesarios al menos mil pasos mediante el método binomial para tener resultados más precisos.

Otra opción que se valora en este proyecto es la opción de abandono, dado que el valor de salvamento o de abandono se tiene bien identificado y se espera que esta opción sea valiosa, para hacerlo se utiliza el método binomial (valor neutral al riesgo).

La opción de abandono es valiosa en proyectos de elevada incertidumbre como es el caso del establecimiento de una empacadora de camarón, el cual presenta variaciones importantes en los precios de venta, además de que estos precios presentan una tendencia a la baja, por lo que el proyecto puede dejar de ser rentable e incurrir en pérdidas. Ante esas situaciones, la opción de abandono permitirá recuperar parte de la inversión y disminuir las pérdidas.

Los argumentos que se requieren para evaluar la opción de abandono, son los mismos que se utilizaron en las anteriores opciones, y el único que cambia es el precio de ejercicio de la opción. La opción de abandonar un proyecto se ejerce cuando la empresa que posee derechos sobre el proyecto por diversos motivos decide no continuar con él. El hecho de abandonar o de vender el proyecto será el equivalente a ejercer la opción de venta, dado que indica el límite inferior del valor del proyecto. En este tipo de opción el precio de ejercicio es el valor de liquidación del proyecto, y para este proyecto será el valor de salvamento de la inversión fija, el cual se podrá recuperar en caso que el valor presente del proyecto disminuya por debajo del valor de liquidación, el cual es de 858,698.28 dólares.

Una vez obtenidos los argumentos se calcula el valor de la opción y cuanto vale para la empacadora este proyecto, para ello se utiliza la forma de una opción put americana, porque puede ser ejercida en cualquier momento.

Para realizar los cálculos en el árbol binomial del valor del proyecto se parte del valor inicial de la inversión, el cual puede ascender en el primer año hasta tomar el valor de 775,371.17 ($643,963.37 * 1.204$), o por el contrario, descender hasta 534,826.20 dólares ($643,963.37 * 0.8305$). Este proceso se va realizando en cada nodo hasta llegar al año 5, que tiene 6 posibles resultados. Véase el diagrama de árbol presentado en la figura 21; el cual calcula el “árbol binomial del valor del proyecto”.

Figura 21. Árbol binomial del valor del proyecto

				P		
				K	Q	
				1,353,490.17	1,124,104.33	
		G				
		L				
		1,124,104.33				
				H	R	
				933,594.18	775,371.17	
		D				
		E				
		775,371.17				
		933,594.18				
				M	S	
				643,963.37	534,826.21	
		B				
		C				
		643,963.37				
		775,371.17				
		534,826.21				
				N	T	
				643,963.37	444,185.31	
		A				
		643,963.37				
		534,826.21				
				J	U	
				444,185.31	368,905.99	
				O		
				368,905.99	254,459.54	
				306,384.80		

Fuente: Elaboración propia con base en cálculos realizados.

Con base en el árbol binomial del valor del proyecto (figura 21), se realiza el cálculo de la opción de abandono, el cual se efectúa en dos pasos, el primero es el cálculo de los nodos terminales, y el segundo es el cálculo de los nodos intermedios hasta llegar al

nodo inicial que tiene un valor de 858,698.28 dólares. Véase el diagrama de árbol presentado en la figura 22.

Figura 22. Árbol binomial del cálculo de la opción de abandono.

				P	
				K	Q
		G		1,353,490.17	1,629,684.71
		D	H	L	R
		966,097.59	1,132,667.27	960,306.07	1,124,104.33
B		E	I	M	S
864,015.79		860,486.40	858,698.28	858,698.28	858,698.28
A	C	F	J	N	T
858,698.28	858,698.28	858,698.28	858,698.28	858,698.28	858,698.28
		O	U		
		858,698.28	858,698.28		
				858,698.28	858,698.28
				858,698.28	

Fuente: Elaboración propia con base en cálculos realizados.

En la figura 22, al término de los 5 años, la empresa tiene la opción de abandonar o continuar con el proyecto, el valor de continuar se puede ver en los nodos p y q que tienen los valores de 1,629,684.7099 y 1,124,104.3291, respectivamente; en donde la decisión de maximización de ganancias indica continuar. Por otra parte, el valor de abandono se presenta en los nodos r, s, t y u, dado que están por abajo del valor de salvamento, en cuyo caso la decisión de maximización indica abandonar el proyecto recuperando el valor de salvamento que es de 858,698.28 dólares, esto quiere decir que si se tienen inconvenientes de mercado y las cosas van mal, mediante la opción de abandono se pueden minimizar las pérdidas.

Una vez que se tienen los valores de los nodos terminales, se hace el cálculo de los nodos intermedios hasta llegar al nodo inicial. Para hacer los cálculos, se parte de los

valores obtenidos en el paso anterior, y se van obteniendo los valores intermedios, por ejemplo, en el nodo k se tiene $[(P) (1,629,684.71) + (1-p) (1124104.32)] \exp. [(-rf) (\delta t)] = 1,353,490.16$ dólares que es mayor al valor de salvamento, y por lo tanto en este nodo lo acertado es continuar. Por otro lado en el nodo m el valor de continuar es $[(P) (858,698.28) + (1-p) (858,698.28)] \exp. [(-rf) (\delta t)] = 798,565.99$ dólares, en cuyo caso la decisión de maximización de ganancias indica abandonar el proyecto, y recuperar el valor de salvamento. Así se continúa hacia atrás tomando la mejor decisión en cada nodo, hasta el nodo inicial, el cual tiene un valor de 858,698.28 dólares. Dado que el valor obtenido a través de el flujo de caja descontado es de 643,963.37 dólares, se concluye que la diferencia de 214,734.91 dólares de valor adicional es debida a la opción de abandono, por lo anterior, el proyecto con opción de abandono tiene mayor valor que su valor estático de 643,963.37, este es el valor presente neto sin flexibilidad, y el valor de 858,698.28 dólares es el valor del proyecto con flexibilidad o el valor presente neto expandido que es igual al valor presente neto más el valor de la opción. (VPNE = VPN + O).

Adicionalmente, se pueden realizar algunas modificaciones al análisis para adaptar al proyecto a las condiciones que se vayan presentando, como ejemplo, el valor de salvamento o de abandono puede cambiar a través del tiempo, lo cual puede ser tomado en cuenta simplemente cambiando la cantidad de abandono en los nodos de árbol.

En este caso no es necesario calcular la opción de abandono con más pasos, dado que el valor de salvamento es muy grande y arrastra el resultado de la opción a ese valor, por otro lado el valor de la opción utilizando la ecuación B-A-W es exactamente el mismo de 214, 734.91 dólares.

Finalmente se protege a la empacadora mediante el uso de una opción estratégica, la cual permite elegir entre: a) expandir las operaciones actuales 50%, lo cual tendrá un costo de implementación de 298,544.53 dólares; b) contraer las operaciones 50% lo que implicaría ahorros adicionales por 298,544.53 dólares; c) abandonar completamente las

Figura 24. Árbol binomial del cálculo de la opción de elección

				K		P	
				1,752,596.98		2,145,982.53	
		G				Q	
		1,427,960.46		L		1,387,611.96	
		D				R	
		1,177,785.93		H		1,122,752.99	
		B				M	
		993,019.97		E		959,482.55	
		A				S	
		880,422.45		C		858,698.28	
				F			
				858,698.28		N	
						T	
				J			
				858,698.28		O	
						U	
				858,698.28		858,698.28	

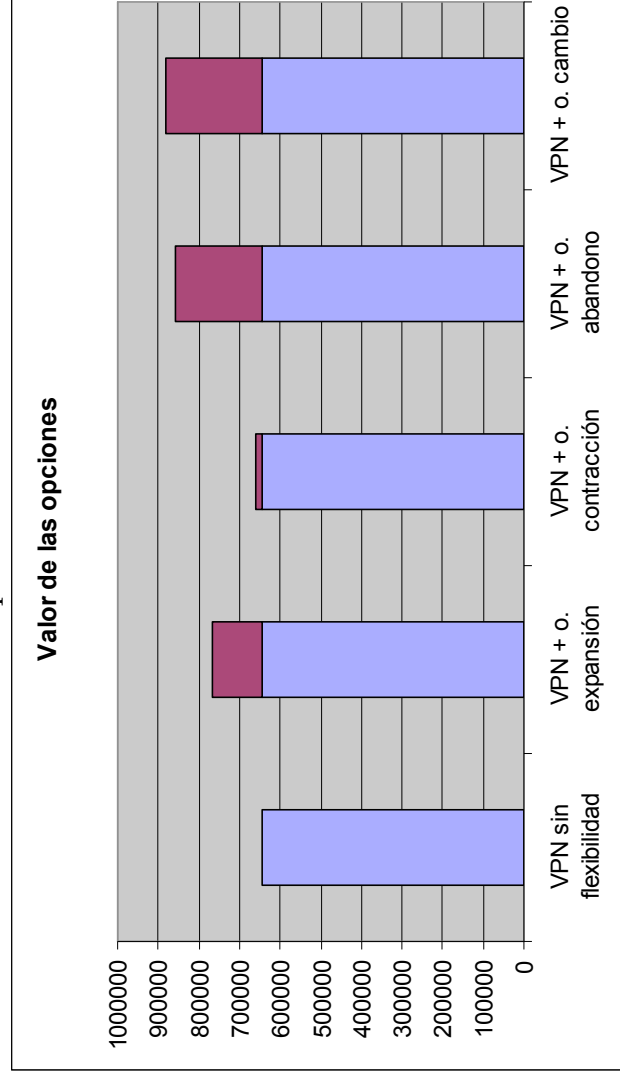
Fuente: Elaboración propia con base en cálculos realizados.

En la figura 24 se observa que el nodo terminal p tiene un valor de 2,145,982.53 dólares, los cuales se obtienen de la maximización de las opciones de expansión, continuar sin cambios, abandono y contracción. Al término de los 5 años, la empacadora tiene la opción de elegir como quiere que continúen sus operaciones a través de esas opciones. En el nodo p se tiene que el valor de la opción de abandono es de 858,698.28, el valor de expansión es de $1.5(1,629,684.71) - 298,544.53 = 2,145,982.53$ dólares, el valor de contracción es de $0.5(1,629,684.71) + 298,544.53 = 1,113,386.8$ dólares, que equivale al 50% de sus operaciones existentes, más los 298,544.53 de ahorros, y por último, el valor de continuar con las operaciones existentes es de 1,629,684.71 dólares. Por lo tanto la decisión que maximiza ganancias es expandir las operaciones en el nodo p. Este mismo proceso se va realizando en cada uno de los nodos terminales eligiendo la opción que maximice ganancias.

Una vez que se tienen los valores de los nodos terminales, se hace el cálculo de los nodos intermedios hasta llegar al nodo inicial. Este análisis es intuitivo porque si el valor del activo subyacente de proseguir con las operaciones existentes es muy alto, basado en la actual demanda de mercado (nodo p), entonces será acertado expandir las operaciones, de otro modo si las circunstancias obligan a bajar las operaciones a niveles tan bajos como en el caso del nodo s, será más óptimo abandonar las operaciones. En la figura 24 se observa que a cualquier nivel por abajo del nodo s es más óptimo abandonar el proyecto. Cabe mencionar que como el valor de abandono es muy alto la estrategia de maximización de ganancias en ningún caso será la de contraer operaciones.

El árbol binomial es calculado hacia atrás hasta el punto inicial, el cual tiene un valor de 880,422.45 dólares. Como el valor presente del activo subyacente es de 643,963.37 dólares, el valor de la opción de elección es de 236,459.08 dólares. Si el proyecto es analizado separadamente, se obtienen diferentes resultados, los cuales se muestran en la gráfica 3:

Gráfica 3. Valor de las diferentes opciones.



Fuente: Elaboración propia con base en figuras 17-24

De la gráfica 3 se tiene:

Únicamente la opción de abandono = 214,734.91 dólares
Únicamente la opción de contracción = 14,590.53 dólares
Solamente la opción de expansión = 122,235.22 dólares
Suma de las 3 opciones = 351,560.66
Valor de la opción de cambio = 236,459.08

Los resultados que se obtienen desarrollando cada una de las opciones por separado y después sumándolas son diferentes, debido a que no se toma en cuenta la interacción de los diferentes tipos de opciones en el mismo proyecto; como se observa en la gráfica 3. La razón del porque la suma de las opciones individuales no es igual a la interacción de las mismas, es debido a que una empresa nunca puede expandir sus operaciones y abandonarlas al mismo tiempo en el mismo nodo, por otro lado, en este proyecto en particular la opción de abandono excluye a la opción de contracción, por lo que con la opción de elección, y utilizando el método binomial se puede capturar la interacción de los diferentes tipos de opciones. Cabe señalar que para una opción de elección como esta, no existe una aproximación de forma cerrada como la fórmula Black-Schooles o alguna de sus variantes que pueda dar una buena aproximación del valor de la opción, por eso lo mejor que puede hacer el analista es utilizar la aproximación binomial (Mum, 2002).

3.2 Proyecto de inversión para el cultivo en invernadero de *Lilium sp.* Variedad asiática (lily) en el municipio de Texcoco, estado de México⁴.

Descripción: Determinar la viabilidad y rentabilidad de un proyecto para producir *Lilium sp.* Variedad asiática en invernadero en el municipio de Texcoco, para lo cual se establece un plan de producción intensivo en una superficie total de 2750m², de los cuales 50m² se destinan a construcción y el resto a invernaderos.

⁴ Siller Bedoya Ileana Eunice “Proyecto de inversión para el cultivo en invernadero de *Lilium sp.* Variedad asiática (lily) en el municipio de Texcoco, estado de México”. Tesis (maestría en economía) Colegio de Postgraduados, 2005.

Se proyecta sembrar 9,000 bulbos semanales de *Lilium sp.* Variedad asiática durante la vida útil del proyecto, los cuales se importaran de Holanda y su precio estará condicionado a la paridad cambiaria peso/euro.

Inversión total: El monto total requerido para la implementación del proyecto y su distribución es la siguiente:

Cuadro 8. Inversión total del proyecto de *Lilium sp.*

CONCEPTO	MONTO
Inversión fija	568,089.11
Inversión diferida	12,554.00
Capital de trabajo(15 semanas)	529,782.49
Inversión total del proyecto	1,110,425.50

Fuente: Siller, 2005

Con base en la inversión total del proyecto se consideró contar con un crédito de la banca privada, por el 80% de la misma (\$888,340.4) a un plazo de cinco años y se realizó una evaluación tomando en cuenta el financiamiento, y otra evaluación sin el crédito bancario.

Costo del capital o tasa de actualización utilizada: 12.3%

Precio del producto: El precio estimado de la flor fue de \$62.00 la decena, y se obtuvo con base en el promedio de precios al mayoreo en la central de abastos de Iztapalapa en el Distrito Federal en el período de 2000 al 2003, reportados por el SNIIM que fue de \$65.12. Lo que significa que se tomo un valor conservador, tratando de minimizar el riesgo a las fluctuaciones en el precio de venta del producto. Los indicadores obtenidos con el enfoque tradicional se presentan en el cuadro 9.

Cuadro 9. Indicadores obtenidos del proyecto de *Lilium sp.*

INDICADOR	VALOR CON FINANCIAMIENTO	VALOR SIN FINANCIAMIENTO
VAN	\$155001.82	\$2303710.39
B/C	\$2.39	\$3.07
TIR	45.27%	64.24%

Fuente: Siller, 2005.

En ambos casos se acepta el proyecto por tener un VAN positivo y una Tasa Interna de Retorno (TIR) mayor a la tasa de descuento.

También se realiza un análisis de sensibilidad bajo los siguientes supuestos:

- a) Incremento en la inversión inicial en 20%.
- b) Disminución en los ingresos en 15%.
- c) Incremento en los costos en 25%
- d) Combinación del inciso a y b

Los resultados obtenidos de los diferentes escenarios supuestos son los siguientes:

Cuadro 10. Análisis de sensibilidad del proyecto de *Lilium sp.*

ESCENARIO	A)	B)	C)	D)
TIR	37.33%	18.68%	19.12%	14.31%
VAN	\$1,332,056.97	\$290,658.01	\$327,061.95	\$93,038.57

Fuente: Siller, 2005.

Observaciones:

- Una vez realizada la inversión es irreversible.

- Según la evaluación tradicional este proyecto es muy atractivo, debido a que tienen buenos indicadores y, por lo tanto, no se debe dudar en su implementación.
- Este proyecto tiene un valor de salvamento insignificante por lo que la opción de abandono no es viable.
- Este proyecto no incorpora la flexibilidad que tiene la gerencia en la toma de decisiones para ampliar la producción, dado que como se esperan altas ganancias sería conveniente ampliar la producción en algún momento. (opción de expandir).
- Como una forma de incorporar el riesgo ante la reducción de precios del producto, se toma un precio de \$62 por decena, que es más bajo que el promedio registrado que fue de \$65.14, pero esto no resuelve el problema, simplemente muestra una visión bajo un panorama pesimista.
- El proyecto no toma en cuenta la competencia que se pudiera tener en el futuro, lo cual puede causar menores ingresos.

Para hacer la evaluación de este proyecto mediante opciones reales, primeramente se tiene que identificar la opción o las opciones que son valiosas y que se pueden implementar. De acuerdo con los indicadores tradicionales, este proyecto es rentable y la opción de expansión es la que se vislumbra como valiosa. Para hacer la evaluación de la opción de expansión se utiliza el método binomial (valor neutral al riesgo) para eso se tiene que identificar los argumentos o valores de entrada para poder realizar los cálculos. Estos valores son:

- i. Valor del activo subyacente. En el caso de opciones de activos físicos o reales, el activo subyacente es el proyecto por sí mismo. El valor actual de este activo es el valor presente con financiamiento del flujo de efectivo esperado de iniciar el

proyecto ahora, el cual se obtuvo con la evaluación tradicional y fue de: \$1,554,001.80

ii. Precio de ejercicio de la opción. La opción de expansión es parecida a una opción de compra americana, porque proporciona el derecho de adquirir nuevos activos para incrementar la producción, y se ejerce cuando las condiciones de mercado son favorables, de tal modo que resulta óptimo incrementar la producción, el hecho de expandir las operaciones existentes será el equivalente a ejercer la opción de compra, dado que indica el límite donde es óptimo invertir en nuevos activos para incrementar la producción. En este tipo de opción el precio de ejercicio es el valor de la inversión que será desembolsado para incrementar la producción, y para este proyecto será el valor de la inversión inicial, porque de acuerdo al estudio técnico lo más conveniente es duplicar la producción, con lo cual se desembolsara la misma cantidad que se hizo en la inversión inicial y que fue de: 1,110,425.50.

iii. Varianza en el valor del activo. Es posible que exista incertidumbre asociada con las estimaciones de los flujos de efectivo y el valor presente que mide el valor del activo a la fecha actual. Esto es porque existen factores con alta volatilidad. Para el caso de este proyecto se consideró al precio del producto final como el factor de mayor riesgo, y es a partir de esos precios que se estima la varianza del proyecto, para lo cual se utilizó el índice de precios al consumidor de la flor (Lilium sp.) y se deflataron con el índice general de precios al consumidor, base segunda quincena de junio de 2002. Posteriormente se obtuvo la tasa de crecimiento continua de los precios, este es el logaritmo natural del cociente del año t entre el año anterior ($t-1$). Con estas tasas de crecimiento se calculó la desviación estándar que en esta investigación será la volatilidad del proyecto, con un valor de de 9.66.

iv. Fecha de expiración de la opción: El período durante el cual la opción es viable en este proyecto es de 5 años y se podrá ejercer en cualquier momento durante el mismo.

v. Tasa libre de riesgo: Es la tasa de interés real anual libre de riesgo, que para este proyecto será la misma que se utilizó anteriormente en el proyecto de camarón, es decir 7.26%.

Para calcular el valor total del invertadero se decide utilizar el método binomial en la forma de una opción "call" americana, porque la opción de expandir las operaciones es similar a una opción de compra y puede ser ejercida en cualquier momento antes de la fecha de expiración.

Se tiene que:

$$S = \$1,554,001.80, k = 1,110,425.50, \sigma = 9.66, t = 5, r = 7.26\%,$$

Con los datos anteriores se calcula el valor u , d , p , y q .

u = coeficiente de ascenso del valor del activo subyacente, y se calcula de la siguiente manera:

$$u = e^{\sigma\sqrt{\Delta t}} = e^{0.0726\sqrt{1}} = 1.101$$

d = Coeficiente de descenso, este coeficiente al igual que el de ascenso, mide la amplitud de la variación del subyacente, y para este proyecto es el siguiente:

$$d = e^{-\sigma\sqrt{\Delta t}} = e^{-0.0726\sqrt{1}} = 0.907$$

$p = L$ a probabilidad de riesgo neutral es:

$$p = \frac{e^{rf(\Delta t)} - d}{u - d} = \frac{e^{0.0726(1)} - 0.907}{1.101 - 0.907} = 0.865$$

$$q = 1 - p = 0.135$$

El valor actual de la inversión (\$1,554,001.80) puede ascender en un año hasta tomar el valor de \$1,711,608.24 (\$1,554,001.80 * 1.101) si todo va bien o, por el contrario, descender hasta \$1,410,907.93 (\$1,554,001.80 * 0.907) si todo va mal. La probabilidad de que todo vaya bien es $p_u = 0.865$ y de que todo vaya mal $p_d = 0.135$. De este modo se van realizando los cálculos hasta llegar al periodo 5. Véase el diagrama de árbol presentado en la figura 25; el cual calcula el “árbol binomial del valor del proyecto”.

Figura 25. Árbol binomial del valor del proyecto

				P	
		K		Q	
		G		R	
		D		S	
B		H		T	
A		I		U	
1,554,001.80	1,711,608.24	1,885,199.07	2,076,395.43	2,286,982.87	2,518,928.02
	C	E	J	L	
	1,410,907.93	1,554,001.82	1,711,608.24	1,885,199.07	2,076,395.42
		F	M	N	
		1,280,990.26	1,410,907.93	1,554,001.82	1,711,608.24
			O	P	
			1,163,035.53	1,280,990.26	1,410,907.93
				Q	
				1,055,942.17	1,163,035.53
					958,710.07

Fuente: elaboración propia con base en cálculos realizados.

En el periodo cinco se tienen 6 valores posibles con una probabilidad asociada para cada nodo, como se muestra en el cuadro 11, en donde el valor más probable es el del nodo p que tiene un valor de \$2,518,928.02 y una probabilidad de 44.64%. Multiplicando cada uno de los valores de los nodos por su probabilidad y haciendo la suma se tiene un valor final de \$2,206,177.68, que sería el valor del proyecto sin flexibilidad en el periodo cinco, que al traerlo a valor presente, esto es $\frac{\$2,206,177.68}{(1.0726)^5}$

arroja un valor de \$1,554,001.82 que es el valor presente neto del proyecto sin flexibilidad.

Cuadro 11 Probabilidades asociadas a cada nodo del año 5.

PROBABILIDAD	VALOR DEL NODO	VALOR ESPERADO
0.44648	2,518,928.02	1,124,657.12
0.39068	2,076,395.43	811,205.59
0.13674	1,711,608.25	234,046.27
0.02393	1,410,907.94	33,763.11
0.00209	1,163,035.53	2,435.31
0.00007	958,710.07	70.26
TOTAL		2,206,177.68

Fuente: elaboración propia con base en cálculos realizados.

Nótese que el valor más probable es el del nodo p que tiene un valor de \$2,518,928.02 y una probabilidad de 44.65%. Multiplicando cada uno de los valores del nodo por su probabilidad, y sumando se tiene un valor final de \$2,206,177.68 que es el valor del proyecto sin flexibilidad en el periodo cinco, el cual al traerlo a valor presente, es de \$1,554,001.8 que es el valor presente neto del proyecto sin flexibilidad.

Con base en el árbol binomial del valor del proyecto (figura 25), se realiza el cálculo de la opción de expansión, la cual se efectúa en dos pasos, el primero es el cálculo de los nodos terminales, y el segundo es el cálculo de los nodos intermedios hasta llegar al nodo inicial que tiene un valor de \$2,335,611.45. Véase el diagrama de árbol presentado en la figura 26.

Figura 26. Árbol binomial Del cálculo de La opción

								P	
						G		K	
				D		H		L	
		B		E		I		M	
A		C		F		J		O	
2,335,611.45	2,592,657.83	2,214,903.64	2,877,298.14	2,462,865.77	2,214,903.64	2,075,338.19	2,737,732.69	2,075,338.19	3,541,300.28
	1,991,294.89	1,669,180.64	1,861,465.15	1,368,111.07	1,669,180.64	1,529,315.08	2,312,790.99	1,529,315.08	3,042,365.36
							S		R
							T		Q
							U		
									958,710.07

Fuente: elaboración propia con base en cálculos realizados.

En el primer paso se calcula el valor de expansión de los nodos terminales, el cual es equivalente a incrementar la capacidad existente en 100%, menos los costos de expansión, que en este caso serán de 1, 110,425.50, y este valor se compara con el obtenido en los nodos terminales de la figura 25, eligiendo el valor que maximiza ganancias.

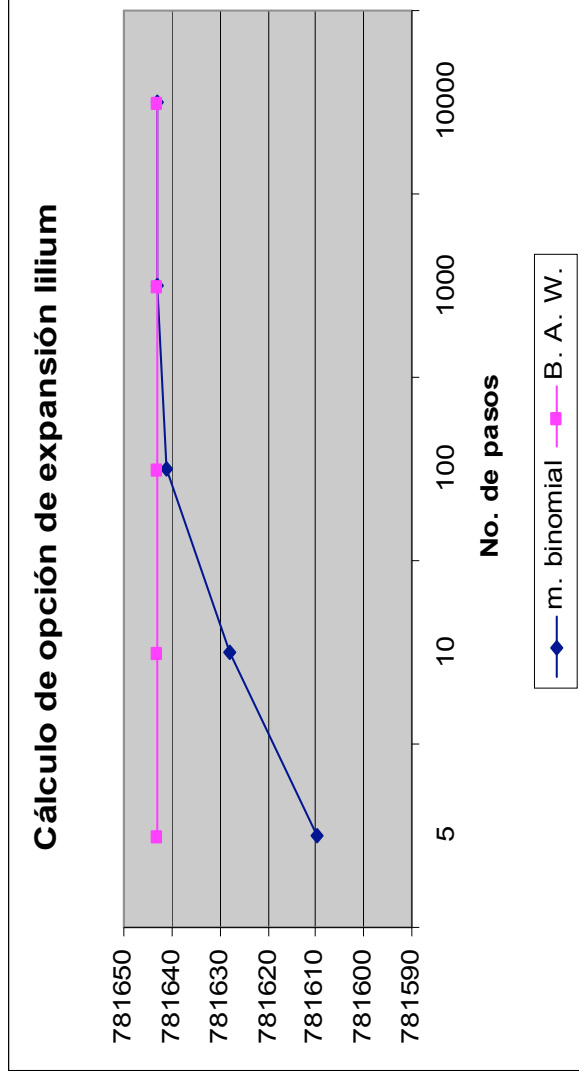
El segundo paso es el cálculo de los nodos intermedios, en donde el valor de expansión se obtiene de la misma forma que en los nodos terminales, mientras que el valor de continuar sólo con las operaciones actuales se obtiene con la siguiente expresión:

$$[(p)(up) + (1 - p)(d)]\exp[-(rf)(\delta t)].$$

Adicionalmente se utiliza el paquete computacional Real Options Analysis Toolkit para hacer el cálculo de la opción de expansión mediante el método binomial con 10, 100 y 1000 y 10000 pasos que son comparados con el resultado obtenido al utilizar la ecuación Barone-Adesi-Whaley que es una adaptación de la fórmula general de Black-Scholes

para evaluar opciones de tipo americano. Los resultados y la comparación de los dos métodos se pueden ver en la siguiente grafica 4.

Gráfica 4. Comparativo de el cálculo de la opción de expansión



Fuente: Elaboración propia con base en cálculos realizados.

En la grafica 4, se observa que los valores de la opción de expansión con el método binomial son de \$781,609.63, \$781,628.04, \$781,641.28, \$781,642.84 y \$781,642.94 utilizando 5, 10, 100, 1000 y 10000 pasos, respectivamente; mientras que el valor de la opción con la ecuación B-A-W es de \$781, 642.92, en donde se observa que en el límite los resultados tienden a converger. También se observa que son necesarios al menos mil pasos mediante el método binomial para tener resultados confiables.

En este proyecto se tiene un valor de salvamento insignificante, por lo que la opción de abandono no es valiosa, pero retomando la propuesta de Brambila, (20003), que plantea instrumentos para financiar la nueva agricultura, mediante la atracción de inversión privada de supermercados, restaurantes, agroindustrias, industrias químicas, laboratorios, productores de combustible y energía, fondos de inversiones y fondos de pensiones. La inversión que hagan los accionistas privados puede tener una opción de salida que autoriza y opera la nueva banca de desarrollo.

Figura 28. Árbol binomial del cálculo de la opción de abandono.

				K		P	
				2,286,982.87		2,518,928.02	
		G		L		Q	
		2,076,395.43		1,885,199.07		2,076,395.43	
D		H		M		R	
1,885,375.30		1,713,012.16		1,565,185.63		1,711,608.24	
E		I		N		S	
1,566,314.99		1,500,000.00		1,500,000.00		1,500,000.00	
F		J		O		T	
1,500,000.00		1,500,000.00		1,500,000.00		1,500,000.00	
B						U	
1,713,295.70						1,500,000.00	
C							
1,566,543.09							

Fuente: Elaboración propia con base en cálculos realizados.

Adicionalmente, se hace el cálculo de la opción utilizando la fórmula B-A-W y se obtiene un resultado de \$18,190.67, mientras que por el método binomial con 1000 pasos arroja un resultado de \$19,315.1. Esta es la cantidad que debe pagar el inversionista por tener una opción de salida, lo anterior tomando en cuenta que cuando se pueda utilizar alguna forma cerrada para calcular la opción, esta será más precisa. El valor correcto de esta opción es de \$18,190.67. Esta sería la cantidad que deberá pagar el inversionista por tener una opción de salida, lo cual limitara su posible pérdida a \$54,001.8

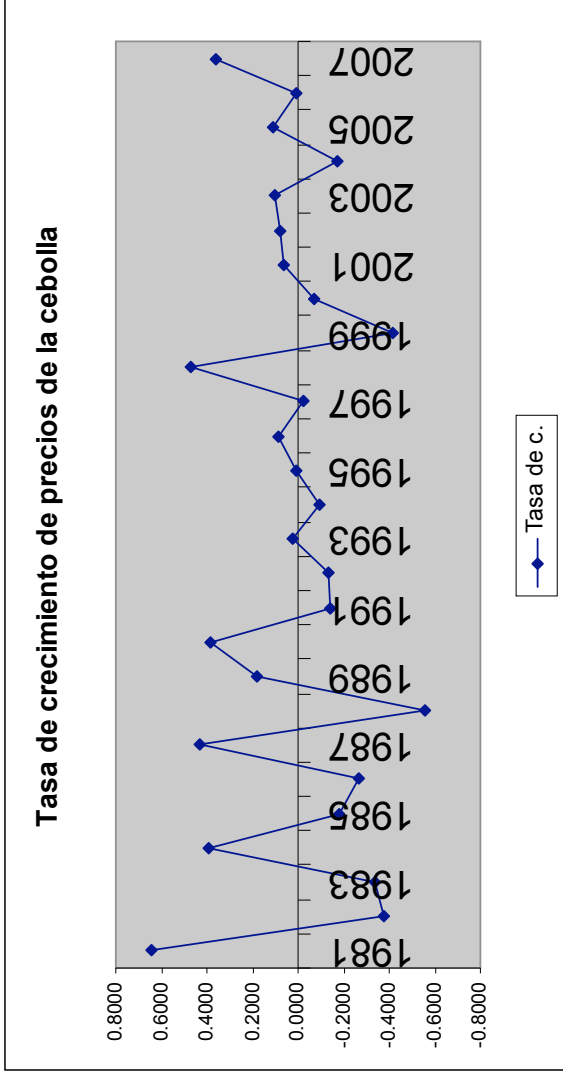
4. ESTIMACIÓN DE LOS VALORES CRÍTICOS PARA EVALUAR PROYECTOS EN ESCENARIOS DE PRECIOS ESTOCÁSTICOS.

Los modelos tradicionales asumen que tanto el valor actual del proyecto como la estructura del proceso estocástico seguido por sus futuros valores, son conocidos de antemano. Tratar de pronosticar esta información puede constituir mayor problema que la propia determinación del valor de la opción. La naturaleza aleatoria de la evolución del valor del proyecto es fruto de la volatilidad de múltiples variables, tales como el costo y la productividad de los distintos factores empleados, el precio de los productos y los servicios finales, la demanda de mercado y los tipos de interés que determinan la futura evolución de la corriente de los flujos de caja. Como consecuencia, la estimación del proceso estocástico seguido por el valor del proyecto exige comprender el resultado de la múltiple interacción de todas las fuentes de incertidumbre.

La complejidad de esta tarea hace que la mayoría de los trabajos opten por elegir entre todas las variables exógenas y aleatorias determinantes del valor de la inversión, la más relevante en razón a su influencia y volatilidad. El precio y la demanda del producto final se encuentran entre las alternativas más usadas. Definida la principal inductora de riesgo del proyecto, ésta puede emplearse adecuadamente en la determinación del proceso estocástico del valor de la inversión.

Para el caso de los productos agropecuarios que llegan al consumidor, es un hecho que existe volatilidad de precios, de tal forma que se hace necesario tomar en cuenta esta variable al evaluar los proyectos agropecuarios. Ver la grafica 5.

Gráfica 5. Tasa de crecimiento del precio de cebolla



Fuente: Elaboración propia con información de Banxico.

Para calcular el valor actual de un proyecto que tiene flujo de efectivo constante y seguro, lo que tradicionalmente se hace es descontar el flujo de efectivo de varios años y calcular la suma de los valores resultantes:

$$V = \frac{C}{(1+i)} + \frac{C}{(1+i)^2} + \frac{C}{(1+i)^3} + \dots$$

Donde:

V = valor actual del proyecto

C = pago periódico y constante.

i = tasa de interés de mercado.

Este cálculo puede ser tedioso, si el número de periodos es suficientemente grande. No obstante, se puede simplificar debido a que las fracciones de la expresión anterior forman una progresión geométrica, cada uno es igual al anterior multiplicado por $\frac{1}{(1+i)}$, por lo tanto, el valor actual de este tipo de proyectos puede estimarse como la suma de los términos de una progresión geométrica:

$$\text{Sí: } \frac{C}{(1+i)} = a \quad \text{y} \quad \frac{1}{(1+i)} = x$$

Donde:

a = primer término de la progresión

x = razón de la progresión

$$\text{Entonces: } V = a(1 + x + x^2 + x^3 + \dots + x^{n-1})$$

Multiplicando ambos lados por la razón tenemos:

$$Vx = a(x + x^2 + x^3 + \dots + x^n)$$

Sí a V le restamos Vx resulta: $V - Vx = a - ax^n$

$$\text{Entonces: } V = \frac{a(1-x^n)}{(1-x)} = C \left[\frac{1-(1+i)^{-n}}{i} \right] \dots \dots \dots A$$

La expresión A es la que se utiliza para obtener la suma de n términos consecutivos de un proyecto con solo saber el primer término a sumar, la razón x y el número de términos⁵, lo cual tiene como supuesto que el flujo de efectivo es constante y seguro. Ahora si el valor del proyecto tiene un comportamiento estocástico debido a que los precios del producto final tienen un comportamiento aleatorio ¿cuál es el valor crítico para conservar el valor presente?

Para responder lo anterior Dixit y Pindyck (1994) hacen un análisis tomando como base el modelo de MacDonal y Siegel (1986), los cuales consideran el siguiente problema: en que momento será óptimo realizar una inversión irreversible I , cuyo valor es V , dado que V evoluciona de acuerdo al siguiente proceso estocástico Browniano:

⁵ Como caso particular, puede calcularse el valor actual de un proyecto cuando tiene flujos de fondos constantes y perpetuos ($n \rightarrow \infty$), con la expresión: $\frac{C}{i}$, siendo i = tasa de interés y C = flujo de fondos

$$dV = \alpha V dt + \sigma V dz \dots\dots\dots (1)$$

Donde:

dV = movimiento del valor del proyecto

α = tasa de crecimiento del proyecto

V = valor del proyecto

σ = desviación estándar del valor del proyecto.

dz = incremento de un proceso de Wiener. Si el incremento se hace infinitesimalmente pequeño, se puede representar como:

$$dz = \epsilon \sqrt{dt}$$

Siendo ϵ una variable aleatoria normal de media cero y varianza uno.

$$(dz)^2 = \epsilon \epsilon (dt) \quad y \quad \epsilon \epsilon (dz) = 0,$$

Si el valor neto presente del proyecto $F(V,t)$ es:

$$F(V) = F(V, t)$$

Por el lema de Ito

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

Introduciendo la ecuación 1 en la ecuación 2 y calculando el valor esperado se tiene:

$$\epsilon (dF) = \epsilon \left(\frac{\partial F}{\partial V} (\alpha V dt + \sigma V dz) + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 F}{\partial V^2} (\alpha V dt + \sigma V dz)^2 \right)$$

$$\in (dF) = \alpha V \frac{\partial F}{\partial V} dt + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 F}{\partial V^2} (\sigma^2 V^2 dt) \dots\dots\dots (3)$$

Al utilizar la ecuación de Bellman, que es una relación recursiva fundamental que traduce matemáticamente el principio básico de la programación dinámica, llamado el principio de optimalidad de Bellman, el cual expresa que. *“Una política óptima tiene la propiedad de que, cualesquiera que sean el estado y las decisiones iniciales tomadas, las restantes decisiones deben constituir una política óptima con independencia del estado de la primera decisión”*; este principio señala que. *“El rendimiento λ de la inversión F en un intervalo de tiempo dt, esto es $\lambda F dt$, debe ser igual a su valor esperado $\in (dF)$ ”*

$$\lambda F dt = \in (dF) \dots\dots\dots (4)$$

Al introducir la ecuación 4 en la ecuación 3, se tiene:

$$\lambda F dt = \alpha V \frac{\partial F}{\partial V} dt + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 F}{\partial V^2} (\sigma^2 V^2 dt)$$

Dividiendo ambos miembros de la igualdad por dt y reordenando se obtiene la siguiente ecuación diferencial de segundo grado:

$$\frac{1}{2} \sigma^2 V^2 F'' + \alpha V F' - \lambda F = 0 \dots\dots\dots (5)$$

Si se define a δ como $\delta = \lambda - \alpha$ entonces:

$$\frac{1}{2} \sigma^2 V^2 F'' + (\lambda - \delta) V F' - \lambda F = 0 \dots\dots\dots (6)$$

Ahora podemos calcular un valor crítico V^* de la oportunidad de inversión, si se hace a $F(V)$ el valor presente neto una función concreta, con algunas restricciones:

$$F(V) = F(0) = 0 \dots\dots\dots (7)$$

$$F(V^*) = V^* - I \dots\dots\dots (8)$$

$$F'(V^*) = 1 \dots\dots\dots (9)$$

Para satisfacer la condición 7, la solución tomara la siguiente forma:

$$F(V) = AV^{*\beta} \dots\dots\dots (10)$$

Sustituyendo $F(V)$ en la restricción 8 se tiene:

$$AV^{*\beta} = V^* - I$$

De aquí se despeja A y queda:

$$A = \frac{V^* - I}{V^{*\beta}} \dots\dots\dots (11)$$

Obteniendo la primera derivada de la ecuación 10, y utilizando 9 resulta:

$$F'(V^*) = 1 = \beta AV^{*\beta-1} \dots\dots\dots (12)$$

Introduciendo la ecuación 11 en 12 se obtiene:

$$\beta \left(\frac{V^* - I}{V^{*\beta}} \right) V^{*\beta-1} = 1$$

Ahora despejando el valor crítico:

$$V^* = \frac{\beta}{\beta - 1} I \dots\dots\dots (13)$$

Cabe mencionar que un proyecto será rentable si se cumple: $\frac{\beta}{\beta - 1} > 1$

Sustituyendo V^* en la ecuación 11 se tiene:

$$A = \frac{(\beta - 1)^{\beta - 1}}{\beta^\beta I^{\beta - 1}} \dots\dots\dots (14)$$

Con las ecuaciones 13 y 14, y tomando en cuenta lo siguiente:

$$F(V) = AV^\beta, \quad F'(V) = A\beta V^{\beta - 1} \quad \text{y} \quad F''(V) = A\beta(\beta - 1)V^{\beta - 2}$$

Se puede resolver la ecuación 6 como binomio⁶.

$$\beta = \frac{1}{2} - \frac{\lambda - \delta}{\sigma^2} \pm \sqrt{\left(\frac{\lambda - \delta}{\sigma^2} - \frac{1}{2}\right)^2 + 2\frac{\lambda}{\sigma^2}} \dots\dots\dots (15)$$

Con las ecuaciones 13, 14 y 15 se calcula el valor crítico de un proyecto (V^*) que indique cuantas veces mayor tiene que ser el valor del proyecto a la inversión para que no haya pérdidas. Para ello, lo que se necesita es la tasa de descuento (λ) y calcular la media de la tasa de crecimiento de los precios (α) y su varianza (σ^2).

En el cuadro 12 se presenta el resultado del comportamiento de los precios al consumidor de 38 productos agropecuarios, para lo cual se utilizó el índice de precios de los productos al consumidor, y estos se deflactaron con el índice general de precios

⁶ Ver Dixit y Pindyck (1999, cap. 5), para una exposición detallada.

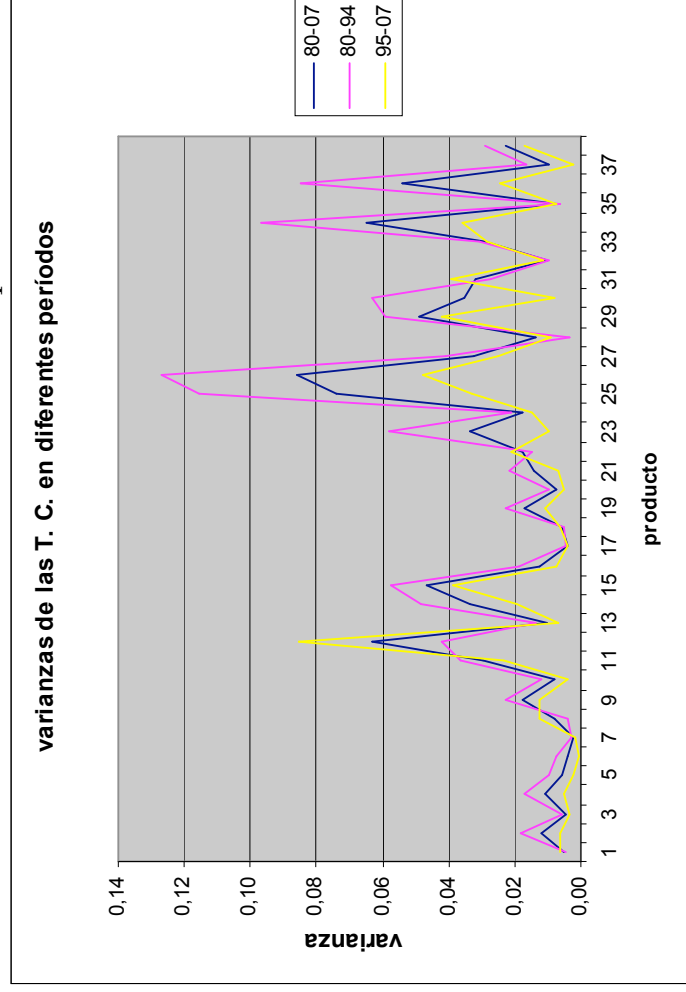
al consumidor base segunda quincena de junio de 2002. Posteriormente se obtuvo la tasa de crecimiento continua de los precios, este es el logaritmo natural de el cociente del año t entre el año anterior (t-1). Con estas tasas de crecimiento se calculó la media y la varianza de esos productos en 3 diferentes períodos 1980-2006, 1980-1994 y 1995-2006, los cuales se presentan a continuación.

Cuadro 12. Medias y varianzas de la tasa de crecimiento de los precios al consumidor.

PRODUCTO	1980-2007		1980-1994		1995-2007	
	Media	Varianza	Media	Varianza	Media	Varianza
Maíz	0.0059	0.0054	0.0150	0.0046	-0.0038	0.0065
Arroz	-0.0167	0.0119	-0.0112	0.0182	-0.0227	0.0060
Carne de ave	-0.0255	0.0046	-0.0320	0.0059	-0.0184	0.0034
Carne de cerdo	-0.0202	0.0109	-0.0176	0.0171	-0.0231	0.0050
Carne de res	-0.0137	0.0058	-0.0142	0.0095	-0.0132	0.0024
Leche	-0.0018	0.0042	-0.0140	0.0076	0.0113	0.0006
Queso	-0.0078	0.0023	-0.0185	0.0026	0.0037	0.0019
Huevo	-0.0176	0.0080	-0.0293	0.0039	-0.0049	0.0128
Manzana	-0.0086	0.0174	-0.0228	0.0230	0.0067	0.0123
Plátano	0.0108	0.0079	0.0172	0.0122	0.0039	0.0038
Naranja	0.0067	0.0293	-0.0098	0.0366	0.0244	0.0232
Aguacate	-0.0052	0.0630	-0.0535	0.0420	0.0468	0.0854
Mango	-0.0167	0.0102	-0.0245	0.0139	-0.0082	0.0068
Papaya	-0.0020	0.0336	-0.0215	0.0486	0.0190	0.0191
Limón	-0.0003	0.0466	-0.0040	0.0574	0.0037	0.0387
Uva	-0.0136	0.0127	-0.0191	0.0187	-0.0077	0.0072
Melón	-0.0025	0.0042	-0.0120	0.0047	0.0077	0.0039
Sandía	0.0001	0.0057	0.0140	0.0054	-0.0150	0.0061
Pera	-0.0195	0.0172	-0.0453	0.0229	0.0083	0.0109
Durazno	-0.0162	0.0071	-0.0204	0.0097	-0.0116	0.0049
Toronja	-0.0117	0.0144	0.0083	0.0213	-0.0333	0.0070
Piña	-0.0023	0.0175	0.0105	0.0151	-0.0162	0.0212
Guayaba	-0.0102	0.0336	0.0024	0.0579	-0.0238	0.0097
Jitomate	0.0138	0.0179	-0.0056	0.0212	0.0347	0.0150
Papa	0.0082	0.0738	0.0364	0.1154	-0.0222	0.0329
Cebolla	0.0208	0.0861	-0.0031	0.1269	0.0465	0.0477
Tomate verde	-0.0120	0.0322	-0.0170	0.0412	-0.0066	0.0250
Calabacita	0.0132	0.0135	0.0032	0.0032	0.0239	0.0091
Chile serrano	-0.0099	0.0491	-0.0182	0.0591	-0.0010	0.0421
Zanahoria	0.0055	0.0353	0.0018	0.0632	0.0096	0.0080
Chile poblano	-0.0113	0.0318	-0.0096	0.0275	-0.0131	0.0391
Lechuga y col	-0.0082	0.0105	-0.0274	0.0098	0.0124	0.0113
Chicharo	-0.0014	0.0288	-0.0137	0.0310	0.0118	0.0286
Chayote	0.0037	0.0650	0.0129	0.0966	-0.0062	0.0360
Pepino	0.0101	0.0074	-0.0199	0.0060	0.0423	0.0073
Frijol	-0.0057	0.0538	-0.0098	0.0849	-0.0013	0.0246
Azúcar	0.0022	0.0097	-0.0082	0.0168	0.0134	0.0025
Café	-0.0088	0.0229	-0.0248	0.0292	0.0083	0.0173

Fuente: Elaboración propia con datos de Banxico.

Gráfica 6. Varianza de la tasa de crecimiento de los precios, en los diferentes periodos.



Fuente: Elaboración propia con base en el cuadro 12.

En la gráfica 5 se observa que el período con mayor variabilidad es el de 1980-1994, después sigue el de 1980-2007, y por último el período 1995-2007, por lo que se espera que los valores críticos sean mayores durante el período 80-94.

Con las ecuaciones 7, 9 y 11 se hace la estimación del valor crítico, el valor de beta (β) y el valor de A de los productos al consumidor, tomando en cuenta las varianzas, las medias calculadas y una tasa de descuento del 10%.

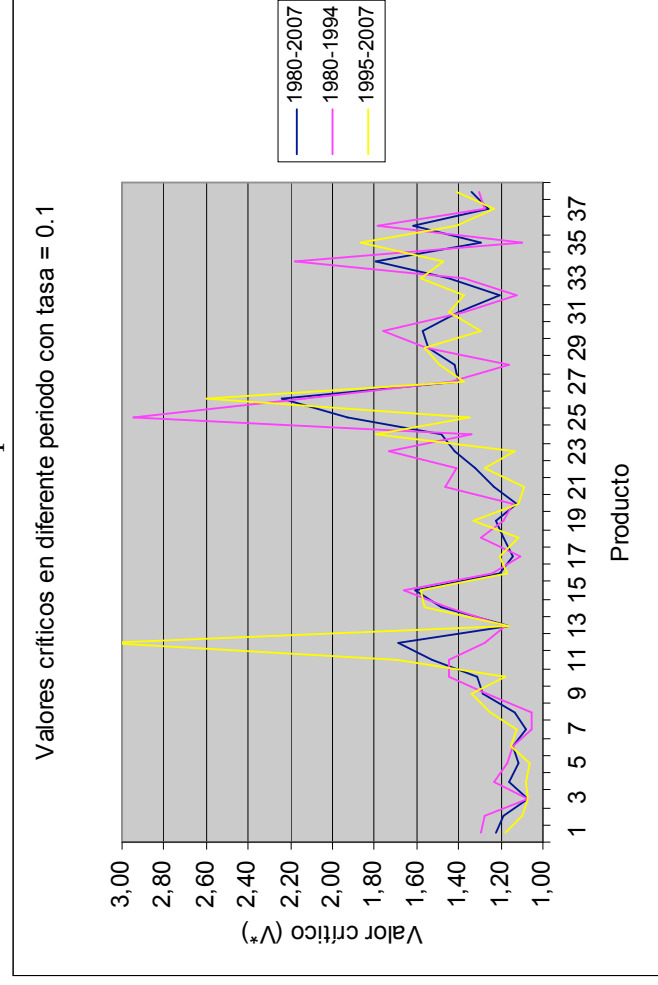
En el cuadro 13 y grafica 6, se observa que a medida que el valor crítico aumenta, existe la posibilidad de mayor riesgo en la inversión, lo cual significa que los precios muestran mayor volatilidad, esto se puede ver en la correspondencia que existe entre la varianza y el valor crítico obtenido, por otro lado también se puede ver que el valor crítico guarda una relación directa con el parámetro A y una relación inversa con el parámetro β

Cuadro 13. Valor crítico (V*), beta (β) y A, con tasa de descuento del 10%

PRODUCTO	1980 -2007		1980 - 1994		1995 - 2007				
	β	V*	β	A	β	V*			
Maíz	5.519	0.073	1.221	4.392	0.095	1.295	6.732	0.059	1.174
Arroz	6.426	0.062	1.184	4.615	0.090	1.277	11.447	0.034	1.096
Carne de ave	15.080	0.025	1.071	14.277	0.027	1.075	15.577	0.024	1.069
Carne de cerdo	7.264	0.054	1.160	5.278	0.077	1.234	13.269	0.029	1.082
Carne de res	9.378	0.041	1.119	7.013	0.057	1.166	17.133	0.022	1.062
Leche	7.856	0.050	1.146	7.965	0.049	1.144	7.584	0.052	1.152
Queso	13.870	0.028	1.078	19.071	0.020	1.055	8.856	0.044	1.127
Huevo	8.392	0.047	1.135	18.935	0.020	1.056	4.941	0.083	1.254
Manzana	4.524	0.092	1.284	4.792	0.086	1.264	3.986	0.106	1.335
Plátano	4.238	0.099	1.309	3.242	0.135	1.446	6.727	0.059	1.175
Naranja	2.899	0.154	1.527	3.229	0.136	1.449	2.435	0.192	1.697
Aguacate	2.458	0.190	1.686	4.585	0.090	1.279	1.484	0.392	3.068
Mango	7.062	0.056	1.165	6.682	0.060	1.176	7.377	0.054	1.157
Papaya	3.065	0.144	1.484	3.179	0.138	1.459	2.780	0.163	1.562
Limón	2.639	0.174	1.610	2.521	0.184	1.658	2.712	0.168	1.584
Uva	5.838	0.069	1.207	5.133	0.080	1.242	7.049	0.056	1.165
Melón	8.068	0.049	1.141	10.308	0.038	1.107	5.853	0.069	1.206
Sandía	6.427	0.062	1.184	4.344	0.096	1.299	9.418	0.041	1.119
Pera	5.412	0.075	1.227	6.336	0.063	1.187	4.032	0.105	1.330
Durazno	8.730	0.045	1.129	7.842	0.050	1.146	9.821	0.039	1.113
Toronja	5.271	0.077	1.234	3.173	0.138	1.460	12.694	0.030	1.086
Piña	4.071	0.103	1.326	3.452	0.125	1.408	4.577	0.090	1.280
Guayaba	3.374	0.129	1.421	2.372	0.199	1.729	8.402	0.047	1.135
Jitomate	3.079	0.144	1.481	3.931	0.108	1.341	2.262	0.212	1.792
Papa	2.082	0.237	1.925	1.514	0.379	2.944	3.907	0.108	1.344
Cebolla	1.804	0.289	2.243	1.885	0.272	2.130	1.627	0.338	2.595
Tomate verde	3.513	0.123	1.398	3.297	0.132	1.435	3.690	0.116	1.372
Calabacita	3.399	0.128	1.417	7.382	0.053	1.157	3.020	0.147	1.495
Chile serrano	2.840	0.158	1.543	2.817	0.160	1.550	2.766	0.164	1.566
Zanahoria	2.749	0.165	1.572	2.313	0.206	1.762	4.353	0.096	1.298
Chile poblano	3.505	0.123	1.399	3.677	0.116	1.373	3.247	0.135	1.445
Lechuga y col	5.828	0.069	1.207	8.893	0.044	1.127	3.652	0.117	1.377
Chíncharo	3.240	0.135	1.446	3.652	0.117	1.377	2.736	0.166	1.576
Chayote	2.252	0.213	1.798	1.851	0.279	2.175	3.126	0.141	1.470
Pepino	4.416	0.094	1.293	10.759	0.036	1.102	2.150	0.226	1.869
Frijol	2.626	0.175	1.615	2.269	0.211	1.788	3.454	0.125	1.407
Azúcar	4.832	0.085	1.261	4.583	0.090	1.279	5.318	0.076	1.232
Café	3.974	0.106	1.336	4.293	0.097	1.304	3.418	0.127	1.414

Fuente: Elaboración propia con base en cálculos realizados.

Gráfica 7. Valores críticos en diferentes periodos.



Fuente: Elaboración propia con base en el cuadro 13.

Si con los valores de V^* que es el valor crítico, se clasifican en grupos de acuerdo al riesgo, en elevado, alto, medio y bajo, se tendrá una mejor apreciación de los cultivos para cada período ver cuadro 14.

Cuadro 14. Valor crítico y grupo de riesgo

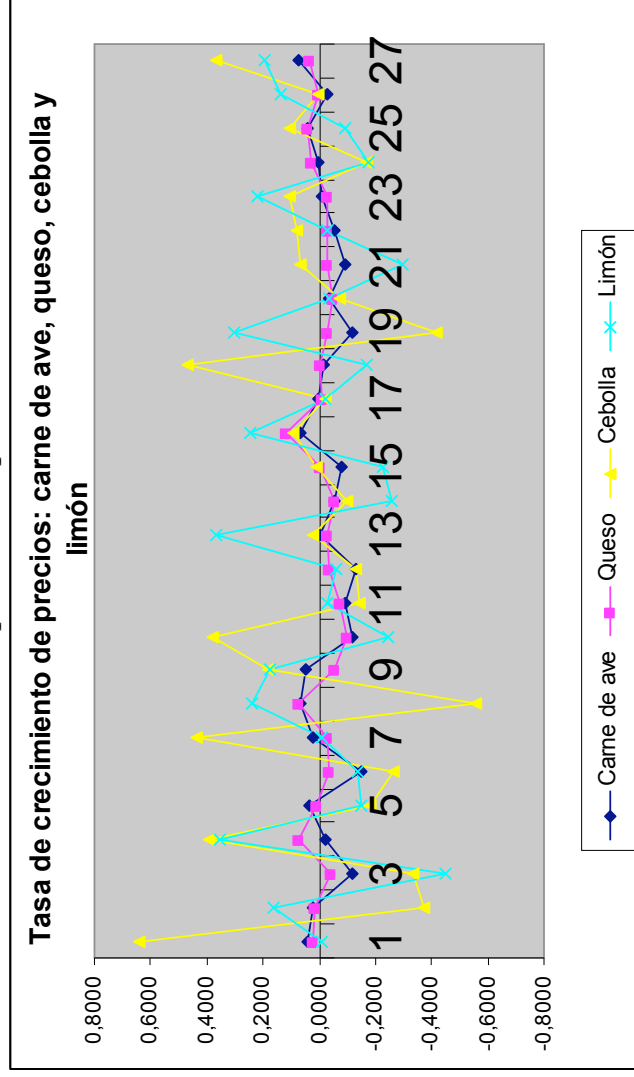
GRUPO	1980-2007		1980-1994		1995-2007	
	Producto	V*	Producto	V*	Producto	V*
Grupo I (Riesgo bajo)	Carne da ave	1.071	Queso	1.055	Carne de res	1.062
	Queso	1.078	Huevo	1.056	Carne de ave	1.069
Grupo II (Riesgo medio)			Carne de ave	1.075	Carne de cerdo	1.082
			Pepino	1.102	Toronja	1.086
			Melón	1.107	Arroz	1.096
			Lechuga y col	1.127	Durazno	1.113
			Leche	1.144	Sandía	1.119
			Durazno	1.146	Queso	1.127
			Calabacita	1.157	Guayaba	1.135
			Carne de res	1.166	Leche	1.152
			Mango	1.176	Mango	1.157
			Pera	1.187	Uva	1.165
Grupo III (Riesgo alto)					Maíz	1.174
					Plátano	1.175
			Uva	1.207	Melón	1.206
			Lechuga y col	1.207	Azúcar	1.232
			Maíz	1.221	Huevo	1.254
			Pera	1.227	Piña	1.280
			Toronja	1.234	Zanahoria	1.298
			Azúcar	1.262	Pera	1.330
			Manzana	1.284	Manzana	1.335
			Pepino	1.293	Papa	1.344
			Plátano	1.309	Tomate verde	1.372
			Piña	1.326	Lechuga y col	1.377
			Café	1.336	Frijol	1.407
			Tomate verde	1.398	Café	1.414
			Chile poblano	1.399	Chile poblano	1.445
			Calabacita	1.417	Chayote	1.470
			Guayaba	1.421	Calabacita	1.495
		Chícharo	1.446			
		Jitomate	1.481			
		Papaya	1.484			
Grupo IV (Riesgo elevado)	Naranja	1.527	Chile serrano	1.550	Papaya	1.562
	Chile serrano	1.543	Limón	1.658	Chile serrano	1.566
	Zanahoria	1.572	Guayaba	1.729	Chícharo	1.576
	Limón	1.610	Zanahoria	1.762	Limón	1.584
	Frijol	1.615	Frijol	1.788	Naranja	1.697
	Aguacate	1.686	Cebolla	2.130	Jitomate	1.792
	Chayote	1.798	Chayote	2.175	Pepino	1.869
	Papa	1.925	Papa	2.944	Cebolla	2.595
	Cebolla	2.244			Aguacate	3.068

Fuente: Elaboración propia con base en el cuadro 13.

En el cuadro 14, se observa que la carne de ave y queso son los productos que presentan menor valor crítico y, por lo tanto, menor variación de precios en los tres periodos, mientras que la cebolla y el limón son los que presentan mayor variación, en la gráfica 7

se puede observar el contraste en el comportamiento de la tasa de crecimiento de los precios de estos productos.

Gráfica 8. Tasa de crecimiento de precios de 4 productos.



Fuente: Elaboración propia con base en información de Banxico.

Nótese que existe una variación directa entre el valor crítico y la volatilidad de los precios, a mayor volatilidad mayor valor crítico, como es el caso del limón y cebolla.

Si se supone una disminución de la volatilidad de los precios en 20% y un aumento en la media de la tasa de crecimiento de estos del 10%, arroja como resultado que los valores crítico se modifiquen y proporciona una idea del comportamiento de V^* , en caso de una cobertura de precios. Esto se puede observar en los cuadros 15, 16 y 17:

Cuadro 15. Valores de: (V^*), (β) y A , con disminución del 20% en volatilidad y tasa de descuento del 10%

PRODUCTO	1980 -2007			1980 - 1994			1995 - 2007		
	β	A	V^*	β	A	V^*	β	A	V^*
Maíz	5.872	0.069	1.205	4.402	0.095	1.294	7.637	0.052	1.151
Arroz	7.621	0.052	1.151	5.292	0.077	1.233	14.280	0.027	1.075
Carne de ave	19.215	0.020	1.055	18.303	0.021	1.058	19.606	0.019	1.054
Carne de cerdo	8.756	0.045	1.129	6.195	0.065	1.193	16.715	0.023	1.064
Carne de res	11.287	0.034	1.097	8.305	0.047	1.137	21.347	0.018	1.049
Leche	8.842	0.044	1.128	9.500	0.041	1.118	7.215	0.055	1.161
Queso	16.639	0.023	1.064	24.279	0.015	1.043	9.440	0.041	1.118
Huevo	10.144	0.038	1.109	24.536	0.015	1.042	5.573	0.073	1.219
Manzana	5.146	0.079	1.241	5.646	0.072	1.215	4.265	0.098	1.306
Plátano	4.412	0.094	1.293	3.314	0.131	1.432	7.227	0.055	1.161
Naranja	3.114	0.142	1.473	3.623	0.118	1.381	2.470	0.189	1.680
Aguacate	2.699	0.169	1.589	5.571	0.073	1.219	1.477	0.395	3.098
Mango	8.425	0.046	1.135	8.078	0.049	1.141	8.576	0.046	1.132
Papaya	3.374	0.129	1.421	3.632	0.118	1.380	2.855	0.157	1.539
Limón	2.879	0.156	1.532	2.765	0.164	1.567	2.935	0.152	1.517
Uva	6.827	0.058	1.172	6.033	0.067	1.199	8.161	0.048	1.140
Melón	9.130	0.043	1.123	12.400	0.031	1.088	6.110	0.066	1.196
Sandía	7.118	0.056	1.163	4.397	0.095	1.294	11.385	0.034	1.096
Pera	6.387	0.063	1.186	7.835	0.050	1.146	4.275	0.098	1.305
Durazno	10.540	0.037	1.105	9.504	0.041	1.118	11.763	0.033	1.093
Toronja	6.096	0.066	1.196	3.386	0.128	1.419	16.196	0.023	1.066
Piña	4.522	0.092	1.284	3.641	0.118	1.379	5.308	0.077	1.232
Guayaba	3.797	0.112	1.358	2.567	0.180	1.638	10.300	0.038	1.108
Jitomate	3.215	0.136	1.451	4.406	0.094	1.294	2.202	0.219	1.832
Papa	2.222	0.217	1.819	1.540	0.369	2.851	4.533	0.091	1.283
Cebolla	1.880	0.273	2.136	2.035	0.244	1.966	1.598	0.348	2.672
Tomate verde	3.977	0.106	1.336	3.752	0.114	1.363	4.136	0.102	1.319
Calabacita	3.540	0.122	1.394	7.964	0.049	1.144	2.983	0.149	1.504
Chile serrano	3.167	0.139	1.462	3.179	0.138	1.459	3.028	0.146	1.493
Zanahoria	2.962	0.150	1.510	2.504	0.186	1.665	4.562	0.091	1.281
Chile poblano	3.962	0.107	1.338	4.151	0.101	1.317	3.667	0.117	1.375
Lechuga y col	6.700	0.059	1.175	11.013	0.035	1.100	3.801	0.112	1.357
Chíncharo	3.567	0.120	1.390	4.157	0.101	1.317	2.893	0.155	1.528
Chayote	2.428	0.193	1.700	1.956	0.258	2.046	3.476	0.124	1.404
Pepino	4.609	0.090	1.277	13.289	0.029	1.081	2.020	0.247	1.981
Fríjol	2.895	0.155	1.528	2.497	0.186	1.668	3.808	0.112	1.356
Azúcar	5.280	0.077	1.234	5.210	0.078	1.238	5.263	0.077	1.235
Café	4.495	0.092	1.286	5.035	0.081	1.248	3.642	0.118	1.378

Fuente: Elaboración propia con base en cálculos realizados.

Con estos resultados, en la mayoría de los productos el riesgo medido como valor crítico disminuye. Esto significa que en caso de una cobertura de precios, los valores críticos disminuyen en diferente proporción, dependiendo del periodo y producto. A

continuación se realiza la comparación entre el valor crítico normal y el valor crítico con cobertura.

Cuadro 16 .Comparación de los valores críticos (v*) en escenario normal y con cobertura

PERIODO PRODUCTO	1980-2007		1980-1994		1995-2007	
	normal cubierto	%	normal cubierto	%	normal cubierto	%
Maíz	1.221	-1.311	1.295	-0.063	1.174	-2.025
Arroz	1.184	-2.808	1.277	-3.416	1.096	-1.864
Carne de ave	1.071	-1.505	1.075	-1.630	1.069	-1.390
Carne de cerdo	1.160	-2.648	1.234	-3.345	1.082	-1.652
Carne de res	1.119	-1.979	1.166	-2.522	1.062	-1.209
Leche	1.146	-1.600	1.144	-2.268	1.152	0.782
Queso	1.078	-1.277	1.055	-1.173	1.127	-0.782
Huevo	1.135	-2.284	1.056	-1.257	1.254	-2.798
Manzana	1.284	-3.315	1.264	-3.833	1.335	-2.142
Plátano	1.309	-1.199	1.446	-0.950	1.175	-1.193
Naranja	1.527	-3.507	1.449	-4.653	1.697	-0.964
Aguacate	1.686	-5.773	1.279	-4.701	3.068	0.973
Mango	1.165	-2.598	1.176	-2.953	1.157	-2.146
Papaya	1.484	-4.244	1.459	-5.420	1.562	-1.438
Limón	1.610	-4.857	1.658	-5.496	1.584	-4.251
Uva	1.207	-2.909	1.242	-3.484	1.165	-2.202
Melón	1.141	-1.620	1.107	-1.780	1.206	-0.859
Sandía	1.184	-1.758	1.299	-0.358	1.119	-2.010
Pera	1.227	-3.346	1.187	-3.461	1.330	-1.836
Durazno	1.129	-2.173	1.146	-2.492	1.113	-1.837
Toronja	1.234	-3.071	1.460	-2.816	1.086	-1.815
Piña	1.326	-3.147	1.408	-2.074	1.280	-3.705
Guayaba	1.421	-4.486	1.729	-5.234	1.135	-2.430
Jitomate	1.481	-1.988	1.341	-3.546	1.792	2.232
Papa	1.925	-5.508	2.944	-3.158	1.344	-4.539
Cebolla	2.243	-4.773	2.130	-7.697	2.595	2.966
Tomate verde	1.398	-4.432	1.435	-5.008	1.372	-3.857
Calabacita	1.417	-1.629	1.157	-1.130	1.495	0.617
Chile serrano	1.543	-5.298	1.550	-5.883	1.566	-4.666
Zanahoria	1.572	-3.946	1.762	-5.486	1.298	-1.347
Chile poblano	1.399	-4.396	1.373	-4.089	1.445	-4.849
Lechuga y col	1.207	-2.623	1.127	-2.381	1.377	-1.458
Chíncharo	1.446	-3.932	1.377	-4.379	1.576	-3.037
Chayote	1.798	-5.456	2.175	-5.912	1.470	-4.528
Pepino	1.293	-1.207	1.102	-1.914	1.869	5.952
Frijol	1.615	-5.401	1.788	-6.706	1.407	-3.644
Azúcar	1.261	-2.167	1.279	-3.251	1.232	0.242
Café	1.336	-3.752	1.304	-4.281	1.414	-2.479

Fuente: Elaboración propia con base en cálculos realizados

En suma a los productos que más impacto tendría una cobertura de precios (reducción de la varianza) en los diferentes períodos son los siguientes:

Cuadro 17. Productos más sensibles a una reducción de la varianza

1980 - 2007		1980 - 1994		1995 - 2007	
Producto	%	Producto	%	Producto	%
Aguacate	-5.77	Frijol	-6.71	Chile poblano	-4.85
Papa	-5.51	Chile serrano	-5.88	Chile serrano	-4.67
Chayote	-5.46	Limón	-5.50	Papa	-4.54
Frijol	-5.40	Zanahoria	-5.49	Chayote	-4.53
Chile serrano	-5.30	Papaya	-5.42	Limón	-4.25

Fuente: Elaboración propia con base en el cuadro 16.

Cabe señalar que existen algunos productos como: aguacate, jitomate, cebolla, calabacita, pepino y azúcar que en el período 1995 – 2007, al presentar menor varianza aumenta su valor crítico. La respuesta es que no solamente se trata de cubrir precios, sino que se requiere diferenciar el producto para que la media de la tasa de crecimiento de los precios llegue a ser positivo y, por lo tanto el riesgo del proyecto disminuya.

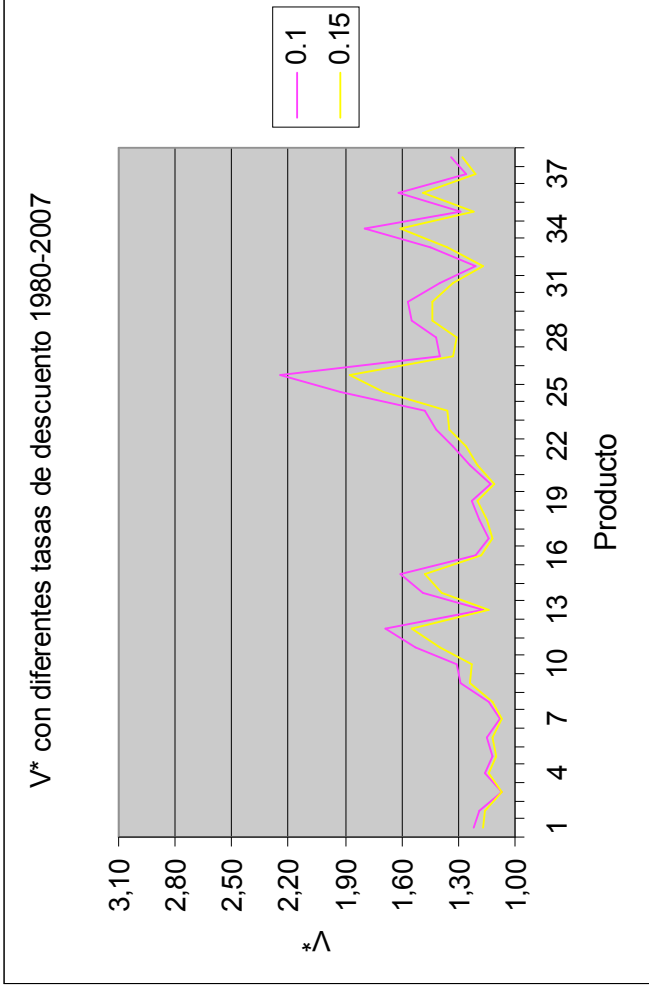
Utilizando la misma metodología, y con un incremento de la tasa de descuento de 10% a 15%. Se observa que el valor crítico del proyecto disminuye. Véase cuadro 18.

Cuadro 18. Valores de: (V*), (β) y A, con tasa de descuento del 15%

PRODUCTO	1980 -2007			1980 - 1994			1995 - 2007		
	β	A	V*	β	A	V*	β	A	V*
Maíz	6.881	0.058	1.170	5.778	0.070	1.209	7.958	0.049	1.144
Arroz	7.276	0.054	1.159	5.329	0.076	1.231	12.525	0.031	1.087
Carne de ave	16.226	0.023	1.066	15.241	0.025	1.070	16.989	0.022	1.063
Carne de cerdo	8.128	0.048	1.140	5.990	0.067	1.200	14.419	0.026	1.075
Carne de res	10.583	0.036	1.104	7.974	0.049	1.143	18.907	0.020	1.056
Leche	9.388	0.041	1.119	9.028	0.043	1.125	10.667	0.036	1.103
Queso	15.818	0.024	1.067	20.618	0.018	1.051	11.123	0.035	1.099
Huevo	9.404	0.041	1.119	20.072	0.019	1.052	5.813	0.069	1.208
Manzana	5.260	0.077	1.235	5.395	0.075	1.228	4.891	0.084	1.257
Plátano	5.356	0.076	1.230	4.135	0.102	1.319	8.350	0.047	1.136
Naranja	3.483	0.124	1.403	3.733	0.114	1.366	3.085	0.143	1.480
Aguacate	2.842	0.158	1.543	4.981	0.082	1.251	1.827	0.284	2.208
Mango	7.976	0.049	1.143	7.432	0.053	1.155	8.548	0.046	1.132
Papaya	3.602	0.119	1.384	3.599	0.119	1.385	3.501	0.123	1.400
Limón	3.093	0.143	1.478	2.925	0.153	1.519	3.217	0.136	1.451
Uva	6.677	0.060	1.176	5.811	0.069	1.208	8.189	0.048	1.139
Melón	9.599	0.040	1.116	11.664	0.033	1.094	7.439	0.053	1.155
Sandía	7.753	0.051	1.148	5.654	0.071	1.215	10.587	0.036	1.104
Pera	6.115	0.066	1.195	6.866	0.058	1.170	4.995	0.082	1.250
Durano	9.805	0.040	1.114	8.748	0.045	1.129	11.147	0.035	1.099
Toronja	6.070	0.066	1.197	3.860	0.110	1.350	13.591	0.028	1.079
Piña	4.819	0.085	1.262	4.270	0.098	1.306	5.224	0.078	1.237
Guayaba	3.899	0.109	1.345	2.780	0.163	1.562	9.283	0.042	1.121
Jitomate	3.828	0.111	1.354	4.605	0.090	1.277	3.011	0.147	1.497
Papa	2.443	0.191	1.693	1.808	0.289	2.238	4.416	0.094	1.293
Cebolla	2.143	0.228	1.875	2.149	0.227	1.871	2.077	0.237	1.928
Tomate verde	4.047	0.104	1.328	3.761	0.113	1.362	4.307	0.097	1.302
Calabacita	4.257	0.098	1.307	9.148	0.043	1.123	3.994	0.106	1.334
Chile serrano	3.273	0.133	1.440	3.202	0.137	1.454	3.245	0.135	1.445
Zanahoria	3.279	0.133	1.439	2.702	0.169	1.588	5.469	0.074	1.224
Chile poblano	4.045	0.104	1.328	4.261	0.098	1.307	3.729	0.114	1.366
Lechuga y col	6.776	0.059	1.173	9.742	0.040	1.114	4.591	0.090	1.278
Chicharo	3.822	0.111	1.354	4.194	0.100	1.313	3.330	0.131	1.429
Chayote	2.637	0.174	1.611	2.166	0.224	1.857	3.639	0.118	1.379
Pepino	5.574	0.073	1.219	11.875	0.032	1.092	3.019	0.147	1.495
Frijol	3.043	0.146	1.490	2.593	0.177	1.628	4.085	0.103	1.324
Azúcar	5.852	0.069	1.206	5.334	0.076	1.231	7.119	0.056	1.163
Café	4.616	0.090	1.277	4.827	0.085	1.261	4.183	0.100	1.314

Fuente: Elaboración propia con base en cálculos realizados.

Gráfica 9. Valores críticos con diferentes tasas de descuento.



Fuente: Elaboración propia con base en datos de Banxico.

En los tres períodos se observa que al aumentar la tasa de descuento el valor crítico disminuye, por lo que se tiene una relación inversa de estas variables, esto se explica porque cuando las tasas de interés fluctúan positivamente, más alto será también el costo del capital y menor el valor presente neto de los proyectos, es decir, los flujos de efectivo disminuyen al tener que ser actualizados con una tasa mayor.

CONCLUSIONES

El enfoque de opciones reales presenta grandes ventajas, las que junto a las de la evaluación tradicional permiten mejorar la calidad del análisis, en consecuencia, a la luz de los proyectos analizados, se comprueba que la integración de las técnicas tradicionales y la metodología de opciones reales mejoran sustancialmente la toma de decisiones en la implementación de proyectos de inversión.

Uno de los problemas que presenta el análisis de opciones reales es que tiende a sobre valorar los proyectos, lo que puede llevar a decisiones equivocadas sobre la viabilidad real de un proyecto.

La aplicación práctica del análisis de opciones reales presenta dificultades para la identificación y cuantificación de las variables principales, pero es mejor hacer estimaciones razonables a ignorar el concepto y su valor.

La complejidad en la valoración de opciones implica que, en la práctica, el procedimiento más aceptado es evaluar los flujos de caja esperados de la manera tradicional, es decir, descontándolos a una tasa de riesgo, y luego añadir al VPN el valor de las opciones asociadas con la flexibilidad gerencial.

El valor crítico señala cuantas veces mayor debe ser el valor del proyecto a la inversión para que sea rentable en escenarios de precios estocásticos. Entre mayor sea el riesgo del proyecto mayor será su valor crítico.

RECOMENDACIONES

Al utilizar el método binomial son necesarios al menos 1000 pasos para tener resultados más precisos y es conveniente también recurrir a una aproximación de forma cerrada como el método Black-Scholes para compararlo y obtener mejores resultados.

No siempre es posible evaluar las opciones con una aproximación de forma cerrada como la fórmula Black-Scholes o alguna de sus variantes que nos puedan dar una buena aproximación del valor de la opción, en estos casos lo mejor que se puede hacer es utilizar solo la aproximación binomial.

En escenarios de precios estocásticos no es suficiente con conocer el Valor Presente Neto de un proyecto, sino que también, es necesario calcular su valor crítico para saber cuantas veces mayor debe ser el valor del proyecto para no incurrir en pérdidas.

BIBLIOGRAFÍA

- Amram Martha, Kulatilaka Nalin. Opciones reales: Evolución de inversiones en un mundo incierto. España: Romanya Valls, S. A. 2000.
- Branch, Marion A. Real options in practice. United States of America: Wiley Finance Series, 2003.
- Black Fisher, Scholes Myron. The pricing of options and corporate liabilities. The Journal of Political Economy, Vol. 81, No. 3, 1973, Pág. 637-654.
- Brambila Paz José de Jesús. Financiamiento Rural: Redes de Valor y Opciones Reales. Banco de Mexico-FIRA, 2003.
- Copeland Tom, Antikarov Vladimir. Real Options: A practitioner's guide United States of America: Texere Publishing, 2001.
- Cox Jhon C., Ross, Stephen A. y Rubinstein Mark. Option pricing: A simplified approach. Journal of Financial Economics, Vol 7, No. 3, 1979, Pág. 229-263
- Damodaran, Aswath The Promise and Peril of Real Options. Stern School of Business, New York NY, 1999.
- Dixit, Avinash, Pindyck, Robert. Investment under uncertainty. United States of America: Princeton University Press, 1999.
- Mauboussin, Michael J. Using Real Options in Security Analysis. Frontiers of finance Columbia Graduate School of Business, Vol. 10, New York, 1999.
- Mun, Johnathan. Real options analysis: Tools and Techniques for valuing strategic investment and decisions. United States of America: Wiley Finance Series, 2002.

Mun, Johnathan. Modeling Risk: Applying Monte Carlo Simulation, Real Options Analysis, Forecasting, and Optimization Techniques. United States of America: Jhon Wiley & Sons, 2006.

Ortiz Rosales Miguel Ángel “Proyecto de inversión para el establecimiento de una planta empaadora de camarón en el Sur de Sonora” . Tesis (maestría en economía) Colegio de Postgraduados, 2005.

Scialdone, Pietro. Valuing Managerial Flexibility. Zurich: Cuvillier Verlag Gottingen, 2007.

Siller Bedoya Ileana Eunice “Proyecto de inversión para el cultivo en invernadero de *Lilium sp.* Variedad asiática (lily) en el municipio de Texcoco, estado de México” . Tesis (maestría en economía) Colegio de Postgraduados, 2005.

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