



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
DIVISIÓN DE CIENCIAS ECONÓMICO ADMINISTRATIVAS

**ADMINISTRACIÓN DE RIESGOS MEDIANTE OPCIONES
REALES EN JITOMATE DE INVERNADERO**

TESIS PROFESIONAL

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:
DOCTOR EN CIENCIAS EN ECONOMÍA AGRÍCOLA**



DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

PRESENTA:

CRUZ DORIANO SACRAMENTO

CHAPINGO, MÉXICO. JULIO DE 2011



**ADMINISTRACIÓN DE RIESGOS MEDIANTE OPCIONES
REALES EN JITOMATE DE INVERNADERO**

TESIS REALIZADA POR EL M. C. SACRAMENTO CRUZ DORIANO,
BAJO LA DIRECCIÓN DEL COMITÉ ASESOR INDICADO, APROBADA
POR EL MISMO Y ACEPTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENER EL GRADO DE:

DOCTOR EN CIENCIAS EN ECONOMÍA AGRÍCOLA

HONORABLE JURADO EXAMINADOR

DIRECTOR:

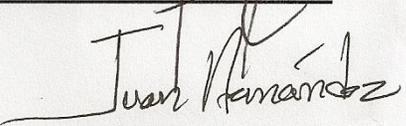

DR. RAMÓN VALDIVIA ALCALÁ

ASESOR:


DR. MARCOS PORTILLO VÁZQUEZ

ASESOR:


DR. MIGUEL ANGEL TINOCO CASTREJÓN

LECTOR EXTERNO: 
DR. JUAN HERNÁNDEZ ORTÍZ

AGRADECIMIENTOS

De todas las tareas implicadas en la etapa de conclusión del presente trabajo, sin duda las más grata y humanizadora corresponde a la elaboración de este agradecimiento.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por haberme ootrgado la beca para realizar mis estudios de Doctorado.

A la prestigiosa universidad (UACH), la cual me abrió sus puertas preparándome para un futuro competitivo y formándome como persona de bien.

Un eterno agradecimiento al Dr. Ramón Valdivia Alcalá, por sus observaciones e indicaciones, que han constituido para mí una ayuda inestimable, no solo en este trabajo y en mi formación como investigador, sino también en mi maduración profesional.

Al Dr. Marcos Portillo Vázquez, quien a lo largo de unos años ha apoyado y motivado mi formación académica, creyendo en mí en todo momento.

Al Dr. Félix R. Carvallo Garnica, motivador e impulsor de este trabajo, quien con su esfuerzo y paciente comprensión me ha permitido disfrutar de sus consejos.

Al Dr. Miguel Angel Tinoco Castrejón por su apoyo, tiempo y dedicación en la asesoría y revisión de la presente tesis.

Al Dr. Miguel Angel Tinoco Castrejón y al Dr. Juan Hernández Ortíz por sus valiosas sugerencias, atinada colaboración y apoyo.

Gracias a mis queridos compañeros: Berna Grisel, Minerva, Chairez, Javier, Teresa, Sarah y Pedro.

Un agradecimiento muy especial merecen mi esposa, mi hija y mis padres. La paciencia y el cariño con que mi familia ha aceptado mi dedicación egoísta a este trabajo han sido una muestra más de su incondicional amor y confianza.

Gracias a todos

DEDICATORIA

A MIS PADRES

Por su amor, por las sonrisas y regaños, por enseñarme a crecer, a través del sufrimiento, curándome las heridas y consolarme en mis lamentos, por estar a mi lado en el momento justo; gracias por ser como son, que dios no pudo escoger de una manera mejor, a mis padres, la pareja que ustedes son.

A MI ESPOSA

Por apoyarme para seguir creciendo y superar cada obstáculo; por cultivar mi alma, eres tú mi aliento que está dentro de lo más profundo de mi ser, tu quien me hace entender que se sigue luchando porque cada día sea un nuevo amanecer.

A MI HIJA

Te amo más que nada en la vida, eres mí día a día; mi presente y futuro, ¿qué más puedo pedirle a la vida? Si tu existencia me llena de riquezas porque tú eres mi valioso tesoro.

A MIS HERMANOS Y HERMANAS

Que me apoyaron incondicionalmente, sin egoísmo y por compartir mis dichas, mis anhelos y mis logros, ya que sienten como suyos los logros que he alcanzado.

A MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS

Por su amistad, apoyo, comprensión e infinitos consejos que me brindaron.

DATOS BIOGRAFICOS

Sacramento Cruz Doriano nació en la Ciudad de Coyutla, Veracruz, el día 11 de junio de 1980. Realizó sus estudios de nivel básico en Huehuetla, Puebla. Ingresó a la Universidad Autónoma Chapingo en 1999 a la Licenciatura de Administración de Empresas Agropecuarias. De 2004 a 2006 realiza sus estudios de Maestría en Ciencias en Economía del Desarrollo Rural. Estudia el Doctorado en Ciencias en Economía Agrícola de 2007 a 2010.

Participó en evaluaciones de programas de ámbito federal como: FONAES y PROCAMPO. Realizó evaluaciones junto con el Colegio de Posgraduados de Desarrollo de la Mixteca de Oaxaca.

Sus investigaciones se han orientado a tratar temas de: organización productiva, análisis de indicadores de eficiencia en la producción bajo condiciones de invernadero, análisis de riesgos, administración financiera e impacto ambiental.

ADMINISTRACIÓN DE RIESGOS MEDIANTE OPCIONES REALES EN JITOMATE DE INVERNADERO

Sacramento Cruz Doriano¹ y Ramón Valdivia Alcalá²

RESUMEN

La industria de invernaderos de jitomate constituye una de las oportunidades de inversión más rentables en México. Las inversiones realizadas en la producción de este tipo de proyectos contemplan una gran concentración de capital, esto conlleva a un mayor número de riesgos que dependen no solo del mercado sino también del crédito, liquidez, de las operaciones, las transacciones, etc.

Por ello, se plantea una medida de cobertura que muestre un valor garantizado de salida, cuando la empresa pueda quebrar, se utilizó la metodología de opciones reales con variables de incertidumbre de precios de venta en el mercado internacional, nacional y los costos de producción.

El proyecto tiene una inversión inicial de \$112.024 millones, con una volatilidad de 27.79%. Un VAN total de \$194.05 millones y un valor de rescate de \$170.16 millones, se observa que la opción de abandono puede ser muy valiosa en este proyecto, esto con opciones americanas. Las opciones europeas tienen un VAN total de 181.279 millones con el mismo valor de rescate. La diferencia de costos de opciones de cobertura del 100% es de \$12.77 millones que es el costo de oportunidad de ejercer la opción en el momento más apropiado.

El VAN tradicional infravalora el proyecto en \$23.89 millones para el caso de las opciones americanas y \$11.12 millones para las opciones europeas, porque no tiene en cuenta la flexibilidad gerencial del proyecto.

Se concluyó que a medida que los riesgos son mayores, teniéndose en consideración el papel de las volatilidades, se hace necesaria la participación de instrumentos financieros como las opciones reales que sean capaces de mitigar y/o transferir el riesgo.

Palabras clave: riesgo, cobertura, opciones reales, jitomate.

¹Autor de la tesis

²Director de la tesis

RISK MANAGEMENT BY REAL OPTIONS IN GREENHOUSE TOMATO PROJECTS

Sacramento Cruz Doriano¹ y Ramón Valdivia Alcalá²

ABSTRACT

The greenhouse tomato industry is one of the most profitable investment opportunities in Mexico. Investments in such projects include a large concentration of capital, leading to a greater number of risks that are linked not only to the market but also to credit, liquidity, operations, transactions, etc.

Thus, we propose a coverage plan providing for a guaranteed market-exit value if the company should go bankrupt. Real options analysis was used with uncertainty values pertaining to selling price in the international and national markets and production costs.

The project has an initial investment of \$112.024 million, with a volatility of 27.79%, a total NPV of \$194.05 million and a salvage value of \$170.16 million. It appears that the abandonment option can be very valuable in this project, with American options. European options have a total NPV of 181.279 million with the same salvage value. The cost difference for 100% coverage options is \$12.77 million, which is the opportunity cost of exercising the option at the most appropriate time.

The traditional NPV undervalues the project by \$23.89 million in the case of American options and \$11.12 million for European options, because it does not take into account the managerial flexibility of the project.

It was concluded that as the risks are higher, taking into consideration the role of volatility, it is thus necessary to employ financial instruments such as real options that can mitigate and/or transfer risk.

Keywords: risk, coverage, real options, tomato.

1Thesis author

2Thesis advisor

Contenido

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Planteamiento del problema.....	4
1.3 Justificación.....	4
1.4 Objetivos	5
1.5 Hipótesis	5
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	7
2.1 Cálculo de la volatilidad del proyecto	7
2.2 Método binomial de valoración de opciones reales.....	8
2.3 Cálculo de los parámetros binomiales.....	8
2.4 Proceso de valoración de opciones reales	10
CAPÍTULO III. LAS OPCIONES REALES	13
3.1. Introducción.....	13
3.2 Opciones Reales versus Valor Actual Neto.....	15
3.3 Tipos y metodologías de valorización de opciones reales	16
3.4 Literatura de opciones reales	20
3.5 Estimación de las opciones reales	24
3.6 Simulación por Montecarlo y el modelo binomial	25
3.7 Administración de riesgo	33
CAPÍTULO IV. LA AGRICULTURA EN MÉXICO Y LA PRODUCCIÓN EN INVERNADEROS	39
4.1 Situación de la agricultura mexicana.....	39
4.2 Antecedentes de la agricultura protegida	41
4.3 La agricultura protegida en México	44
4.4 Tendencias y perspectivas.....	55
4.5. Alternativas de desarrollo.....	58
4.6 El jitomate de invernadero en México	60
CAPÍTULO V. CONSTRUCCIÓN Y ANÁLISIS DEL MODELO DE OPCIONES....	68
5.1 Estructura económica y financiera del proyecto de jitomate de invernadero	68
5.2 Análisis de la incertidumbre	72

5.3 Análisis de sensibilidad	75
5.4 Volatilidad de los factores de incertidumbre	80
5.5 Los árboles de decisión binomiales	81
5.6 Valoración de las opciones reales.....	87
5.7 Comparación VAN tradicional Vs opciones reales	100
CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	102
CAPÍTULO VII. BIBLIOGRAFÍA.....	105

Contenido de cuadros

Cuadro 1. Objetivos y funciones de la administración de riesgos financieros	35
Cuadro 2. Tipos de riesgos financieros	36
Cuadro 3. Proceso de la administración del riesgo	37
Cuadro 4. Dimensiones de la transferencia del riesgo	38
Cuadro 5. Superficie mundial estimada en cultivos protegidos (miles de hectáreas en 2004)	43
Cuadro 6. Evolución de la superficie de invernaderos para hortalizas en México....	45
Cuadro 7. Superficie estimada de agricultura protegida en México y proyecciones en construcción (Invernaderos, túneles altos y casas sombra).....	47
Cuadro 8. Principales especies hortícolas producidas en invernadero en México	49
Cuadro 9. Rendimiento y costos de producción para jitomate en Sinaloa, México ...	50
Cuadro 10. Comparación de rendimientos por sistema de producción y tipo de invernadero	50
Cuadro 11. Estimación de rendimiento, productividad y ganancias en tres sistemas de producción, considerando una hectárea periodo de un año.....	51
Cuadro 12. Análisis FODA del sector de jitomates de invernadero de México	67
Cuadro 13. Inversión inicial	69
Cuadro 14. Inversión y fuentes de financiamiento.....	69
Cuadro 15. Equivalencia entre opciones financieras y opciones reales.....	82
Cuadro 16. Nivel de cobertura del proyecto	86
Cuadro 17. Cálculo de las opciones por nivel de cobertura y tipo.....	98
Cuadro 18. VAN tradicional Vs opciones reales.....	100

Contenido de figuras

Figura 1. Difusión del valor del activo.....	10
Figura 2. Evolución del valor del proyecto.....	11
Figura 3. Valor garantizado de salida.....	12
Figura 4. Optimización del valor del proyecto.....	12
Figura 5. Clasificación de opciones	20
Figura 6. Mercado del jitomate de invernadero	70
Figura 7. Costos de producción.....	71
Figura 8. Tasa de crecimiento del precio de jitomate en EE. UU. 1980-2010.....	73
Figura 9. Tasa de crecimiento del precio de jitomate en pesos por kg del D. F. 1999-2011.	74
Figura 10. Comportamiento de la tasa de crecimiento de los costos de producción ..	75
Figura 11. Comportamiento aleatorio de las variables de entrada del modelo	76
Figura 12. Simulación de valores aleatorios de las funciones de @RISK	76
Figura 13. Resumen estadístico.....	77
Figura 14. Correlación entre variables input - output.....	78
Figura 15. Vista de la correlación entre variables de entrada y salida	78
Figura 16. La incertidumbre incrementa el valor de la inversión	79
Figura 17. Distribución del rendimiento esperado de la TIR a 10 años.....	81
Figura 18. Certificados de la Tesorería, México, 2003-2010.....	85
Figura 19. Árbol binomial del valor del activo subyacente, sin opción de abandono ..	90
Figura 20. Valor de la opción europea con una cobertura del 100%	92
Figura 21. Árbol binomial con opción de salida de 100% de la inversión en opción europea	93
Figura 22. Árbol binomial con opción de salida de 100% de la inversión en opción americana	95
Figura 23. Valor total del proyecto	97
Figura 24. Porcentaje de cobertura y tipo de opción	99

Abreviaturas usadas

AGS: Aguascalientes

AMPHI: Asociación de Productores de Hortalizas bajo Invernadero

ASERCA: Apoyos y Servicios a la Comercialización Agropecuaria

B. C. N.: Baja California Norte

B. C. S.: Baja California Sur

B-S: Black Schooles

CAPM: Capital Asset Pricing Model (trad. lit. modelo de fijación de precios de activos de capital)

CETES: Certificados de la Tesorería

CRR: Cox, Ross, & Rubinstein

D. F. Distrito Federal, México.

E.E.U.U.: Referido a Estados Unidos de América (Estados Unidos, USA, EUA).

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación

FCF: Flujo de Caja Libre o Free Cash Flow

FINRURAL: Financiera Rural

FIRCO: Fideicomiso de Riesgo Compartido

FOCIR: Fondo de Capitalización e Inversión del Sector Rural

FODA: Viene de las cuatro primeras letras de Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas

FOMAGRO: Fondo de riesgo compartido para el fomento de agronegocios

FUMIAF: Fundación Mexicana para la Investigación Agropecuaria y Forestal, A. C

GBM: Movimiento Browniano Geométrico

I&D: Investigación y desarrollo

INEGI: Instituto Nacional de Estadística y Geografía

OR: Opciones reales

PIB: Producto Interno Bruto

PV: Valor Presente

ROV: Valor de la opción real

S. L. P.: san Luis Potosí

SAGARPA: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación

SNIIM: Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados

TIR: Tasa interna de retorno

TLCAN: Tratado de Libre Comercio de América del Norte

USDA: United States Department of Agriculture

VAN: Valor actual neto

VPN: Valor presente neto

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La empresa agropecuaria enfrenta dos factores principales de incertidumbre: los cambios climáticos y las oscilaciones en los precios de los productos. En relación al primer factor, es poco lo que se puede hacer. En relación al segundo, se han desarrollado a lo largo del tiempo diversos mecanismos para intentar minimizar el efecto negativo que trae la oscilación de precios en los resultados globales de las empresas.

Las dos formas tradicionales que los productores han encontrado de disminuir la incertidumbre de precios es el uso de contratos de producción (con precio prefijado o a negociar) y los mercados de futuros.

Según la literatura especializada, en determinadas condiciones (activos específicos, alta frecuencia de transacciones) será eficiente una relación proveedor-comprador a través de un contrato. En otros casos (commodities, baja frecuencia de transacciones) será más eficiente la negociación a través del mercado. Es aquí donde la herramienta de las cotizaciones a futuro (mercado de futuros y opciones) tiene un papel fundamental. Desde una perspectiva microeconómica, un mercado de futuro tiene todas las características de la estructura de mercado denominada “competencia perfecta” (muchos participantes, producto homogéneo, información perfecta, sin barreras a la entrada o salida) que hace que la formación del precio sea eficiente, brindando a los agentes las señales correctas para tomar sus decisiones de inversión (Gutiérrez y Caputi, 2003).

En virtud de la importancia del sector de invernaderos¹ en México, se busca determinar si están dadas las condiciones para la implementación de este tipo de mercados, en el entendido que podría ser un mecanismo útil para la articulación de

¹ Un invernadero se define como una estructura cubierta en su totalidad con materiales que deben ser total o parcialmente transparentes a la energía radiante, para cumplir la función de proporcionar abrigo y protección a los cultivos, situación que permite recrear condiciones micro climáticas internas diferentes a las del ambiente exterior.

los distintos eslabones, así como mejoraría la toma de decisiones de los productores agrícolas dedicados a este tipo de cultivos.

En principio, el desarrollo de negocios innovadores con alto potencial de crecimiento permite crear nuevas actividades dinámicas en la economía y mejorar la productividad de las principales cadenas y sub-sectores en el ámbito de los agronegocios. Esto se ha observado en el comportamiento durante la última década del sector de invernaderos en México.

La industria de invernaderos constituye una de las oportunidades de inversión más rentables tanto a nivel mundial, como en México. La tasa de crecimiento de la producción de hortalizas en invernadero a nivel mundial fue de 15% en 2004, y ha ido creciendo en forma sostenida desde hace siete años (FOCIR, 2005). Este crecimiento se explica por el aprovechamiento de las oportunidades de ventanas de mercado. En Estados Unidos, el porcentaje de consumo de hortalizas de invernadero ha ido en aumento y en particular en el caso del jitomate ha alcanzado el 37% del consumo total (Cook y Calvin, 2005). Debido a que la capacidad instalada de los invernaderos en EE. UU. no es suficiente para satisfacer esta demanda, se ha dado una clara tendencia a incrementar las importaciones de jitomate de invernadero proveniente de México y Canadá principalmente (FINRURAL, 2008).

México es el último participante en la industria de invernadero², pero en la actualidad ya cuenta con más superficie dedicada a este tipo de sistema de cultivo, que Estados Unidos o Canadá. Sin embargo, los rendimientos promedio en México son relativamente bajos. La característica principal de los productores mexicanos, en el desarrollo de los procesos de producción agrícola, son las condiciones climatológicas que permiten realizar modificaciones en los ciclos biológicos de las plantas, de manera tal que permita tener presencia en los mercados cuando los productos en éstos, son escasos y los precios de los mismos son máximos. Además de que los proveedores de equipo europeos e israelitas están impulsando a la industria de invernaderos en México, mediante subsidios otorgados por sus respectivos

² Comparado con los países integrantes del TLCAN.

gobiernos. Mucho del crecimiento se debe a este motivo, en lugar de verse impulsado por las necesidades del mercado.

Se aborda la temática de opciones reales con el fin de realizar valoraciones más puntuales y formas de mitigar el riesgo. Se entiende que ante una variación en las cotizaciones quienes están expuestos al riesgo precio (es decir, productores, acopiadores, industriales, exportadores) tienen las siguientes alternativas: a) No hacer nada b) Establecer cobertura.

El empresario agropecuario que tiene una posición tomada en el mercado disponible y no se cubre está apostando a obtener un precio satisfactorio al momento de cancelar dicha posición.

En este caso se estará totalmente expuesto al riesgo precio (independientemente de los demás riesgos inherentes al agronegocio), por ello se suele decir que quién adopta esta postura está especulando.

La posición contraria a la anterior, es administrar el riesgo que consiste en tomar cobertura contra variaciones desfavorables en las cotizaciones de los productos. Afortunadamente, en el mercado de granos existen en México alternativas para tomar coberturas, sin embargo, en el mercado de hortalizas aun no se han desarrollado mecanismos similares. Gracias al interés de algunas instituciones se ha venido discutiendo recientemente los beneficios de contar con algún sistema. FOCIR pretende iniciar este proceso, enfocándose principalmente en opciones reales como instrumento. Lo anterior, surge a través del interés de los productores por contar con medidas de cobertura.

Por ello, es de esperar que la gran mayoría de los productores de México no tomen cobertura contra cambios desfavorables en los precios o, lo que es lo mismo, especulan.

La cobertura de precios es la herramienta que mayor incidencia debería tener en los resultados económicos de las empresas agropecuarias.

Si se calcula la cantidad de dinero que pierden los productores mexicanos por no tomar coberturas de precios, se darían cuenta que las coberturas son una herramienta vital para llevar adelante una empresa agropecuaria y, como tal, debe ser planificada con anterioridad a la siembra de la misma manera que se planifican los demás insumos, llámese variedades o híbridos, densidades, agroquímicos, potreros, etc.

En la actualidad, considerando los cambios que se han dado no solamente se debe tratar de obtener rentabilidad disminuyendo los costos de producción sino también aplicando una buena política de administración de riesgo.

1.2 Planteamiento del problema

El riesgo que implica la agricultura en general, es amplio y diverso; esto no permanece alejado de la producción bajo condiciones de invernadero, aunque el ambiente del cultivo se puede controlar, sigue siendo estacional y está sujeta al impacto de eventos climatológicos; esto no necesariamente indica que el riesgo e incertidumbre desaparezca.

El problema más importante a considerar en la industria de invernaderos para jitomate, es el que corresponde a la administración de los riesgos inherentes a aspectos de precios, costos y de tecnología. Para manejar el riesgo que surge de la volatilidad de los mismos se propuso el uso del concepto de opciones reales con el propósito de evaluar cursos de acción particularmente la salida del negocio cuando las pérdidas alcanzan cierto nivel. Otra de las razones es la preocupación de los productores por tener un grado de confianza por el capital invertido en el sistema de invernaderos, debido principalmente al alto grado de densidad de capital y al riesgo que conlleva.

1.3 Justificación

La principal motivación de este trabajo reside en la formulación de un modelo *ad hoc* para la valoración de proyectos de inversión que apoya y favorece el desarrollo a

medio y largo plazo de industrias de producción de invernadero en México con fuerte actividad exportadora.

El proyecto se analiza desde el enfoque de abandono de la empresa debido a la pérdida, donde, además de la flexibilidad, emerge una oportunidad estratégica u opción real, vinculada al interés que el negocio de invernaderos ha despertado en la iniciativa privada.

1.4 Objetivos

General

- ❖ Analizar la administración de riesgos en la producción de jitomate de invernadero en México, mediante opciones reales.

Específicos

- ✓ Identificar un esquema de administración de riesgos en la industria de jitomate de invernadero.
- ✓ Evaluar la metodología de opciones reales como un instrumento para determinar el valor de la opción.
- ✓ Identificar los factores de mayor incidencia de riesgo en la producción de jitomate de invernadero.

1.5 Hipótesis

La principal hipótesis normalmente establecida en la evaluación de proyectos de inversión es la de suponer que los valores únicos del desembolso inicial y los flujos netos de caja anuales, representan la naturaleza de la inversión y permiten su correcta evaluación. Sin embargo, estas magnitudes dependen de un conjunto de factores como son: el costo de las materias primas, el nivel de ventas, el horizonte temporal de la inversión; cuyos valores efectivos se desconocen con certeza, originando circunstancias en las que cada variable puede tomar un número de valores diferentes que al combinarse unos con otros, generarían una amplia gama de

flujos netos de caja posibles y consecuentemente, el VAN y la TIR, serán variables inciertas.

Para la presente investigación, se considera que uno de los métodos apropiados para evaluar el riesgo son las opciones reales, el cual plantea las siguientes hipótesis:

- ✓ Es posible hacer un mercado de futuros para el sector hortícola, específicamente en el jitomate, a través del manejo de opciones reales. De lo anterior, se propone la creación de un fondo de primeras pérdidas que cubra al inversionista pagando una opción.
- ✓ La estimación del valor de una opción es más eficiente a través de la metodología de opciones reales ya que se puede observar que el valor de opciones aumenta significativamente en situaciones de riesgo.
- ✓ El riesgo en el precio es el factor más importante debido a que puede llegar a causar pérdidas considerables del sector, por la alta concentración de capital.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

Se basó en un proyecto de inversión de jitomate de invernadero para realizar el análisis de valoración de opciones reales. Las características principales del proyecto se muestran en el primer apartado del capítulo VI.

Se utilizó el modelo Monte Carlo a través del software de @risk, para establecer la distribución de la TIR a partir de las 3 variables de incertidumbre analizadas: precio del producto en el mercado internacional, nacional y los costos de producción.

Para la programación del modelo binomial y los árboles binomiales se utilizó el software DerivaGem versión 1.5, de esta manera se obtuvo el valor de las opciones reales con enfoque americano y europeo.

Se explica a continuación el proceso:

2.1 Cálculo de la volatilidad del proyecto

1) Se construye la hoja de cálculo que permite averiguar el valor presente del proyecto en el momento 0 (PV0).

2) Se modelan las incertidumbres implícitas en el proyecto.

3) Se usa la simulación de Montecarlo para generar la distribución de los valores presentes (PV) en el momento 0 y en el momento 1. Añadiendo a los del momento 1 los flujos de caja (FCF) esperados en ese período. Por lo que la volatilidad del proyecto, viene dada por:

$$z = \ln \left[\frac{PV_1 + FCF_1}{PV_0} \right]$$

Este valor z, se calcula manteniendo constante el valor presente en 0 (PV0) para el proyecto e iterando las variables del modelo, para que hagan variar el valor presente en el momento 1:

$$PV_1 = \sum_{t=2}^n \frac{FCF_t}{(1 + WACC)^{t-1}}$$

De la distribución del rendimiento del período 0 al 1, se calcula la volatilidad, y se utiliza ésta como la volatilidad del proyecto.

El motivo de colocar la volatilidad del rendimiento entre 0 y 1 como estimador de la volatilidad total del proyecto, es que se asume que el valor del proyecto (PV) sigue una distribución log normal con volatilidad constante.

Las principales ventajas de utilizar esta técnica son (Lamothe y Méndez, 2006):

- Se pueden combinar todas las incertidumbres del modelo en una única incertidumbre, la volatilidad del proyecto.
- El proceso de modelización y análisis de las variables volátiles del proyecto, permite conocer mucho más en profundidad el modelo y ayudará en el proceso de modelización de las opciones.

2.2 Método binomial de valoración de opciones reales

La descripción del método binomial es igual de válida para los modelos binomiales y los árboles de decisión binomiales, ya que ambos tienen la misma base teórica, que fue desarrollada por Cox, Ross and Rubinstein (CRR, 1979).

Una descripción ampliada y muy detallada de esta teoría se puede encontrar en Hull (2002), y específicamente adaptada a opciones reales en Mascareñas y Lamothe y específicamente sobre la opción en Mascareñas (2005). Para su aplicación en árboles binomiales en Brandao, Dyer, Hahn (2005).

2.3 Cálculo de los parámetros binomiales

Para poder calcular los parámetros de la binomial, se recopila la información del proyecto.

Según el método binomial, el valor del activo puede evolucionar con un movimiento de subida u , se expresa como:

$$u = e^{(\sigma\sqrt{\Delta t})}$$

Donde σ es la desviación típica anual de los rendimientos del activo y Δt la variación de tiempo que ocurre de un periodo al siguiente, que sirve para ajustar la volatilidad anual al periodo que se está utilizando.

De forma inversa, el activo puede evolucionar con un movimiento de bajada d :

$$d = \frac{1}{u}$$

La probabilidad de que exista una subida u en el valor, viene representada por p :

$$p = \frac{(1 + r_f) - d}{u - d}$$

Y la probabilidad de una bajada q :

$$q = 1 - p$$

La ventaja fundamental de este modelo es que permite, al igual que el modelo del CAPM (Grinblatt y Titman, 2002), analizar el proceso de difusión del proyecto utilizando información de mercado, lo cual es un factor clave para objetivizar la valoración.

Los datos necesarios para la valoración, son:

- El valor actual de los flujos de caja esperados del proyecto (PV).
- La volatilidad esperada del rendimiento del proyecto (σ).
- El tipo de interés libre de riesgo (r_f).
- Coste de la inversión para el lanzamiento del proyecto, ó como en este caso, el valor garantizado de salida (I).

- La duración de tiempo de la opción

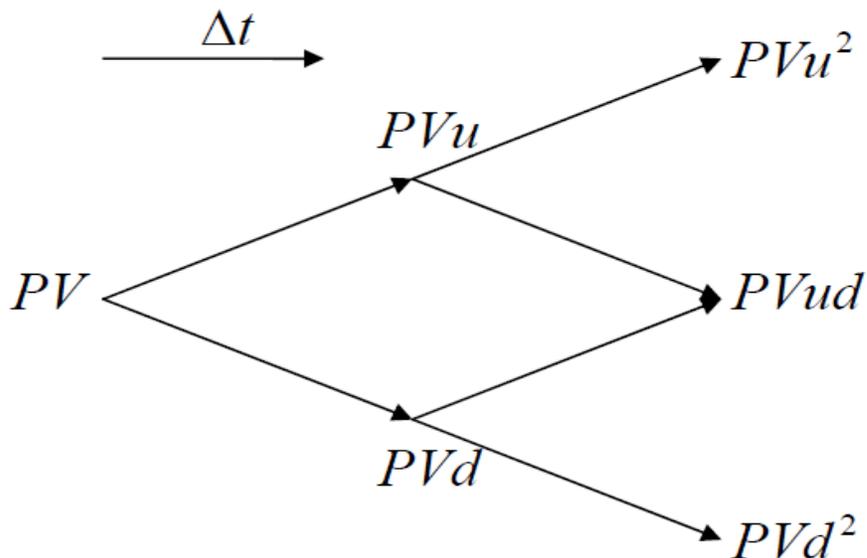
Una vez calculados todos los parámetros, se crean los modelos binomiales y de árbol de decisión binomial.

2.4 Proceso de valoración de opciones reales

El proceso de valoración se desarrolla en cuatro fases:

- 1) Se crea el proceso de difusión del valor del activo basándose en los movimientos de subida u y de bajada d del valor presente del proyecto (ver figura 1).

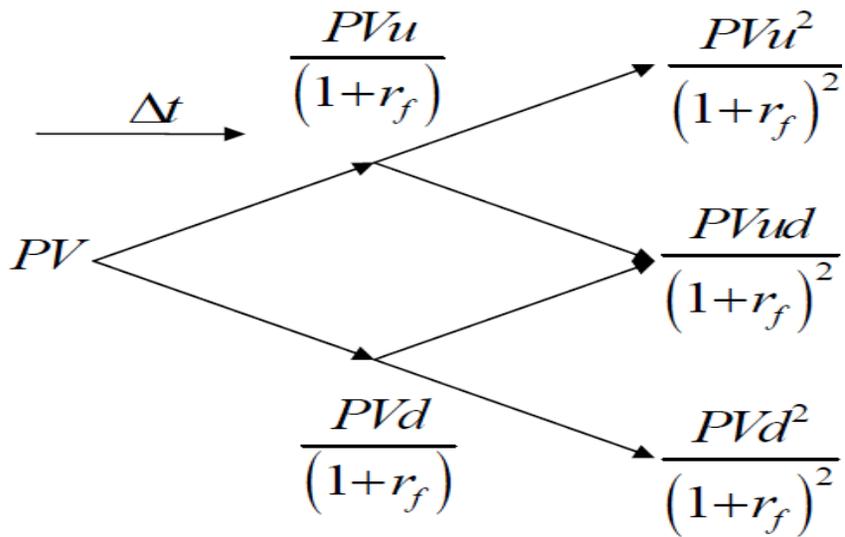
Figura 1. Difusión del valor del activo



Fuente: Lamothe y Mendez, 2006.

- 2) Se actualiza la evolución del valor del proyecto PV a la tasa libre de riesgo r_f (ver figura 2).

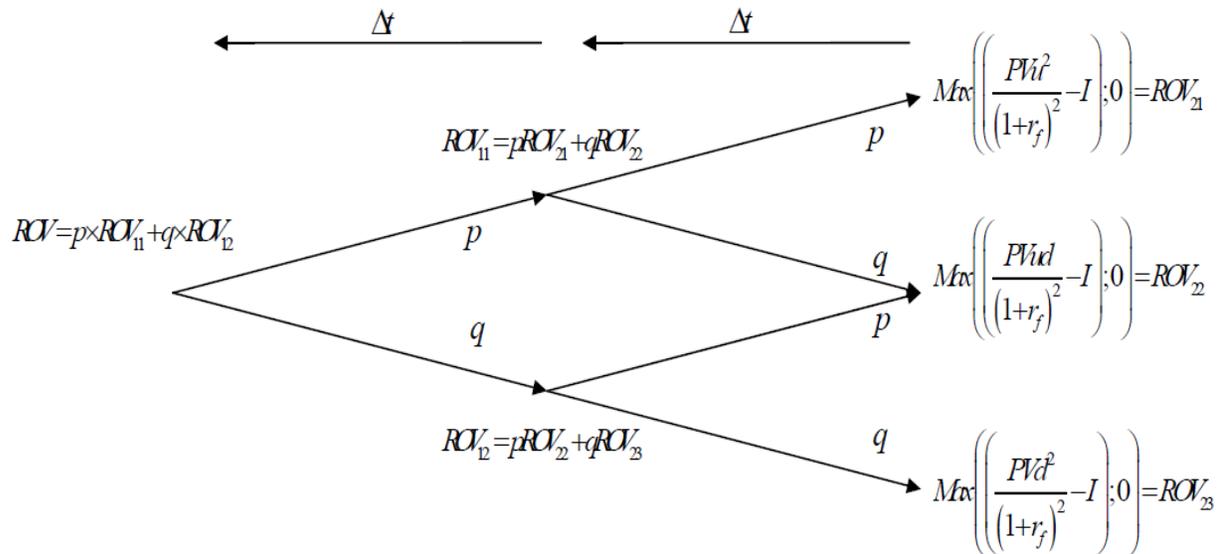
Figura 2. Evolución del valor del proyecto



Fuente: Lamothe y Mendez, 2006.

3) Se compara el valor anterior con el valor de la inversión garantizado de salida I , actualizado al momento presente, eligiendo el máximo entre el valor obtenido y 0 para obtener el valor de la opción ROV en ese nodo. Se ajusta recursivamente desde el momento final al inicial por las probabilidades neutrales al riesgo de subida y bajada (ver figura 3).

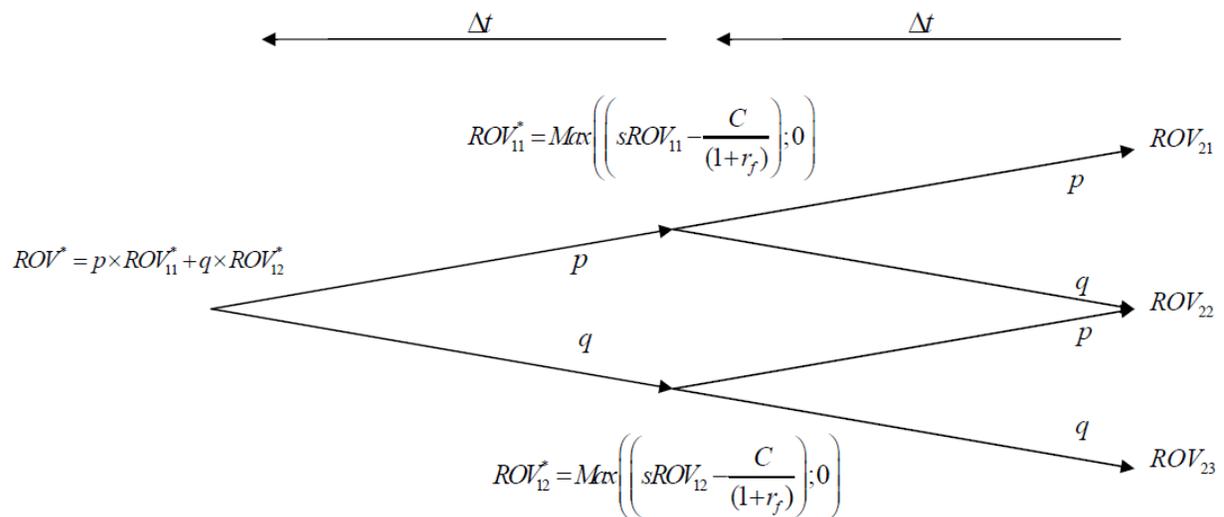
Figura 3. Valor garantizado de salida



Fuente: Lamothe y Mendez, 2006.

Y se vuelve a usar la regla de optimización entre el valor del proyecto y 0, eligiendo sólo valores mayores que 0. De forma que se obtiene el valor final de la opción, ROV^* (ver figura 4).

Figura 4. Optimización del valor del proyecto



Fuente: Lamothe y Mendez, 2006.

CAPÍTULO III. LAS OPCIONES REALES

El capítulo inicia con la valorización de activos conocido como *Teoría de Opciones Reales*. Posteriormente, se presenta una comparación entre el nuevo enfoque y la metodología tradicional de valorización de activos: el Valor Actual Neto (VAN). Se realiza una acabada revisión de literatura referente a opciones reales. Por último, se analiza de forma general el método binomial, la simulación Monte Carlo y la administración de riesgos.

3.1. Introducción

La semejanza entre las funciones que representan los flujos de caja de las opciones financieras y muchos proyectos de inversión comenzó a detectarse a partir de los años ochenta. Las opciones financieras al ser derechos contingentes otorgan a sus poseedores la facultad de aprovechar los eventos favorables y al mismo tiempo limitar las pérdidas en escenarios negativos. Esta asimetría puede caracterizarse mediante funciones que representan flujos de caja no-lineales. Por ejemplo, una opción de compra (call) que otorga el derecho pero no la obligación de comprar un determinado activo a un precio preestablecido (precio de ejercicio), exhibe flujos de caja convexos, debido a que su poseedor se beneficia de aumentos de precio del activo subyacente, mientras que sus pérdidas se encuentran acotadas si éste disminuye. Asimismo, una opción de venta (put) también posee flujos de caja convexos, ya que al igual que una opción de compra este instrumento financiero presenta disimetrías entre las pérdidas y ganancias que puede generar.

Muchas inversiones en recursos naturales exhiben flujos de caja muy similares al de las opciones financieras. Por ejemplo, un proyecto minero en el cual el yacimiento puede abrir o cerrar sin costo, puede verse como una opción de compra sobre el precio del mineral a extraer. En este caso, el costo marginal de producción sería equivalente al precio de ejercicio de la opción.

También pueden encontrarse similitudes en el área de los proyectos de investigación y desarrollo, ya que en este contexto, la opción de compra estaría emitida sobre el

valor del proyecto a desarrollar, mientras que su precio de ejercicio correspondería a la inversión en investigación.

Un proyecto de inversión puede verse entonces como una *opción* en cuanto a la forma de sus flujos de caja, escrita sobre un activo proveniente del mundo real (Gravet, 2003). Por ejemplo, el activo derivado real puede ser una mina de cobre o un pozo de petróleo, en cuyo caso el subyacente sería el cobre y el petróleo respectivamente.

Entonces, una opción real (OR) consiste en el derecho, más no la obligación, de emprender una acción, como postergar, expandir, contratar o abandonar, a un costo predeterminado, que se denomina costo de ejercicio, y durante un período determinado, que es la vida de la opción. Las OR involucran cinco variables fundamentales, aunque no se descarta que se presenten más para el análisis (Sierra, 2003):

- El valor del activo riesgoso subyacente, es decir, el valor del proyecto, en este caso es el valor presente de los flujos de caja esperados del proyecto de inversión.
- El precio de ejercicio, o sea, la cantidad de dinero que se invierte para ejercer la opción (en el caso de las opciones de compra) o que se recibe (en el caso de una opción de venta).
- El tiempo de expiración de la opción, cuya prolongación hace aumentar el valor de la opción misma, que no es más que el tiempo de espera durante el cual la oportunidad de inversión en el proyecto es válida.
- La desviación estándar del valor del activo riesgoso subyacente. El valor de la opción aumenta con el riesgo del activo subyacente, ya que el valor pagado por la opción de compra depende del exceso del precio del activo sobre el precio de ejercicio, y la probabilidad de tal evento se incrementa al aumentar la volatilidad del activo subyacente. En este caso se trata del riesgo que incumbe sobre el proyecto de inversión.

- La tasa de interés libre de riesgo sobre la vida de la opción.

El reconocimiento de estas semejanzas tiene como consecuencia que la valorización de estos proyectos de inversión se encuentre estrechamente ligada al de las opciones financieras. Al igual que los activos derivados financieros, los activos derivados reales también pueden clasificarse en europeos y americanos.

Las *opciones reales europeas* son aquéllas que pueden ser ejercidas solamente en una determinada fecha de expiración. En cambio, las *opciones reales americanas* pueden ser ejercidas en cualquier momento hasta la fecha de expiración del proyecto.

Sin embargo, no debe olvidarse que los proyectos de inversión son complejos, ya que muchos de ellos pueden incluir una secuencia de opciones anidadas, por ejemplo: adquirir una propiedad minera entrega la opción de explorarla, la obtención de información de la fase de exploración otorga la posibilidad de explotar la mina y al explotarla se tiene la flexibilidad de extraer el mineral por etapas. Finalmente, una vez que el dueño se encuentra explotando la mina éste puede cerrarla o bien abandonarla.

3.2 Opciones Reales versus Valor Actual Neto.

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

La gran ventaja del VAN es su simpleza, sin embargo, ésta puede ser también su mayor desventaja, sobre todo cuando la estructura de la inversión a valorizar no se adapta a los supuestos intrínsecos de la metodología (Cortazar, 1999).

En primer lugar, si bien es cierto que la incertidumbre no es importante en inversiones para las cuales los precios relevantes sean razonablemente predecibles, la volatilidad cobra una importancia vital en aquellos proyectos donde las fluctuaciones de precios del orden del 25% anual son muy frecuentes. Bajo estas condiciones, la práctica del VAN de reemplazar la distribución de los precios futuros por sus valores esperados tiende a causar errores en el cálculo de los flujos de caja esperados, como también de las tasas de descuento apropiadas.

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

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

Finalmente, una ventaja del método de opciones reales es que además de evaluar el activo derivado real, también determina la política óptima que maximiza el valor de este proyecto. Estas estrategias están determinadas por valores críticos de las variables inciertas. Los umbrales señalan cuándo es óptimo ejercer las distintas opciones de las que se dispone, por ejemplo, invertir, almacenar, o cerrar.

3.3 Tipos y metodologías de valorización de opciones reales

Tipos de opciones reales

Las opciones reales pueden existir en casi cada decisión comercial, aunque ellos no son siempre fácilmente identificados. Se han reconocido y analizado muchos tipos de opciones reales como (Dixit y Pindyck, 1994; Trigeorgis, 1996):

- La opción para diferir: La oportunidad de invertir puede ser más valiosa que la inversión inmediata, con él la dirección proporciona la flexibilidad para diferir la inversión hasta que las condiciones sean más favorables, o para cancelarlas completamente si son poco satisfactorios. La oportunidad de diferir es el equivalente a una opción de call en el valor de un proyecto. Aquí las oportunidades de inversión todavía pueden ser benéficas aunque la inversión puede tener un VPN negativo.
- La opción para extender o acortar: Las opciones pueden existir en los proyectos para extender, acortar, cerrar y reiniciar. La dirección puede extender la producción o despliegue de recursos de aumento si el ambiente del mercado se desarrolla más favorablemente. Lo anterior equivale a una opción de call. Por otro lado, el funcionamiento puede reducirse si el desarrollo del mercado es menor que las expectativas iniciales lo que equivale a una opción put.
- ***La opción para abandonar: La dirección puede abandonar el funcionamiento si las condiciones del mercado se deterioran, y liquidar cualquier recurso importante. La opción para abandonar es el equivalente a una opción put. Si el valor del recurso o proyecto cae debajo de su valor de liquidación, los dueños o poseedor de la opción pueden ejercer los put.***
- La opción para cambiar: La dirección puede cambiar un proyecto reiniciando su funcionamiento que ha estado cerrado, el equivalente a una opción de call; o cerrar el funcionamiento, el equivalente a una opción put. El costo de poner en marcha o cerrar es el equivalente a la opción de la call o put.
- Las opciones de crecimiento: Las inversiones como I&D, tierra subdesarrollada, aceite y reservas de gas y las adquisiciones y redes de información conectan una cadena de interrelación de los proyectos, y puede crear las oportunidades de crecimiento futuras como los nuevos productos o los procesos y los nuevos mercados.

- Las opciones compuestas: Los proyectos frecuentemente involucran una colección de opciones, con las combinaciones, de valor ascendente y el presente de las opciones de protección descendente. El valor combinado de opciones entrelazadas puede diferir de la suma del separado de las partes debido a su interacción.
- Las opciones del arco iris: son opciones que tienen fuentes múltiples de incertidumbre. Normalmente tienen pagos que dependen de dos o más recursos. En el caso de las opciones reales, las numerosas fuentes de incertidumbre pueden existir en las formas como los precios, cantidades, tecnologías, regulación y proporciones de interés.

Metodologías de valoración

a) Valorización por arbitraje

La metodología tradicional de valorización de opciones reales se basa en la *valorización por arbitraje*. La teoría financiera privilegia la tasación relativa por sobre la absoluta, y en este sentido la valorización por arbitraje actúa de igual forma, al evaluar un activo en relación a otro (“benchmark”). Según esta técnica, cada activo posee su propio *benchmark*: otro activo perfectamente correlacionado. El CAPM planteado por Scharpe (1964), utiliza un razonamiento similar, ya que si se descompone el riesgo total de un activo en su parte diversificable y no diversificable, el CAPM plantea que sólo este último componente del riesgo es importante para evaluar el activo, debido a que presenta una perfecta correlación con otro activo: el portafolio de mercado.

La valorización por arbitraje es un método muy robusto cuando se encuentran dos activos perfectamente correlacionados. El razonamiento es simple, pero poderoso: siempre que sea posible construir un portafolio libre de riesgo mediante la combinación de activos perfectamente correlacionados, esta cartera deberá rentar la tasa libre de riesgo. De no ser así, cualquier inversionista independiente de sus

preferencias, podría beneficiarse al transar este portafolio, obligando a que los precios se ajusten.

Según Black y Scholes (1973) el retorno de las opciones se encuentra perfectamente correlacionado con el retorno de sus activos subyacentes. Luego, la formación de un portafolio que contenga al activo subyacente y a la opción, da origen a la ecuación diferencial que describe el precio de este activo derivado, en función de su activo subyacente. En el caso de las opciones reales donde el subyacente es un commodity, es usual que el portafolio se forme con contratos futuros en vez del activo subyacente. Esto se debe a que los inversionistas no pueden tomar posiciones cortas en los mercados de commodities, pero sí pueden efectuar este tipo de transacciones en los mercados de futuros. Además, la gran liquidez de estos contratos permite que sus precios reflejen mucha información. La ecuación diferencial resultante tendrá tantas dimensiones como variables de estado se utilicen en la evaluación. Como se mencionó anteriormente, la mayoría de las inversiones otorgan la posibilidad a sus dueños de ejercer distintas opciones a lo largo de la vida del proyecto. Esta característica transforma a los derivados reales en activos de tipo americano, y a la ecuación diferencial correspondiente en una ecuación de “borde libre”.

b) Valorización neutral al riesgo

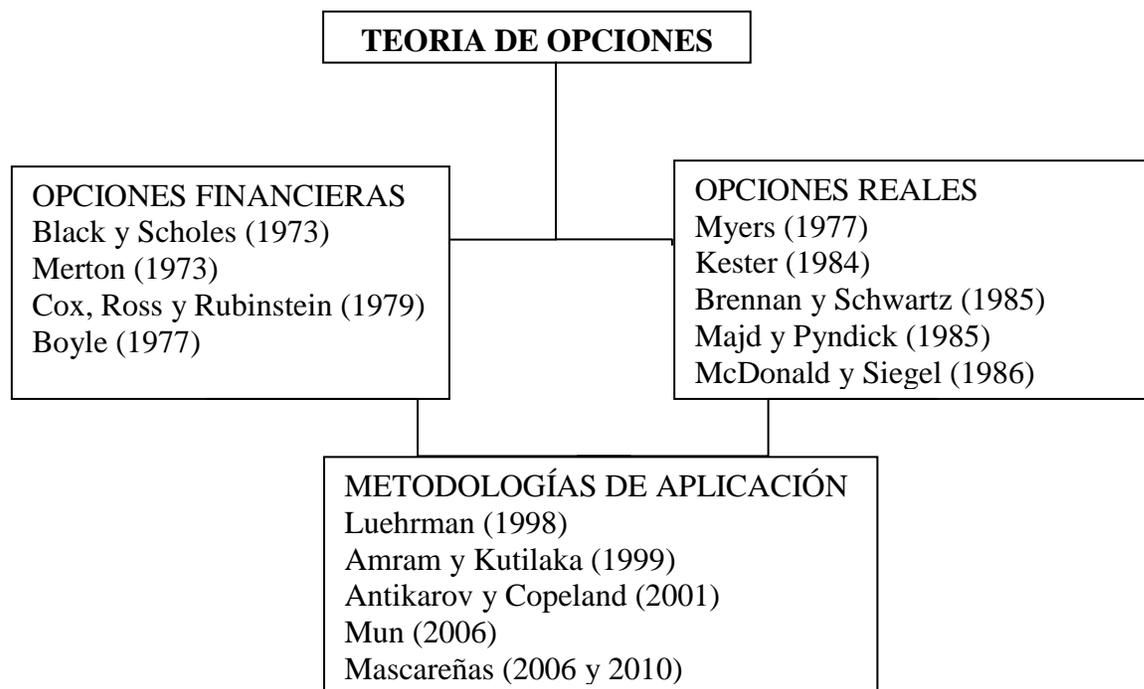
Al igual que para el caso de las opciones financieras, las opciones reales también pueden evaluarse usando la *valorización neutral al riesgo*. Esta metodología señala que es válido asumir que todos los inversionistas son indiferentes al riesgo (vale decir no requieren compensación cuando se aumenta la incertidumbre), cuando se trata de evaluar activos derivados. Dada esta suposición, basta con calcular el valor esperado de los pagos de la opción en un mundo neutral al riesgo para luego descontarlos a la tasa libre de riesgo. Para aproximar las distribuciones de las variables aleatorias que representan los pagos de la opción, generalmente se recurre a la simulación de Monte Carlo.

Sin embargo, no todas las opciones reales son contingentes al valor de variables de estado que se transan en los mercados financieros. Por ejemplo, los costos incluyen capital humano que no se puede comprar ni vender. Para valorizar estas opciones se utiliza un método desarrollado por Brennan y Schwartz (1982) y por Cox, Ingersoll, y Ross (1985), consiste en ajustar la tasa de crecimiento instantánea esperada (“drift”) de los distintos procesos estocásticos en una cantidad que refleje el premio por riesgo de las variables consideradas. Esta prima, se obtiene de un modelo de equilibrio de los mercados financieros.

3.4 Literatura de opciones reales

A continuación, se efectúa una reseña de la literatura de las opciones reales, destacando en cada uno de ellos las flexibilidades de los proyectos considerados, iniciando con la estructuración de las opciones por referencia histórica de aportación (ver figura 5).

Figura 5. Clasificación de opciones



Fuente: Elaboración propia a través de Gravet, 2003.

En la evaluación de una mina, considerando la opción de apertura, cierre y abandono de las operaciones, en primer lugar, se resuelve el caso con reservas infinitas, lo que da origen a una solución analítica, luego se analiza la concesión con reservas físicas conocidas, problema que se resuelve mediante diferencias finitas (Brennan y Schwartz, 1982). En este artículo se consideran costos asociados a la apertura, cierre y mantención de la mina cerrada. El precio del activo de salida (cobre) se modela como una variable estocástica que sigue un proceso browniano geométrico, y la política óptima está dada por tres precios críticos. Por último, se incorpora la opción de diferir la inversión inicial, de manera de encontrar el momento óptimo para llevarla a cabo.

Estudiar la situación que enfrenta una empresa cuando debe decidir invertir en proyectos riesgosos. En este caso, se asume que la empresa puede detener temporalmente su producción si la variable estocástica que modela los costos excede las ventas. Asumen que los individuos que manejan la empresa son aversos al riesgo (McDonald y Siegel, 1985).

Considerar la opción de diferir la inversión en un proyecto, en este caso la decisión puede tomarse a lo largo de un tiempo variable, dependiendo de la tasa de inversión, la cual a su vez se encuentra acotada. La variable principal en esta investigación corresponde a la tasa de inversión acumulada, ya que la opción se ejerce sobre la tasa de inversión, la que puede ser nula para escenarios desfavorables, o bien, alcanzar su cota máxima para escenarios positivos. Para este caso, la política óptima (Majd y Pindyck, 1987).

Implementar la opción de expandir las operaciones al analizar el caso de una empresa que puede variar su tasa de producción según las condiciones del mercado. Si estas son favorables la empresa puede aumentar su escala de producción incurriendo en una inversión determinada (Trigeorgis y Mason, 1987).

Estudiar la reserva de petróleo sin desarrollar, la opción se plantea en términos de invertir para habilitar el yacimiento, y de esta manera comenzar a explotarlo. A diferencia de los estudios anteriores que abordan la opción de diferir inversiones, en

este caso se considera que existe un costo de oportunidad por tener la opción sobre la reserva y no el yacimiento de petróleo (Paddock, Siegel y Smith, 1988).

Analizar el caso de una empresa que posee un proceso productivo de dos etapas, y que cuenta con la opción de almacenar las unidades en proceso en un inventario intermedio (Cortazar y Schwartz, 1993). La variable incierta corresponde al precio de venta del producto que se obtiene en la segunda etapa, por lo que cada unidad en inventario puede considerarse como una opción de compra americana sobre el precio del producto, cuyo precio de ejercicio corresponde al costo marginal de la segunda etapa. De esta forma, la primera etapa es equivalente a la mina planteada por Brennan y Schwartz (1982), pero en vez de vender cada unidad producida al precio de mercado, el valor obtenido corresponde al de una opción de compra americana asociada a la segunda etapa de producción.

Analizar el caso de una concesión de un pozo de petróleo. En este modelo, el valor presente de los flujos de la producción corresponde a una variable estocástica que depende de dos variables de estado: el precio del petróleo y su retorno por conveniencia. El valor de esta concesión puede homologarse al de una opción de compra americana sobre el valor presente de la producción, donde el precio de ejercicio corresponde al monto de la inversión necesaria para comenzar la explotación, mientras que el tiempo de duración de la opción coincide con el plazo de concesión (Cortazar y Schwartz, 1998).

Presentar un modelo que caracteriza a las inversiones en investigación y desarrollo, en particular a aquéllas que buscan encontrar una nueva droga en la industria farmacéutica. Las incertidumbres presentes en este tipo de inversiones se resumen en tres procesos estocásticos. El primero se utiliza para modelar el nivel de inversión requerido para desarrollar el proyecto. El segundo, tiene que ver con los pagos futuros que generará la investigación, por lo tanto su volatilidad disminuye a medida que se aumenta la cantidad invertida. Por último, se considera la posibilidad que un evento catastrófico ponga fin a la inversión. La solución de la ecuación diferencial parcial resultante entrega no sólo el valor del proyecto, sino también, la política

óptima de inversión, esto es, los valores de las tres variables de estado para los cuales resulta óptimo proseguir con la investigación (Schwartz y Moon, 2000).

Considerar una inversión en un recurso natural que puede explotarse mediante múltiples etapas de producción. Este mineral dispone de reservas conocidas, y cuenta además con la flexibilidad de almacenar los productos intermedios (Cortazar y Cassasus, 2000).

Valorizar mediante opciones reales 21 proyectos mineros llevados a cabo en Canadá durante el periodo 1980-1993. Utilizando datos empíricos se estiman los parámetros relevantes de los procesos estocásticos que describen la evolución de: precios, costos, leyes, reservas, y tasas de producción. A continuación se realiza la comparación de los valores de estos proyectos considerando diversas hipótesis acerca de los procesos estocásticos considerados. La autora destaca la escasa adopción de la teoría de opciones reales como instrumento de valorización de proyectos mineros al interior de la industria canadiense (Slade, 2001).

Revisar el caso de una empresa neutral al riesgo que debe escoger entre múltiples proyectos. Según este artículo, los flujos de caja que una empresa puede obtener de una inversión dependen de los recursos generales con que la empresa cuente, así como de los recursos específicos que la empresa pueda aplicar a cada proyecto en particular. Por ejemplo, el nivel de investigación y desarrollo alcanzado por la empresa puede ser útil sólo en determinados negocios, mientras que un sistema de distribución eficiente puede servir para múltiples proyectos. La esencia de este modelo consiste en reconocer que la empresa no conoce el nivel de sus recursos (generales o específicos), pero puede aprender a dimensionarlos al observar los resultados obtenidos en los distintos proyectos de inversión que emprende. Este modelo asume además que la organización puede aumentar su inversión en cualquier momento, pero de forma irreversible. Los autores concluyen que una empresa en sus inicios se especializará en un solo negocio, luego experimentará con una nueva línea por algún tiempo, para luego transformarse en una gran organización con distintas áreas de negocio, o bien, dedicarse al rubro original, pero a gran escala (Bernardo y Chowdry, 2002).

3.5 Estimación de las opciones reales

Los problemas de valoración de opciones reales, que normalmente son más complejos que los problemas sobre derivados financieros, se resuelven frecuentemente por métodos numéricos.

La determinación de soluciones analíticas cuando se trata de ecuaciones en derivadas parciales es una tarea complicada y no siempre existe una solución. De hecho, solo un pequeño porcentaje de estas ecuaciones las tienen.

Se revisó algunas técnicas numéricas que se han desarrollado y utilizado durante los últimos años.

Los métodos numéricos se pueden dividir en tres grupos principales:

1. Simulación; método de Monte Carlo.

Hasta muy recientemente, se asumía que la simulación por Monte Carlo no podía tratar opciones americanas que se pueden ejercitar en cualquier momento. El primer trabajo de aplicación de Monte Carlo a la evaluación de opciones americanas fue publicado por Tilley (1993).

2. Árboles: binomiales, trinomiales y multinomiales.

Estos métodos se basan en trabajar en un modelo discreto en el tiempo a partir de otro modelo continuo en el tiempo. Esto puede llegar a ser muy complicado, dependiendo de la evolución del proceso y del número de variables generadoras de incertidumbre.

3. Ecuaciones en derivadas parciales: método de diferencias finitas.

Se utiliza para resolver ecuaciones diferenciales ordinarias, así como ecuaciones en derivadas parciales, lineales y no lineales. Las ecuaciones en derivadas parciales se han utilizado tradicionalmente para hallar el valor de las opciones y el camino óptimo

de ejercicio y el método de las diferencias finitas se ha mostrado muy eficaz para resolverlas.

En él se transforman las variables de estado de la ecuación en derivadas parciales en variables discretas que dan lugar a una malla de valores. De esta forma la ecuación diferencial en derivadas parciales queda transformada en unas cuantas ecuaciones en diferencias finitas. Para su resolución se aplicarán las condiciones de contorno adecuadas.

En cuanto al tiempo de cálculo, es difícil decir que método es más eficiente. Cada uno tiene sus propias características. En general para pocas variables de estado, los métodos más rápidos de cálculo son las diferencias finitas y los árboles, frente a las técnicas de simulación. Sin embargo, cuando se incrementa la dimensionalidad del problema con mayor número de variables de estado la simulación resulta más eficaz. Las diferencias finitas suelen ser más convenientes para resolver problemas con gran libertad para elegir las condiciones de contorno.

En ésta investigación se va a utilizar los dos primeros métodos de manera combinada: simulación Monte Carlo y árboles binomiales.

3.6 Simulación por Montecarlo y el modelo binomial

Simulación Montecarlo

El método es una forma flexible para modelar y combinar las distintas incertidumbres. Aborda la resolución de un problema simulando directamente el proceso físico, y no es necesario escribir las ecuaciones diferenciales que describen el comportamiento del sistema. A menudo este método se utiliza en otras áreas del conocimiento como física, química, etc. en este caso, la simulación por Monte Carlo permite simular diferentes fuentes de incertidumbre que afectan al valor de una opción real.

Para múltiples variables de estado (varias fuentes de incertidumbre), los modelos con opciones reales como los árboles o las diferencias finitas pueden ser complejos de resolver por el llamado problema de la dimensionalidad, limitándolos en su uso. De

hecho, para más de tres o cuatro variables de estado, tanto los métodos como los árboles o por diferencias finitas presentan serias dificultades y no son prácticos (Sobol, 1983).

El método Monte Carlo proporciona soluciones aproximadas para una variedad de problemas matemáticos mediante muestreos estadísticos realizados con la ayuda de un ordenador. Entre todos los métodos numéricos que se basan en evaluaciones de n puntos en un espacio de dimensión m . el método Monte Carlo tiene un error absoluto que decrece con $n^{-1/2}$.

Historia del método

El nombre “Monte Carlo” comenzó a usarse durante la segunda guerra mundial, y algunos investigadores lo atribuyen al científico Nicholas Metrópolis, influido por el interés en el póker de su colega en el proyecto Manhattan en Los Álamos, Stanislaw Ulam. La ciudad de Monte Carlo era, y sigue siendo, muy conocida por su famoso casino y los temas relacionados con el juego.

La idea básica en la que se apoyaría el método fue sugerida por Ulam y posteriormente analizada entre él y J. Von Neumann (Almarcha, 2005). Supuestamente Nick Metrópolis acuñó el nombre de Monte Carlo, que contribuyó de manera importante a popularizar este método. Liu explica que los científicos de Los Álamos, tratando de sacar partido del primer súper computador llamado Maniac, inventaron una técnica basada en muestreos estadísticos para resolver problemas relativos a la difusión de neutrones en el proyecto de desarrollo de la bomba atómica y para estimar los auto valores en la ecuación de Schrödinger.

El primer artículo sobre Monte Carlo, llamado “El método Monte Carlo”, fue publicado por Metrópolis y Ulam en 1949 en la revista de la Asociación Americana de Estadística. Desde entonces, esta simulación se ha utilizado en diferentes áreas. Con la disponibilidad de los ordenadores personales y de súper computadoras vectoriales y escalares, el método Monte Carlo se ha popularizado como una alternativa importante para la resolución de problemas complejos.

El principal interés en aplicaciones con opciones reales se centra en las opciones americanas, por lo que existe numerosa literatura del método aplicado a este tipo de opciones.

Estimación de la volatilidad por Monte Carlo y construcción del árbol

Basándose en el criterio de Tom Copeland, recogido de su libro “Real Options”, el procedimiento para estimar la volatilidad de un proyecto mediante Monte Carlo.

Se analiza el uso del método Monte Carlo para valorar un proyecto, suponiendo que previamente se ha estudiado la aleatoriedad de las principales variables que contribuyen a la volatilidad. En un proyecto la volatilidad es diferente que la de cualquiera de las variables de entrada, como la cantidad o el precio del producto comercializado.

El método también ayuda a evaluar la correlación cruzada entre diferentes variables de entrada y propiedades de series temporales como reversión a la media.

Las incertidumbres por separado de las variables evalúan a partir de datos históricos o bien a partir de estimaciones subjetivas.

Mediante el programa para hacer simulaciones por Monte Carlo se combinarán varias fuentes de incertidumbre en una sola.

Cada muestra de un juego de parámetros generará un valor del valor actual del proyecto. Sin embargo, la volatilidad para construir el árbol binomial es la volatilidad del retorno esperado del proyecto.

La salida de la simulación por Monte Carlo será una distribución de las probabilidades de que se den los diferentes posibles valores del proyecto.

A continuación se describe el proceso a seguir para construir un árbol de sucesos en el que todas las incertidumbres han sido combinadas en una sola.

Los pasos son:

1. Usar los flujos libres de caja o free cash flows esperados para la estimación del valor del proyecto.
 - a. Construir la hoja de cálculo con los valores del valor del proyecto VP.
 - b. Descontar al costo promedio de capital
2. Modelar las incertidumbres
 - a. Ver si existe autocorrelación de cada variable consigo misma, incluyendo reversión a la media.
 - b. Detectar correlaciones cruzadas entre variables.
 - c. Decidir la banda de confianza en la que oscila el proceso a lo largo del tiempo.
3. Mediante la simulación por Monte Carlo, obtener la distribución de los valores actuales.
 - a. Mostrar la distribución de los valores actuales.
 - b. En el árbol, la volatilidad empleada será la desviación típica de una variable, que se denomina z, cuya expresión será la siguiente:

$$z = Ln \left(\frac{V_{T+1}}{V_T} \right)$$

4. Construir el árbol binomial del valor de proyecto

Modelo binomial

En términos generales, en tiempo discreto no es posible, formar una cobertura sin riesgo y por tanto, se hace imposible derivar una ecuación de valoración que sea independiente de las preferencias por el riesgo por parte de los inversores.

Sin embargo, como Ross (1976) y Cox, Ross y Rubinstein (CRR, 1979) demuestran, la cobertura sin riesgo es posible en tiempo discreto con tal que el número de activos

disponibles abarque todos los posibles estados de la naturaleza. En particular, si el precio del activo subyacente sigue un proceso binomial en un espacio de dos estados, entonces sólo tres activos (el activo subyacente, la opción y el bono sin riesgo) son necesarios para formar una cobertura sin riesgo, obteniéndose una fórmula de valoración de opciones de compra neutral al riesgo, sin exigir restricciones o supuestos sobre las preferencias de los individuos.

Fue planteado de forma simultánea por CRR (1979) y por Rendleman y Bartter (1979). Constituye un modelo simple en tiempo discreto y presenta como casos límites el modelo en tiempo continuo de B-S y el modelo puro de saltos de CRR (1979).

Principios básicos del método binomial

Para aplicar este método, se asumen las siguientes hipótesis (Almarcha, 2005):

- El precio del activo subyacente en el momento actual (periodo 0) es S .
- El precio del activo subyacente en el momento 1 solo puede tomar dos valores:
 - Uno, hacia arriba $u.S > S$
 - Otro. Hacia abajo $d.S < S$

Siendo $u > d > 0$

- La tasa de descuento es la tasa sin riesgo r_f
- Se cumple que $u > 1 + r_f > d$. esta es una ecuación impuesta porque no existe arbitraje en el mercado.

La obtención de la fórmula de valoración de opciones se hace sólo por argumentos de arbitraje y de forma algebraica, constituyendo así un método numérico eficiente y de fácil computación para valorar opciones.

Bajo el supuesto de que el precio del activo sigue un proceso binomial multiplicativo a lo largo de períodos en tiempo discreto, este modelo parte de la premisa de que el precio del activo a lo largo de cada período puede tomar dos valores posibles, con una determinada probabilidad para cada valor.

Se hacen supuestos similares a los de B-S, es decir, el factor de capitalización, $r = 1 + r'$, es constante (siendo r' el tipo de interés), no hay costes de transacción, ni impuestos, ni requerimientos de margen. La acción puede tomar para el período siguiente dos valores, o bien uS o bien dS . Para que no se den oportunidades mediante el arbitraje tiene que ser $u > r > d$, ya que si esta desigualdad no se mantiene se podrían dar oportunidades de beneficios mediante el arbitraje. Por ejemplo, si $u > d > r$, tomando un préstamo al tipo de interés $r-1$ se podrían obtener beneficios ciertos comprando la acción.

$$S \begin{cases} uS & \text{con probabilidad } q \\ dS & \text{con probabilidad } 1-q \end{cases}$$

Cuando sólo hay un período hasta el vencimiento de la opción call, su valor respecto al precio del subyacente, S , y al precio de ejercicio, K , se iguala a:

$$C \begin{cases} C_u = \max[0, uS-K] & \text{con probabilidad } q \\ C_d = \max[0, dS-K] & \text{con probabilidad } 1-q \end{cases}$$

Para que no sea posible obtener beneficios del arbitraje, el valor de la opción debe ser igual al valor de una cartera formada por participaciones en el activo y bonos sin riesgo. Si no se da esta igualdad, se podrían obtener beneficios sin riesgo mediante la compra o venta de la opción o de la cartera.

Si se forma una cartera con Δ participaciones del activo y una cantidad B en bonos sin riesgo, su coste será, por tanto, $\Delta S + B$, de manera que al final del período, el valor de esta cartera será:

$$\Delta S + B \begin{cases} \Delta uS + rB & \text{con probabilidad } q \\ \Delta dS + rB & \text{con probabilidad } 1-q \end{cases}$$

La igualdad del valor de la opción y el de la cartera al final del período y para los dos posibles valores que tomará el activo, lleva a las dos expresiones siguientes:

$$\Delta uS + rB = C_u$$

$$\Delta dS + rB = C_d$$

De la que se obtiene las proporciones que se debe elegir del activo y de los bonos sin riesgo para que el valor de la opción se iguale al valor de la cartera, y de ese modo no pueda haber beneficios derivados del arbitraje:

$$\Delta = \frac{C_u - C_d}{(u - d)S'} \qquad B = \frac{uC_d - dC_u}{(u - d)r}$$

Por lo que se concluye que para que no haya beneficios derivados del arbitraje, el valor de la opción ha de ser igual al valor de la cartera, es decir,

$$\begin{aligned} C &= \Delta S + B = \\ &= \frac{C_u - C_d}{u - d} + \frac{uC_d - dC_u}{(u - d)r} \\ &= \left[\left(\frac{r - d}{u - d} \right) C_u + \left(\frac{u - r}{u - d} \right) C_d \right] / r \end{aligned}$$

$$\text{si } C > S - K$$

En caso contrario, $C = S - K$.

Se hace la siguiente simplificación:

$$p \equiv \frac{r - d}{u - d} \qquad \text{y} \qquad 1 - p \equiv \frac{u - r}{u - d}$$

Se obtiene el valor de una opción call que vence en el siguiente período, dado por:

$$C = [pC_u + (1 - p)C_d] / r$$

Esta idea fundamental se extiende mediante un procedimiento recursivo cuando faltan "n" períodos hasta el día de expiración de la opción, resultando así la fórmula binomial de valoración de opciones, dada por:

$$C = S\Phi[a; n, p'] - Kr^{-n}\Phi[a; n, p]$$

donde $p \equiv (r - d) / (u - d)$, $p' \equiv (u / r)p$, a es el entero más pequeño no negativo mayor que $\log(K/Sdn) / \log(u / d)$ y $\Phi[a; n, p]$ es la función de distribución binomial, de manera que si $a > n$, $C=0$.

Esta fórmula tiene interesantes características:

1º No depende de q, de manera que incluso cuando los inversores tengan diferentes probabilidades subjetivas respecto a la evolución futura del precio del activo.

2º El valor de la opción no depende de la actitud del inversor respecto al riesgo, de manera que se utilizará la misma fórmula para un inversor que sea averso, indiferente al riesgo, o por el contrario, que prefiera el riesgo. Por lo tanto, y al igual que el modelo de B-S, la fórmula binomial de valoración de opciones es neutral al riesgo.

3º La única variable aleatoria de la cual depende el precio de la opción es el precio del subyacente.

4º Dado que $p \equiv (r - d) / (u - d)$ es siempre mayor que cero y menor que uno, tiene todas las propiedades de una probabilidad. Para el caso concreto en que los inversores fueran neutrales al riesgo y por tanto, la tasa esperada de rentabilidad para el activo fuera el tipo de interés sin riesgo, entonces,

$$q(u.S) + (1 - q)(d.S) = rS$$

De donde

$$q = (r - d) / (u - d) = p$$

Por lo que se puede concluir que p sería el valor que tomaría q en equilibrio cuando los inversores son neutrales al riesgo. En este caso, el valor de la opción call puede interpretarse como la expectativa de su valor futuro descontado en un mundo neutral al riesgo.

Este resultado no implica que, en el equilibrio la tasa esperada de rentabilidad de la opción call sea la tasa de interés sin riesgo. Lo que se ha demostrado es que, en equilibrio, mantener una opción call un período es exactamente equivalente a mantener la cartera anterior. De esa manera, el riesgo y la tasa esperada de rentabilidad de la opción call deben ser iguales a los de la cartera.

3.7 Administración de riesgo

¿Por qué administrar el riesgo?

El riesgo puede verse como una amenaza o una oportunidad. El valor no se crea sin arriesgarse, e innovar a menos que el riesgo sea la contradicción. La motivación para las organizaciones para entender bien y medir el riesgo está manejada por (Culp, 2001):

- El conocimiento creciente de que la volatilidad de las ganancias puede afectar significativamente el precio de la valoración;
- El tamaño creciente y tipos de exposiciones al riesgo interrelacionadas se enfrentan a la globalización de mercados e incremento del comercio internacional;
- La exposición de las organizaciones al riesgo con información relevante definen la administración y mejoran la toma de decisiones.

La administración de riesgo es un proceso dónde la exposición al riesgo se identifica, mide, y administra dentro del contexto de finanzas corporativas y estratégicas, y es esencialmente una competencia de toda la actividad comercial. El enfoque en la administración de riesgo se mueve de las exposiciones del precio individual a la administración de una exposición de la organización como un portafolio de riesgos

interrelacionados. La administración de riesgo eficaz puede dirigir los problemas como:

- Las organizaciones que exigen más transparencia a los métodos de administración para administrar los factores externos que pueden influir en su actuación;
- La práctica de administración de riesgo puede ser escrutado por analistas, inversionistas, etc.
- Evaluando el impacto potencial de movimientos del mercado adversos;
- La definición del riesgo y del retorno para los negocios y proyectos;
- El uso de medidas de riesgo ajustadas para influir en las decisiones de administración.

Definiendo y midiendo el riesgo

Antes de definir, identificar y cuantificar el riesgo es importante distinguir entre las definiciones y medidas de riesgo. El riesgo definido bajo el concepto de riesgo diversificable, los riesgos no diversificables y el CAPM (Rogers, 2002).

Las definiciones de evento de riesgo diferencian los tipos de riesgo por la naturaleza del evento que puede causar una pérdida. El riesgo del mercado se define dentro de un armazón de riesgo de evento como los cambios en los precios de los recursos, obligaciones o variables financieras que impactan en los flujos del dinero en efectivo. Los factores de riesgo son cualquier precio del mercado, valor o índice que pueden tener una influencia en los flujos del dinero en efectivo.

La teoría financiera define el riesgo como una dispersión de resultados inesperados debido a los movimientos en valores del mercado o factores de riesgo. Las desviaciones positivas y negativas son vistas como las fuentes de riesgo. Los cambios pueden expresarse como ingresos absoluto o relativo, y pueden derivarse las probabilidades por las distribuciones de estos ingresos. El riesgo puede

evaluarse por consiguiente y puede medirse en un contexto de probabilidad dónde el riesgo se conceptualiza como la probabilidad que un evento ocurrirá en lugar por lo que se refiere a las consecuencias de ese evento. Pueden definirse medidas de riesgo como la volatilidad de los resultados inesperados, la variación o volatilidad de los ingresos de un recurso.

Riesgo e incertidumbre

“La incertidumbre existe siempre que no se sabe con seguridad lo que ocurrirá en el futuro. El riesgo es la incertidumbre que “importa” porque incide en el bienestar de la gente..... Toda situación riesgosa es incierta, pero puede haber incertidumbre sin riesgo”. (Bodie y Merton, 1999).

Por esta razón, un administrador de riesgos se encarga del asesoramiento y manejo de la exposición ante el riesgo de corporativos o empresas a través del uso de instrumentos financieros derivados.

Para brindar un panorama sobre la administración de riesgos (ver cuadro 1), donde se puede apreciar la diferencia entre objetivos y funciones de la administración de riesgos financieros.

Cuadro 1. Objetivos y funciones de la administración de riesgos financieros

OBJETIVOS	FUNCIONES
Identificar los diferentes tipos de riesgo que pueden afectar la operación y/o resultados esperados de una entidad o inversión.	Determinar el nivel de tolerancia o aversión al riesgo.
Medir y controlar el riesgo “no-sistemático”, mediante la instrumentación de técnicas y herramientas, políticas e implementación de procesos.	Determinación del capital para cubrir un riesgo.
	Monitoreo y control de riesgos.
	Garantizar rendimientos sobre capital a los accionistas.
	Identificar alternativas para reasignar el capital y mejorar rendimientos.

Fuente: Fragoso, 2002.

También es de suma importancia conocer los tipos de riesgos a los que se enfrenta toda empresa, así como, su definición (ver cuadro 2); y los tipos de riesgos financieros más comunes.

Cuadro 2. Tipos de riesgos financieros

TIPO DE RIESGO	DEFINICIÓN
RIESGO DE MERCADO	Se deriva de cambios en los precios de los activos y pasivos financieros (o volatilidades) y se mide a través de los cambios en el valor de las posiciones abiertas.
RIESGO CRÉDITO	Se presenta cuando las contrapartes están poco dispuestas o imposibilitadas para cumplir sus obligaciones contractuales
RIESGO DE LIQUIDEZ	Se refiere a la incapacidad de conseguir obligaciones de flujos de efectivo necesarios, lo cual puede forzar a una liquidación anticipada, transformando en consecuencia las pérdidas en “papel” en pérdidas realizadas
RIESGO OPERACIONAL	Se refiere a las pérdidas potenciales resultantes de sistemas inadecuados, fallas administrativas, controles defectuosos, fraude, o error humano
RIESGO LEGAL	Se presenta cuando una contraparte no tiene la autoridad legal o regulatoria para realizar una transacción
RIESGO TRANSACCIÓN	Asociado con la transacción individual denominada en moneda extranjera: importaciones, exportaciones, capital extranjero y préstamos
RIESGO TRADUCCIÓN	Surge de la traducción de estados financieros en moneda extranjera a la moneda de la empresa matriz para objeto de reportes financieros
RIESGO ECONÓMICO	Asociado con la pérdida de ventaja competitiva debido a movimientos de tipo de cambio

Fuente: Elaboración propia en base a Fragoso (2002), Jorion (1999) y Baca (1997).

Una vez explicados los fundamentos de objetivos y funciones de la administración de riesgos, así como, los tipos de riesgos financieros, es importante conocer a su

vez, el proceso de cómo se administra el riesgo paso a paso, de manera muy general (ver cuadro 3).

Cuadro 3. Proceso de la administración del riesgo

PASO	DEFINICIÓN
IDENTIFICACIÓN DEL RIESGO	Determinar cuáles son las exposiciones más importantes al riesgo en la unidad de análisis (familia, empresa o entidad).
EVALUACIÓN DEL RIESGO	Es la cuantificación de los costos asociados a riesgos que ya han sido identificados.
SELECCIÓN DE MÉTODOS DE LA ADMINISTRACIÓN DEL RIESGO	Depende de la postura que se quiera tomar: evitación del riesgo (no exponerse a un riesgo determinado); prevención y control de pérdidas (medidas tendientes a disminuir la probabilidad o gravedad de pérdida); retención del riesgo (absorber el riesgo y cubrir las pérdidas con los propios recursos) y finalmente, la transferencia del riesgo (que consiste en trasladar el riesgo a otros, ya sea vendiendo el activo riesgoso o comprando una póliza de seguros).
IMPLEMENTACIÓN	Poner en práctica la decisión tomada.
REPASO	Las decisiones se deben de evaluar y revisar periódicamente.

Fuente: Elaboración propia, en base a Bodie y Merton (1999).

Es importante recalcar la importancia del método de transferencia del riesgo, ya que hoy en día es el método más utilizado en la administración de riesgos, a su vez, es el método al que se recurre a través de instrumentos derivados.

El método de transferencia del riesgo, cuenta con tres dimensiones, la de protección o cobertura, la de aseguramiento y la de diversificación (ver cuadro 4).

Cuadro 4. Dimensiones de la transferencia del riesgo

DIMENSIÓN	DEFINICIÓN
PROTECCIÓN O COBERTURA	Cuando la acción tendiente a reducir la exposición a una pérdida lo obliga también a renunciar a la posibilidad de una ganancia.
ASEGURAMIENTO	Significa pagar una prima (el precio del seguro) para evitar pérdidas.
DIVERSIFICACIÓN	Significa mantener cantidades similares de muchos activos riesgosos en vez de concentrar toda la inversión en uno solo.

Fuente: Elaboración propia, en base a Bodie y Merton (1999).

CAPÍTULO IV. LA AGRICULTURA EN MÉXICO Y LA PRODUCCIÓN EN INVERNADEROS

Se centra en el proceso de análisis de la agricultura mexicana, enfocándose en la agricultura protegida principalmente en el cultivo de jitomate bajo condiciones de invernadero³.

4.1 Situación de la agricultura mexicana

El sector rural mexicano de la primera década del siglo XXI alcanzaba 198 millones de hectáreas de las cuales 16 % son tierras agrícolas, 61 % de agostadero y 23 % de bosques y selvas. En el campo mexicano vive cerca del 25 % de la población nacional. La población rural en México creció moderadamente en el periodo de 1970 a 2008, al registrar una tasa media anual de 0.7 %. El número de habitantes del agro pasó de 19.9 millones a 25.2 millones en ese lapso. Sin embargo, en términos relativos la población rural disminuyó sensiblemente su representación en el total nacional al bajar de 41.3 % en 1970 a 29.8% en 2008 (INEGI, 2009).

México se caracteriza por una gran diversidad de sistemas de producción resultado de diferentes niveles de desarrollo económico y social. En 1999 el Producto Interno Bruto (PIB) agropecuario y forestal representó el 5.74 % del PIB nacional, con una aportación del 73% agrícola, 22% pecuario y 5% forestal. El sector agropecuario creció en 1.6 % de 1999 a 2000, la economía en su conjunto creció un 3.4 %, la agroindustria 3.7 % y la población 1.8 %. Durante el periodo 2000 – 2009 el PIB agroalimentario aumentó a un ritmo anual de 2.4 %, lo cual duplicó al crecimiento de la población que fue de 1.2 % anual.

No obstante, el crecimiento moderado del PIB agropecuario, en términos del PIB per cápita no se logró un crecimiento positivo. Así, entre 1981 y 2001 este indicador decreció en -14.3%. En contraste, el volumen producido por la agroindustria alimentaria en México, la cual pertenece a grandes empresas trasnacionales y

³ Para el análisis se utilizan datos del Proyecto Educativo de la Licenciatura Agronomía en Horticultura Protegida. UACH, 2007.

mexicanas, creció a una tasa anual de 6% de 1994 a 1999 y ha llegado a ocupar el segundo lugar en la contribución del PIB sectorial con 17.6% en 2000.

En general, los actores agropecuarios (productores y trabajadores) disminuyeron su presencia en el campo. En 1991 se registraron 9.8 millones de sujetos agropecuarios y en 2002 se redujo a 8.2 millones (-16.4 %). El descenso en términos absolutos fue de 862,607 productores y 755,496 trabajadores agrícolas, lo cual implicó 1 618 103 productores y trabajadores agropecuarios menos en el campo, entre 1991 y 2002 (INEGI).

Aun cuando los granos básicos ocupan cerca del 70 % de la superficie sembrada, son las hortalizas, flores y frutas para exportación las actividades que han presentando mayor dinamismo y expansión en las dos últimas décadas, ya que están vinculados a mercados más rentables. En este contexto, para 1999, México se había convertido en uno de los principales exportadores mundiales de frutas y hortalizas, al ocupar el octavo lugar con una producción con valor de 3 213 millones de dólares y una participación de 4.52 % de las exportaciones mundiales. Las hortalizas registraron un crecimiento, entre 1990 a 1999, a un ritmo anual de 4.5 %. En las frutas también se observa un importante dinamismo, tanto en la producción como en las exportaciones, mientras que en los años ochenta crecieron a un ritmo anual de 2.1 %, de 1994 a 2008 crecieron a 3.1 % (INEGI, 2009).

Los anterior ocurre en regiones y actividades en las que México es muy competitivo, lo que ha permitido el florecimiento de importantes polos de desarrollo, empresas y productores exitosos que han conquistado mercados internacionales altamente competidos, aprovechando la red de acuerdos comerciales signados por nuestro país con otras naciones, particularmente con la exportación de productos primarios como café, mango, flores, miel de abeja, jitomate, uva, espárrago, melón, garbanzo, aguacate, plátano y fresa; los cuales se exportan a Estados Unidos, Canadá, Japón y la Unión Europea, entre otros.

4.2 Antecedentes de la agricultura protegida

Origen y desarrollo

Los anales de la historia no registran con precisión a quien corresponde el mérito de haber inventado el cultivo protegido de plantas. Algunos historiadores expresan que fueron los egipcios mientras que otros lo atribuyen a los romanos, aunque también existen referencias a estructuras y prácticas para proteger cultivos entre los griegos, los judíos, chinos y otros pueblos de la antigüedad (Bastida, 2006).

A lo largo del siglo XV, los exploradores que viajaron al Nuevo Mundo llevaron de vuelta consigo plantas que los botánicos de esos tiempos protegieron en invernaderos rudimentarios conocidos como jardines botánicos. El desarrollo arquitectónico de los invernaderos floreció en los siglos XVIII y XIX, a través de los conservatorios (para exposición de plantas exóticas) y las casas de palmeras (*Palm Houses*) en jardines botánicos y parques en Inglaterra y buena parte de Europa. Entre los siglos XIX y XX se desarrollaron los invernaderos para la producción comercial de hortalizas y plantas de follaje, principalmente en Inglaterra y Holanda, para cubrir la demanda invernal. A partir de la Segunda Guerra Mundial el desarrollo ha sido muy acelerado y en la actualidad sostiene a una gran industria vinculada a la agricultura tecnificada, la agroindustria de exportación y la biotecnología.

En los plásticos, se ubica la transformación tecnológica más reciente en la agricultura, pues estos permiten desarrollar cubiertas, mangueras o conductos, recipientes, dispositivos de riego y de tutoraje, productos de manejo y de empaque; que posibilitan el manejo de variables como temperatura, control de plagas, humedad y riego, permitiendo, junto con el desarrollo de variedades de plantas y el avance en la ciencia de la nutrición y la sanidad, una verdadera revolución en el nivel de producción, que hacen de la actividad agrícola una actividad independiente de la estacionalidad típica de todas “las agriculturas” anteriores (Papaseit, et al, 1997).

De manera general, la agricultura protegida tiene al menos 30 años de existencia, como una opción productiva madura, no solo para neutralizar el efecto de la

estacionalidad climática, sino también para las regiones dónde las condiciones de escasez de agua y suelo, no son adecuadas a la agricultura de campo abierto.

Agricultura protegida: trascendencia y perspectivas

La agricultura protegida representa el avance más reciente de la historia en la producción de plantas cultivadas. La adopción de esta tecnología ha cobrado fuerza en los últimos 30 años en todas las regiones del mundo, dejando de ser una práctica exclusiva de los países con inviernos severos y alto poder adquisitivo, para ser adoptada por todo tipo de productores. Se trata de la forma de agricultura más viable porque representa ahorro de agua y de superficie, productos inocuos, es posible en zonas montañosas, desérticas y árticas, posee la ventaja de reciclar todos sus componentes e insumos y no depende de la estacionalidad climática.

En el ámbito agronómico la agricultura protegida se define como la opción más representativa de la agricultura de precisión, dónde la estacionalidad agrícola se atenúa o desaparece permitiendo, además, el manejo diferenciado de insumos y de prácticas agrícolas que le confieren precisión al manejo del proceso agrícola. El resultado de proporcionar al cultivo las condiciones ideales para su desarrollo genera niveles de producción entre 5 y 10 veces por encima de los obtenidos con métodos de producción agrícola de campo abierto, en donde sólo se regula una parte de las variables.

En el ámbito económico la agricultura protegida podría contribuir a mejorar las condiciones de pobreza extrema de los grupos sociales más vulnerables. En un estudio reciente, la FAO plantea la urgente necesidad de atender la situación de 800 millones de pobres, a partir de su acceso a tecnologías que les permitan sobrevivir, en aquellas regiones donde el modelo de agricultura extensiva muestra una baja productividad, acelera procesos de degradación del suelo y de las especies que lo habitan. De aquí la conveniencia de investigación y desarrollo para todas las especies agrícolas de interés.

Entre 1991 y 1999, la agricultura protegida creció en un 80% y su distribución geográfica está entre los paralelos 20 y 37 grados de latitud norte, cubriendo casi todas las condiciones climáticas de dicha franja (Pierre, 2001).

La superficie mundial cubierta por plástico en 2004, alcanzó 4.3 millones de hectáreas (ver cuadro 5).

Cuadro 5. Superficie mundial estimada en cultivos protegidos (miles de hectáreas en 2004)

PROTECCIÓN	ASIA	MEDITERRÁNEO	RESTO DE EUROPA	AMERICA	OTROS	TOTAL
Acolchado	3080	192	15	85	5	3377
Cubierta flotante	7	12	28	2	1	50
Túnel pequeño	144	117	4	20	1	286
Invernaderos	418	144	43	20	3	628

Fuente: Castilla et. al. (2004)

En China se ubica el 62% de la superficie cultivada bajo invernaderos, seguida por Europa occidental con un 23%. Las regiones de agricultura protegida de los países de economía desarrollada (Holanda, Francia, Italia y España, en Europa, y Estados Unidos y Canadá, en América) han mostrado una tendencia al estancamiento, mientras que regiones consideradas como economías en desarrollo, muestran gran crecimiento. Destaca el Oriente medio seguido por América Latina con crecimientos de 25 y 18 veces, respectivamente.⁴

La agricultura protegida ha dejado ser sólo una actividad experimental, hobby técnico o sólo para nichos de mercados, para convertirse en la tendencia más consistente de crecimiento agrícola mundial, no sólo para atender el mercado creciente de

⁴ Para el caso del norte de Europa, el dominio de la agricultura protegida es la norma, mientras que para los países del centro las dos "agriculturas" comparten el mercado. Para el caso de Estados Unidos, la presencia de tomate fresco en el mercado, originado en invernadero, era del 1% en el año de 1990, pasando al 17 % en el 2003. En México para el 2003 representó el 8 %, estimando para el 2005 una participación del 20 % en el total de la producción nacional.

hortalizas, sino incluso desplazando y sustituyendo a la producción de campo abierto.

Aunque por ahora, la agricultura protegida es usada sólo para una parte de los cultivos agrícolas, hortalizas, flores y frutas, la perspectiva es muy prometedora para los cultivos asociados con las grandes extensiones, principalmente las gramíneas.

4.3 La agricultura protegida en México

Los primeros invernaderos operados con fines de producción comercial aparecieron en los 70's. Tenían como objetivo la producción de plántula para los productores de hortalizas de campo abierto en la región norte y centro del país. Inicialmente se instalaron cerca de la costa y poco a poco fueron desplazándose hacia zonas más elevadas. Estos invernaderos fueron importados, principalmente de Holanda, Israel, España, Canadá y Francia (Molina, 2004).

A partir de 1980 los productores de flores adoptaron la tecnología de invernaderos principalmente con diseños provenientes de Israel y Colombia. Sin embargo, es en el periodo 1985-1990, cuando la tecnología de agricultura protegida se adopta para la producción de hortalizas y flores.

México experimenta un crecimiento acelerado de la agricultura protegida bajo diversas estructuras: invernaderos, casas sombra, túneles altos y mini túneles o túneles bajos. Actualmente, existen más de 3 mil hectáreas de cultivo protegido, dónde al menos un 20 % integra sistemas hidropónicos.

El mercado de América del norte, integrado por Estados Unidos, Canadá y México, con motivo del TLCAN, tiende a comportarse como uno solo. Por ello resulta conveniente analizar brevemente su estructura.

En el 2003 México tenía la mayor superficie de invernaderos para cultivo de hortalizas de Norteamérica, 950 hectáreas contra 446 hectáreas de Canadá y 330 de Estados Unidos, pero su producción no correspondió a esa proporción debido a su baja productividad, 156 ton/ha, contra 494 y 484 ton/ha de Canadá y Estados Unidos,

respectivamente. Tanto Canadá como México destinan la gran parte de su producción de invernadero a la exportación a Estados Unidos, Canadá el 60% y México el 85%.

Cook y Calvin (2005), muestran que la superficie de invernaderos de EUA y Canadá se ha estabilizado, mientras que la de México crece. El reporte de la Asociación de Productores de Hortalizas bajo Invernadero (AMPHI) de 2003 a 2004, registra un crecimiento de 70%, alrededor de mil hectáreas en un año (ver cuadro 6). Sin embargo para el 2010 se registra un crecimiento promedio de 15%.

Cuadro 6. Evolución de la superficie de invernaderos para hortalizas en México

Año	Hectáreas
1990	50
1997	350
1999	544
2001	848
2003	1720
2004	3150
2008	3925
2010	4528

Fuente: Datos de AMPHI. 2010

La productividad de la agricultura protegida de México es equivalente a un tercio (32%), a la de Canadá y Estados Unidos. Es necesario aumentarla a partir de tecnologías medias, apoyando la formación de técnicos y la formación de paquetes tecnológicos óptimos por región productora, vía el impulso de los Centros de investigación y Desarrollo.

En el ámbito comercial Estados Unidos destaca como comprador neto de hortalizas producidas bajo invernadero, como jitomate, pimiento morrón y pepino; mientras que Canadá y México son proveedores.

Crecimiento y desarrollo

A mediados de la década de los 70's la superficie de invernaderos se estimaba en 300 hectáreas, en tanto que para el 2000 había 3000 hectáreas. Se calcula que

entre los años 1999 y 2004, el crecimiento de la superficie agrícola bajo invernaderos fue del 218 % anual y del 2003 al 2004 creció un 67 %. Destaca el desarrollo de la agricultura protegida en Sinaloa, Sonora, Jalisco y las Baja Californias, aunque esta tecnología se ubica en toda la geografía nacional. En algunos casos aún no se constituyen verdaderas regiones por tratarse de instalaciones pequeñas y aisladas, pero representan el germen del desarrollo de este tipo de agricultura (Bastida, 2006 y Guantes, 2006).

La situación actual de la agricultura protegida, dado su dinamismo y expansión, dificultan indicar la superficie que ocupa en nuestro país. No obstante, se estima que en México hay más de cinco mil hectáreas de invernaderos y que el sector crece entre 250 a 500 hectáreas por año. Así mismo, se calcula que hay entre dos y tres mil hectáreas de túneles, cubiertas de plástico y casas de mallas sombra, estructuras que se emplean en la producción de diversos cultivos como hortalizas, flores de corte, producción de plantas de interior, producción de nopal para verdura, producción de frutillas (fresa, zarzamora y frambuesa), así como otros sistemas de producción agrícola intensivos. De igual forma, algunos sistemas de producción animal y de acuicultura comienzan a utilizar estructuras protectoras.

Sin embargo, la mayor superficie de la agricultura protegida está enfocada principalmente a la producción de hortalizas para exportación, con cultivos como jitomate, pimiento, pepino y lechugas. En menor escala hay producción de plantas ornamentales y flores de corte. Se estima que las técnicas de acolchado de los suelos se practica en más de 20,000 hectáreas y la de micro túneles en alrededor de 8, 000 hectáreas (Bastida, 2006).

Para este desarrollo no existen los técnicos nacionales suficientes y con experiencia necesaria para hacer eficiente la producción, debido a ello en el sector han ocurrido diversos fracasos, sobre todo con los invernaderos de pequeña superficie, con los que diversas dependencias de gobierno ha apoyado a pequeños productores con poca o nula experiencia en la agricultura protegida. No obstante dichos fracasos, los éxitos logrados en algunas empresas, con altos rendimientos en hortalizas y ornamentales, han sido de suficiente impacto para impulsar el crecimiento y

desarrollo de la agricultura protegida, atrayendo capitales, tanto nacionales como internacionales, ya que cada mes se informa del inicio de nuevos proyectos de invernaderos, en diferentes regiones de México (Steta, 2003).

En México, los productores de hortalizas para exportación y los que surten los mercados selectos nacionales, constituyen el principal sector que emplea invernaderos en la producción. Este sector aumentó la superficie de invernaderos de menos de 50 hectáreas en 1991 a más de 3 000 hectáreas en el año 2005, con más de 2600 hectáreas en producción y el resto en construcción. Este desarrollo se explica, en parte, debido a los altos rendimientos obtenidos con los cultivos protegidos en relación a campo abierto. Los productores más exitosos han logrado, por ejemplo, rendimientos de jitomate de 25 y hasta 45 kg/m² en los últimos años (Steta, 2003).

Otro ejemplo de este crecimiento se ha dado en la floricultura. En el Estado de México se estimaba que en el año 2001 existían más de 2500 hectáreas de invernaderos y túneles altos dedicadas a la producción de plantas ornamentales y hortalizas. De esa superficie, la empresa más fuerte del ramo de flores para corte, contaba con 18 hectáreas de cultivos ornamentales bajo invernadero en 1991 e incrementó a 160 en el 2000 (Agrores, 2001).

La superficie con agricultura protegida en México muestra gran importancia para el desarrollo de la agricultura con visión empresarial (ver cuadro 7):

Cuadro 7. Superficie estimada de agricultura protegida en México y proyecciones en construcción (Invernaderos, túneles altos y casas sombra)

ESTADO	OPERANDO (HAS)	EN CONSTRUCCION (HAS)	ESTADO	OPERANDO (HAS)	EN CONSTRUCCION (HAS)
A. G. S.	17.1	3.4	MORELOS	742.6	148.5
B. C. N.	711.2	142.2	NAYARIT	42.8	8.6
B. C. S.	862.5	172.5	NUEVO LEON	2.9	0.6
CAMPECHE	2.9	0.6	OAXACA	8.6	1.7
CHIAPAS	71.4	14.3	PUEBLA	114.2	22.8
CHIHUAHUA	185.6	37.1	QUERETARO	207.1	41.4

COAHUILA	17.1	3.4	QUINTANA ROO	114.2	22.8
COLIMA	228.5	45.7	SINALOA	1,656.5	331.3
DF	91.3	18.3	S. L. P.	228.5	45.7
DURANGO	157.1	31.4	SONORA	171.4	34.3
GUANAJUATO	142.8	28.6	TABASCO	2.9	0.6
GUERRERO	8.6	1.7	TAMAULIPAS	57.1	11.4
HIDALGO	57.1	11.4	TLAXCALA	5.4	1.1
JALISCO	1,113.9	222.8	VERACRUZ	57.1	11.4
MEXICO	1,589.7	317.9	YUCATAN	122.8	24.6
MICHOACAN	171.4	34.3	ZACATECAS	105.7	21.1
	TOTAL			9,068.0	1,813.6

Nota: Los datos en construcción son datos estimados para el 2011.

Fuente: Elaboración propia

Otro aspecto relevante es que varias de las principales regiones agrícolas a campo abierto están reconvirtiendo una parte de su superficie a cultivos protegidos: Sinaloa y Sonora; Valle de Culiacán y Los Mochis; Valles del Mayo y Yaqui; Valle de Ensenada y Valle de San Quintín, B.C; Ciudad Constitución en la Baja California Sur, El Bajío en Guanajuato, Morelos y la Ciénaga de Chapala, Valle del Mezquital en Hidalgo, Los Reyes en Michoacán, entre otros. También han surgido nuevas regiones de importancia con agricultura protegida, como Imuris, en Sonora; San Ignacio, Vizcaínos y la Paz en BCS, Aquixtla en la Sierra Norte de Puebla (Bastida, 2007). Y la creación del parque agroindustrial de 300 has en Ajuchitlán Querétaro, al igual que la creación del de Aguascalientes con la misma superficie para el año 2012-2013.

En cuanto al tamaño, en México se ubican desde pequeñas unidades, de menos de 500m² hasta algunas de las empresas más grandes del mundo. Hay regiones con invernaderos muy rústicos o de baja tecnología y poca superficie, mismos que son manejados por productores de bajos recursos económicos (Xochimilco, Distrito Federal; Texcoco y Atlacomulco, en el Estado de México; Cuautla y Cuernavaca en el Estado de Morelos, San Felipe de los Alzati en el Estado de Michoacán y Mineral El Chico en Hidalgo; Zinacantán, Chiapas; Aquixtla y Tecamachalco en el Estado de Puebla. En algunos, como el estado de Hidalgo la superficie de invernaderos esta

atomizada, con muchos pequeños productores, más de 700 en unas 50 hectáreas (Bastida, 2006).

En el otro extremo están los invernaderos que producen hortalizas para exportación, como el caso de la empresa Dessert Glory que cuenta con más de 300 hectáreas de invernaderos para la producción de jitomate cherry de exportación; y el Rancho los Pinos en San Quintín, Baja California con más de 500 hectáreas de casas de mallas sombra destinadas a la producción de jitomate de exportación, así como las empresas ubicadas en el Estado de Sinaloa que, principalmente, producen para la exportación.

Situación actual

La situación actual de la agricultura protegida se analiza en aspectos concretos que muestran su comportamiento y perspectivas, estos son: a) producción y rendimiento, b) generación de empleos, c) adaptación y generación de tecnología, d) la agricultura protegida y los pequeños productores y d) la agricultura protegida y el uso eficiente del agua.

a) Producción y rendimiento

En México se producen distintos cultivos bajo invernadero, aunque el jitomate es la hortaliza predominante, ya sea en sistemas hidropónicos o en el suelo, logrando rendimientos muy altos, hasta 10 veces más que en los sistemas convencionales a campo abierto, con una producción continua, lo que constituye un atractivo comercial para agricultores con poca extensión de tierra, con poca agua o con serias limitantes de suelo o factores naturales adversos como las heladas (Sánchez, 2004).

Los cultivos desarrollados bajo cubierta muestran que el 92% está cultivado con jitomate, pepino y pimiento, lo cual indica que es importante diversificar productos cultivados en ambientes protegidos (ver cuadro 8).

Cuadro 8. Principales especies hortícolas producidas en invernadero en México

CULTIVO	SUPERFICIE (HA)	PORCENTAJE %
Jitomate	885	72

Pepino	130	10
Pimiento	130	10
Otros cultivos	80	7
Melón	15	1

Fuente: Steta, 2003.

Algunos datos sobre la producción y rendimiento se muestran en los cuadros 9, 10 y 11, en los que se constata la productividad y los márgenes de ganancia para cultivos de hortalizas en sistemas de agricultura protegida en México.

Cuadro 9. Rendimiento y costos de producción para jitomate en Sinaloa, México

SISTEMA DE PRODUCCIÓN	RENDIMIENTO O (KG/M²)	COSTOS DE PRODUCCIÓN (DÓLAR /KG)	PRECIO DE VENTA (DÓLAR /KG)
Campo abierto	9	0.45	0.58
Malla sombra	14	0.51	0.64
Invernadero	22	0.55	0.87

Fuente: Montoya y Brindis, 2001.

Cuadro 10. Comparación de rendimientos por sistema de producción y tipo de invernadero

CULTIVO	SISTEMA DE PRODUCCIÓN (ton/ha/año)			
	CAMPO ABIERTO	INVERNADERO RECTRATABLE	INVERNADERO TRADICIONAL	INVERNADERO CLIMATIZADO
Pimiento	14 - 20	74	96	180 – 240
Jitomate	60	238	150 - 250	300 – 700

Fuente: Suárez, 2004.

México es el segundo exportador de jitomate a nivel mundial después de España, contribuye con el 21%, es decir una quinta parte de las exportaciones mundiales y actualmente se ubica como el más dinámico, y de mantenerse la tendencia de crecimiento pasará a ser el primero (Pérez, 2004). Sin embargo, antes se debe de lograr una serie de factores por ejemplo: aumentar el rendimiento, aumentar calidad del producto, disminuir o mitigar riesgos, aprovechar la economía de escala, aumentar el nivel de tecnificación y eficiencia asociada, capacitar a técnicos, promover la cultura de producción orgánica, agregar valor al producto, etc.

Cuadro 11. Estimación de rendimiento, productividad y ganancias en tres sistemas de producción, considerando una hectárea periodo de un año

FACTOR	SISTEMA DE PRODUCCIÓN Y ENTIDAD FEDERATIVA			
	MAÍZ (PUEBLA)	JITOMATE (MORELOS)	JITOMATE (BAJA CALIFORNIA NORTE)	JITOMATE (MÉXICO)
SISTEMA	Campo abierto Temporal	Campo abierto Temporal	Acolchados, túneles bajos y fertigación	Invernadero e hidroponía
Costo de producción (pesos)	1 400	3 000	240 000	1 200 000
Producción (ton/ciclo)	2	20	60	130
Ciclos por año	1	1	2	4
Producción (ton/ha/año)	2	20	120	520
Precio medio (pesos/ton)	1 400	3 000	5 000	6 000
Ingreso bruto (pesos)	2 800	60 000	600 000	3 120 000
Productividad (pesos/peso)	2	2	2.5	2.6
Ganancia neta (pesos)	1 400	30 000	360 000	1 920 000
Factor de ganancia vs maíz	1	21.4	257	1 371
Factor de costo vs maíz	1	21.4	171	857
Riesgo de siniestralidad (%)	30	30	10	5
Efecto negativo sobre el medio	Medio	Alto	Alto	Bajo
Jornales ocupados	5	300	1 400	3 650
Empleos indirectos	Incipientes	Regulares	Altos	Muy altos
Divisas potenciales (dólares)	0	0	36 000	187 000

Fuente: Sánchez, 2004.

La mayoría de la superficie nacional (ubicada en el centro, norte y noroeste) que produce bajo tecnología de agricultura protegida, vende su producción al mercado norteamericano y canadiense, y sólo en situaciones de crisis de precios o cierre de la frontera, envía sus productos al mercado nacional. Sin embargo en el centro y sur de nuestro país, miles de pequeños productores, con superficies pequeñas, están ensayando la adopción de la tecnología de agricultura protegida, dirigiendo la producción a los mercados locales en complemento o en sustitución a la generada por los productores de campo abierto.

b) Generación de empleos

La tasa de ocupación en la agricultura protegida es más alta que en otros sistemas de producción, con la ventaja de que en la mayoría de los casos se trata de una ocupación permanente y no temporal. Como ejemplo, para el cultivo de hortalizas bajo invernadero, en promedio se requiere de 5 a 10 trabajadores por hectárea, en forma permanente y con trabajo todo el año. En el caso de la producción de flores de corte y producción de plantas ornamentales en maceta se necesitan entre 10 a 15 personas por hectárea, también en forma permanente. Lo anterior sin considerar los empleos indirectos o derivados, que pueden alcanzar cifras similares a las de los empleos directos (Bastida, 2006).

En cuanto al empleo de técnicos, un ingeniero agrónomo puede atender unas cinco hectáreas de invernaderos, si estas están juntas o unas tres hectáreas cuando se ubican en diferentes unidades de tamaño pequeño. En la agricultura protegida para una unidad comercial de 5 a 10 hectáreas de invernaderos se requieren de cuando menos tres técnicos; uno encargado del cultivo y la nutrición, otro de las plagas y enfermedades y uno más para la administración de la empresa.

c) Adaptación y generación de tecnología

La mayor parte de los invernaderos comerciales que se emplean en México son tecnologías con origen en países desarrollados como Holanda, España, Israel, Francia, Estados Unidos y Canadá, entre otros. Los invernaderos de tecnología española, francesa, israelita y mexicana, de acuerdo con los propios usuarios, son estructuras simples con cubiertas de plástico o mallas sombra, sin calefacción o con sistemas básicos de ésta, con control climático poco automatizado o sin automatización, sistemas de riego automatizado y cultivo en suelo o en hidroponía. Por el contrario, las estructuras de origen holandés o canadiense y de algunas empresas norteamericanas son más sofisticadas, con cubiertas de vidrio o doble plástico, control de clima y riego totalmente automatizados, sistemas de calefacción por agua caliente en tuberías radiantes o con calentadores de gas, dosificación de

CO₂, cultivos hidropónicos y diversos sistemas de ahorro de energía (Guantes, 2006; Steta, 2003).

El nivel tecnológico⁵ promedio estimado para los invernaderos del país es del 40%⁶. El tamaño, tecnología y equipamiento de los invernaderos en México es diverso. Se encuentran desde pequeños túneles e invernaderos rústicos sin equipos de apoyo, hasta modernos complejos agroindustriales completamente automatizados y computarizados. En su construcción participan todo tipo de empresas, desde constructores locales, hasta empresas internacionales, por que conviven todos los niveles de desarrollo tecnológico existentes en el mundo (Bastida, 2006).

d) La agricultura protegida y los pequeños productores

La presencia de la tecnología de agricultura protegida ha impactado en todos los sectores del país, incluyendo los pequeños productores agrícolas tradicionales, en permanente proceso de extinción y en búsqueda de formas de supervivencia.

En México hay alrededor de 2,064,527 de pequeños productores agrícolas, que enfrentan condiciones difíciles de agua, de fertilidad del suelo, de tamaño de predio, y de erráticas condiciones climáticas, que hacen poco probable el éxito bajo el modelo de agricultura extensiva. La agricultura protegida es una opción que vale la pena ensayar, pues potencia la participación de las actividades agropecuarias en el ingreso y/o la alimentación familiar. Así, un invernadero de 1000 m², cultivando jitomate, pepino, chiles o lechugas, en hidroponía, es tan productivo como una hectárea de agricultura mecanizada de riego con los mismos cultivos al aire libre.

Para aprovechar las ventajas de esta tecnología se requiere que el Estado establezca políticas públicas orientadas a brindar los apoyos y capacitación necesaria para desarrollar los sistemas de cultivo. Entre las medidas más importantes deben considerarse el financiamiento, la asistencia técnica, estrategias

⁵ Los dispositivos y equipos determinan el tipo de manejo, el cual puede ser manual, mecánico o automatizado. De esta manera se determinan tres niveles tecnológicos en la agricultura protegida bajo invernaderos, los cuales son: 1) Bajo o manual, 2) Medio o con sistemas mecánicos, 3) Alto o automatizado o computarizado.

⁶ Un invernadero con un nivel de tecnificación del 100 % incluye sistema de riego por goteo, recirculación de la solución nutritiva, ventilación automática, calefacción con agua caliente, pantallas térmicas para control de temperatura y luminosidad, hidroponía y cultivo en sustratos, así como sensores y control con computadora.

de proveedores calificados, transformación, comercialización y capacidad organizativa de las unidades productivas, además de la definición *de la escala mínima* de la explotación agrícola familiar como base de la operación de los otros factores.

En suma, la agricultura protegida representa una posibilidad para solucionar un problema de importancia nacional, para contribuir a disminuir el índice de pobreza y marginación del país.

e) La agricultura protegida y el uso eficiente del agua

Con los sistemas de riego de alta eficiencia que se implementan en la agricultura protegida se hace un uso mejor del agua⁷. En México, Muñoz (2003) señala que el consumo medio de agua para un cultivo de jitomate, aproximadamente es de 7000 a 8000 m³/ha en suelo y de unos 10,000 m³ en sustrato para un ciclo de cultivo de 270 días.

Se estima que actualmente la eficiencia en el uso del agua en cultivo de jitomate a campo abierto con sistemas eficientes es de 14 a 17 kg/m³, mientras que bajo invernadero sin calefacción la eficiencia es de 23 a 25 kg/m³ y se incrementa aún más en invernaderos con clima controlado hasta alcanzar 45 kg/m³, sin embargo, si se utilizan los sistemas de recirculación la eficiencia puede ser de 66 kg/m³. Es importante considerar que en algunos casos el uso de agua llega a 15,000 m³/ha.

El uso de sistemas avanzados de riego controlados por ordenadores y recirculación de soluciones, el consumo de agua para un cultivo de jitomate sería de 15 litros por kilogramo producido, es decir, un 20 % del consumo actual en campo abierto. Con sistemas de riego por goteo auto compensados y sustratos orgánicos a base de fibra de coco en contenedores con sistema abierto, se logra un 30% de ahorro de agua y nutrientes, obteniendo un rendimiento de 320 toneladas. Situación similar a obtener una relación de 22 litros de agua por kilogramo de jitomate producido. En el mismo sentido, al monitorear los factores asociados a sustrato, clima, nutrientes y planta

⁷ Para el análisis sobre precio del agua y rentabilidad empresarial en la horticultura se sugiere revisar Colino S., J. y Martínez P., J. M. 2002. Precio del agua y rentabilidad empresarial en la horticultura de la región de Murcia.

(sistema integrado de fertirrigación) podrían obtenerse hasta 450 toneladas por hectárea con una relación de 17.7 litros de agua por kilogramo producido (Bringas, 2006).

4.4 Tendencias y perspectivas

La problemática de la agricultura protegida presenta dos vertientes, los pequeños invernaderos para productores de bajos recurso apoyados por los programas de gobiernos y los empresarios agrícolas.

En el primer caso, entre los años 2001 y 2006 la SAGARPA y FIRCO apoyaron 3,197 proyectos de invernaderos en todo el país, con una inversión promedio de 2,934,000 de pesos por proyecto. Así mismo, entre 2002 y 2005, mediante el programa PAPIR, se apoyaron otros 1,300 proyectos con una inversión promedio de 141,300 de pesos por invernadero (SAGARPA, 2007).

Los resultados obtenidos de una evaluación de campo con una muestra de 1,252 proyectos apoyados, evidencian que aproximadamente el 60% de los productores apoyados habían fracasado, un 20% se mantenía con dificultad y sólo el 20% tuvo éxito. Las causas que originaron tal situación se resumen en: a) la falta de experiencia de los productores en cultivos bajo invernadero, b) tamaño de invernadero pequeño, se requiere que sea de 1,000 m² o mayor por productor, c) falta de: capacitación y asesoría técnica, conocimientos en cuanto al tipo o modelo de invernadero más apropiado a cada región y para un cultivo determinado, técnicos en agricultura protegida, información, divulgación y demostración sobre las técnicas de cultivo en invernadero, validación de paquetes tecnológicos por regiones y organización de productores para compra de insumos y comercialización (Bastida, 2006).

Problemas de la agricultura protegida, desde una visión empresarial

Steta (2003) señala que los empresarios han detectado que falta:

- Personal técnico capacitado tanto para el manejo y operación de los invernaderos, como para el manejo de los cultivos, el manejo postcosecha y la formación de empresas.
- Información y estudios para la ubicación de invernaderos y otras tecnologías en diferentes latitudes de México, así como sobre los diseños más apropiados y los equipos adecuados para cada condición climática, ya que existen problemas climáticos en lo que se refiere a extremos entre frío y calor, así como exceso de humedad relativa. También falta orientación sobre los cultivos a sembrar.
- Acercamiento de los servicios de asistencia técnica con el objeto de mejorar la producción. Para ello se requiere propiciar el establecimiento de centros de transferencia de tecnología.
- Planeación de proyectos sobre el tamaño apropiado de las empresas, ya que existen proyectos demasiado grandes o muy pequeños.
- Análisis sobre los problemas de plagas y enfermedades, con la nutrición de los cultivos y problemas con algunas variedades.
- Estudios financieros y de investigación sobre la comercialización de hortalizas en invernaderos orientadas al mercado nacional e internacional.
- Manejo postcosecha y comercialización, de elaboración del diagnóstico de cadenas productivas para definir la problemática que enfrentan, necesidades, acciones y estrategias, así mismo cadenas de frío, buena calidad de los materiales de empaque, logística de transporte terrestre y aéreo.
- Acuerdos con cadenas comerciales nacionales e internacionales, existe competencia con otros países exportadores de hortalizas y mayor cuidado en los aspectos sanitarios.

- Financiamiento y limitado apoyo gubernamental en infraestructura de carreteras y otras vías de comunicación, redes de gas natural, electricidad y agua. Es indispensable una visión de futuro o compromisos de largo plazo.
- Estándares y normatividad para la construcción de invernaderos.
- Difundir las normas de calidad, requisitos para la certificación y denominación de calidad de origen de productos hortícolas.
- Esquemas organizacionales apropiados, existen altos costos financieros de los insumos, gas y electricidad.
- Incentivar y aumentar la participación en la formulación de la legislación relativa a la industria hortícola.
- Orientar la obtención de créditos ante instituciones públicas y privadas con el objeto de mejorar la producción mediante adquisición de materias primas, equipos e insumos requeridos.
- Participar y organizar ferias y exposiciones regionales, estatales, nacionales e internacionales, propiciando el desarrollo de cursos y talleres con temas afines.
- Promover la realización de campañas de difusión a nivel nacional e internacional que incremente el consumo de hortalizas, promocionando la marca de origen.
- Disponibilidad de mano de obra en muchas regiones.
- Estrecha relación con los proveedores, con la calidad de insumos, semillas contaminadas, fertilizantes adecuados, resistencia de empaques, etc.

4.5. Alternativas de desarrollo

En las condiciones descritas anteriormente, el crédito y los apoyos estatales no contribuyen a impulsar la agricultura convencional y tradicional. Es necesario buscar alternativas en otro tipo de agricultura, con la aplicación de nuevas tecnologías que posibiliten obtener una mayor eficiencia y productividad de las actividades agrícolas (Sánchez, 2004).

Para salir adelante no basta, como se ha pretendido hacer en muchas ocasiones, la simple inyección de capital, se hace necesario ver a la agricultura desde otra perspectiva, hay que contextualizarla en los aspectos relacionados con los recursos físicos, ecológicos, económicos y sociales de nuestro país. Dentro de esta visión se pone de relieve la imperiosa necesidad de desarrollar e implementar nuevas técnicas de producción agrícola, más eficientes y productivas, así como desarrollar programas de capacitación y asesoría especializada, a los distintos grupos de productores, acorde con sus necesidades.

La problemática agrícola del país tiene un fuerte componente socioeconómico, como las limitantes que imponen predios pequeños, además de problemas naturales de suelo, agua y clima. No obstante, hay países con poca tierra cultivable como Holanda, Japón, Israel, España o China, que al igual que en México los productores agrícolas poseen predios muy pequeños y con climas más desfavorables que los nuestros, pero elevada productividad y un alto nivel de ingresos que permite estándares de vida mejores para la población rural; a partir del uso de tecnologías modernas tales como el acolchado de los suelos, la protección de cultivos con micro túneles e invernaderos, los sistemas de producción mediante fertirriego e hidroponía, entre otros.

En estos países, el estado orienta las políticas públicas hacia la enseñanza, investigación, validación y uso de tecnologías de producción intensivas, apropiadas a sus condiciones climáticas y socioeconómicas. Sus gobiernos promueven y facilitan las exportaciones mediante el menor número de trabas burocráticas y cuentan con la inversión de fuertes capitales, a fin de incrementar la productividad.

En este contexto, las ventajas de las tecnologías de la agricultura protegida para México son:

- 1) apropiadas para predios o parcelas pequeños, lo que implica hacer más intensiva la producción, con altos rendimientos por unidad de superficie y con cultivos de alto valor en el mercado.
- 2) Se basan en el uso productivo y permanente de mano de obra a fin de generar empleos bien remunerados y permanentes en el medio rural.
- 3) Se pueden realizar incluso donde las características de terrenos, suelos y el agua impongan restricciones para la agricultura convencional, a fin de poder extender la superficie de cultivo.
- 4) Permiten la producción de cultivos todo el año, con la seguridad de llegar a la cosecha a pesar de las bajas temperaturas o heladas, para aumentar la productividad anual.
- 5) Son factibles, accesibles y económicamente rentables para practicarse por los productores.

Para garantizar el éxito de estas tecnologías es necesario apoyarlas a partir de:

- 1) Investigación aplicada para adaptarla y validarla en diferentes localidades.
- 2) Capacitación y organización de productores para una agricultura más empresarial.
- 3) Formación de asesores calificados en las nuevas tecnologías y en la comercialización de productos,
- 4) Subsidio con créditos a muy bajas tasas de interés y compartiendo riesgos.
- 5) Apoyo a los productores con un sistema de información oportuna de compradores, mercados, oferta y demanda de productos, precios, etc.

- 6) Apoyo a la comercialización de los productos a través de una canalización a los mercados adecuados, sin intermediarios, 'coyotes' o especuladores y con el establecimiento de precios mínimos de compra, por señalar algunos.

La adopción y adaptación crítica de las nuevas tecnologías no pretende sustituir la agricultura convencional y extensiva, ni de cambiar la producción de granos y otros básicos, por hortalizas u otros cultivos de alto valor. Por el contrario, es necesario apoyar los sistemas agrícolas mediante políticas y estrategias para su optimización.

La propuesta es crecer con base en tecnología que permitan ampliar la superficie agrícola y el empleo remunerativo en el campo, así como hacer más productivo el esfuerzo de los agricultores y de sus familias, ya sea participando como empleados o dueños, solos u organizados en cooperativas, de una pequeña empresa que pueda crecer de acuerdo a sus propias posibilidades e inquietudes.

4.6 El jitomate de invernadero en México

Este análisis general se realizó para invernaderos de alta tecnología, aunque la mayoría de los casos, también aplica a los invernaderos de media y baja tecnología (FUMIAF, 2005:5).

- Sector altamente orientado a las exportaciones, principalmente a Estados Unidos, debido a las altas inversiones que implica.
- EE. UU. es el mercado en donde se pueden obtener mayores precios de retorno, principalmente durante la venta de invierno.
- Para competir en el mercado con Canadá y EE. UU. es necesario adaptarse a las exigencias de calidad, inocuidad y abastecimiento durante ciclos cada vez más largos, factores que se pueden controlar mejor en invernaderos.
- Los costos de producción juegan un papel importante en la rentabilidad de las operaciones y constituyen un reto en esta industria.

- Los invernaderos producen de 2 a 8 veces más que en el campo abierto, dependiendo del nivel tecnológico, el manejo y las condiciones climatológicas.
- La industria de invernaderos de México ha tenido un crecimiento mayor al 15% anual durante los últimos 7 años. Se considera que en el 2005 la superficie de invernaderos era de 3,000 has, y un 70% de la superficie está dedicada al cultivo de jitomates.
- Los principales competidores del sector de jitomates de invernadero son los productores de Canadá y de E. E. U. U.
- La producción de jitomate de invernadero de Norteamérica en el 2003 fue mayor a 500,000 ton, en contraste con volúmenes insignificantes a principios de los 90's.
- Canadá es el productor más grande de Norteamérica, con un estimado del 42% de la producción, seguido por EE. UU. con un 30% y México con un 28%.
- Para cubrir su demanda doméstica, EE. UU. importa de Canadá y México más de la mitad de su abastecimiento de jitomate de invernadero.
- México fue el último en entrar a la industria de jitomate de invernadero de Norteamérica pero ya tiene más superficie de producción que Canadá y E. E. U. U.
- Los rendimientos promedio de México son más bajos que los de EE. UU. y Canadá debido a que los productores utilizan una gran variedad de tecnología de producción.
- Las principales fortalezas de México son las condiciones climatológicas que permiten producir durante el invierno y el potencial de ser proveedor todo el año.

Retos y oportunidades del sector

- Mejorar los rendimientos por kilo producido.
- Minimizar los costos de producción por kilo producido.
- Proveer abastecimiento durante todo el año con alta calidad y continuidad.

- Mejorar la imagen como proveedores de productos frescos en el mercado internacional.
- Convertirse en productores orientados a los requerimientos del mercado.
- Fortalecer y promover la organización, intercambio de información, convenios y alianzas estratégicas en el sector (productores, comercializadoras, proveedores, gobiernos, instituciones financieras, institutos de investigación y organizaciones de productores).
- Mejorar la competitividad del sector y proveer a los mercados de forma ordenada.
- Desarrollar una red de proveedores nacionales de invernadero (infraestructura, equipos, insumos, servicios a la industria de invernaderos, etc.) que disminuyan los niveles de inversión y ayuden a detectar los paquetes tecnológicos ideales para cada región productiva.
- Desarrollar fuentes de financiamiento nacionales que hagan accesible la adquisición de invernaderos, equipos y servicios especializados.
- Descubrir nichos de mercado de alta calidad en México para los productos de invernadero.
- Europa tiene una producción per cápita de hortalizas de invernadero 12 veces mayor que Norteamérica, con un consumo similar, la producción puede aumentar un 1,200%.
- El poder adquisitivo de estas dos regiones (excluyendo a México y a España) es similar.

Inversiones y fuentes de financiamiento en invernaderos de jitomate de alta tecnología.

- La inversión en 5 Has de invernadero de jitomate con alta tecnología es aproximada a \$100 USD/m².

- Los paquetes tecnológicos de invernadero deben seleccionarse de acuerdo a las exigencias del mercado, el cultivo, las condiciones climatológicas de la región y el capital disponible.
- En proyectos de jitomate de invernadero de alta tecnología se requiere una superficie mínima de 5 has para diluir las inversiones, generar economías de escala y consolidar volúmenes para el mercado de exportación, pero se recomienda un crecimiento a 10 has a partir del sexto año de operación para maximizar estos beneficios.

En México existen créditos de fomento a las exportaciones de tecnología de los países proveedores para el financiamiento de invernaderos y sus equipos, otorgados por instituciones financieras europeas, de EE. UU. o Canadá. Estos créditos los tramita normalmente el proveedor de los invernaderos y pueden cubrir hasta un 85% de la inversión en invernaderos, a tasas de interés aproximada del 6% anual. Los proveedores de invernaderos normalmente cuentan con soporte de crédito de apoyo a las exportaciones de sus países de origen, como la línea de crédito Exim Bank en EE. UU. o sus similares en Francia o España (crédito Rey), y son estos créditos los que presentan intereses más bajos y condiciones crediticias más accesibles para los inversionistas. El crédito principal y los intereses que éste genera normalmente son liquidados en amortizaciones semestrales o anuales a 5 años. Con este tipo de crédito, el retorno a la inversión en invernaderos de jitomate con alta tecnología en México puede ser de 6 años.

Para el capital de trabajo en invernaderos, las operaciones pueden solicitar a la banca de desarrollo un crédito de avío revolvente anual. Este crédito puede solicitarse cada año al iniciar el ciclo agrícola y liquidarse en su totalidad al finalizar el mismo. Para la creación de infraestructura en nuevos proyectos de invernadero, tal como obras de construcción, nivelación de tierras, perforación de pozos, embalse, bodegas de selección y empaque, cuartos fríos, oficinas y gastos pre-operativos del proyecto, la empresa puede solicitar apoyos existentes en los tres niveles de gobierno. Los programas y dependencias que otorgan este tipo de apoyos pueden ser, entre otros, FOMAGRO, FIRCO, ASERCA, programa de apoyo para la pequeña

y mediana empresa de la Secretaría de Economía, programas estatales de fomento agrícola, apoyo de los municipios para el desarrollo de infraestructura básica requerida, electricidad, drenajes aledaños al predio, terracerías, nivelación y movimientos de tierra, etc.

Los apoyos no deben considerarse a fondo perdido, ya que normalmente deben liquidarse el quinto año de operación de los invernaderos, pero no suman tasas de interés.

Análisis financiero de jitomate bola y racimo de invernadero con alta tecnología.

- En invernaderos de jitomate con alta tecnología, en el cuarto ciclo de operación se pueden obtener rendimientos aproximados de 50 Kg/m² en jitomate en racimo y 55 Kg/m² en jitomate bola.
- En 5 has de invernadero, en el cuarto ciclo se tienen costos de operación aproximados de \$51 USD/m² en jitomate bola y \$55 USD/m² en jitomate en racimo.
- En dicho ciclo, se obtienen márgenes sobre ventas (utilidad bruta) aproximados del 32% en jitomate bola y del 34% en jitomate en racimo.
- El jitomate en racimo obtiene mayores precios de retorno en el mercado de exportación, pero implica mayor dificultad en su producción y comercialización.
- Con un crédito al 85% de los invernaderos (a 5 años con tasas del 6% anual) y un crédito de avío para el capital de trabajo (revolvente anual con tasas del 9%) el jitomate en racimo obtiene un margen de utilidad neta del 21% y el jitomate bola del 17%, durante el 4° ciclo.
- Se toma en consideración un factor de productividad promedio del 95% (merma del 5%) y un promedio de primeras del 85% en jitomate bola y del 78% en racimo.
- La tasa interna de retorno (TIR) promedio anual en seis años es del 18%.
- El retorno a la inversión es de 6 años (el cuarto ciclo se considera la madurez del proyecto).

Recomendaciones y estrategias para proyectos de invernadero

- Detectar una oportunidad de mercado y asegurar la comercialización son los factores más importantes para el éxito de un proyecto de invernadero.
- La planeación del proyecto es esencial para su éxito. La improvisación es causa de fracaso.
- La producción en invernaderos es costosa, se debe recurrir a proveedores locales o nacionales siempre que es posible y deseable.
- Las condiciones climatológicas, el cultivo y las exigencias del mercado determinan el paquete tecnológico que se debe adoptar. Estos factores determinan los costos de operación.
- La disponibilidad y calidad del agua de riego es el primer factor en la elección de un predio.
- En invernaderos de jitomate de alta tecnología se requiere una superficie mínima de 5 has para diluir inversiones, generar economías de escala y consolidar volúmenes para la exportación.
- Todos los nuevos proyectos de invernadero tienen una curva de aprendizaje (de 2 a 3 años) a partir de la cual los rendimientos y calidad mejoran.
- Los mayores costos de operación son: calefacción, mano de obra, empaque y amortizaciones.
- Las condiciones climatológicas deben ser cercanas a las ideales para minimizar los costos.
- La mano de obra se debe eficientizar con capacitación y la curva de aprendizaje se debe reducir con asesorías técnicas especializadas.
- El mercado internacional exige alta calidad, seguridad alimentaria y continuidad en el abasto.

- Un invernadero requiere aportaciones de capital por un mínimo del 33% de la inversión total.
- Los invernaderos necesitan prolongar los ciclos de producción para contrarrestar mayores costos de operación con mayores rendimientos.
- Llegar directamente al cliente detallista para maximizar los retornos.
- Un proyecto nuevo debe ser planeado contemplando su máximo crecimiento posible. Se debe invertir (cuando es posible) en la infraestructura necesaria para dicho crecimiento.
- El jitomate de invernadero tiende a una estabilización de precios mayor que el de cielo abierto.
- Producir una masa crítica con altos rendimientos y calidad, derivados de la alta tecnología.
- Comercializar la mayor parte de la producción en el mercado estadounidense, principalmente en la venta de invierno en la cual se obtienen mayores precios de retorno.
- Exportar la producción a través de una comercializadora con experiencia en productos de invernadero para lograr la distinción y posicionamiento de los productos en el mercado de E. E. U. U.
- Optimización de insumos por medio de la automatización.
- Utilizar normas de inocuidad para acceder a una certificación internacional de calidad.
- Financiamiento a 5 años por el 85% de la inversión de los invernaderos y sus equipos, a través de una institución financiera extranjera (con tasas aproximadas del 7% anual).

- Crédito de avío revolvente anual para el capital de trabajo, a través de la banca de desarrollo.

Debido a ello, es necesario tener conocimiento sobre las repercusiones y polos de desarrollo que puede crear este tipo de agronegocios en el campo mexicano (ver cuadro 12).

Cuadro 12. Análisis FODA del sector de jitomates de invernadero de México

Fortalezas	Debilidades
<ul style="list-style-type: none"> • Bajos costos de mano de obra • Clima propicio para producir durante el invierno • Producción durante los periodos de precios altos en México (en verano), y el extranjero (en invierno). • Muchas regiones adecuadas para la producción de hortalizas • Crecimiento continuo del sector. • Capital disponible para el crecimiento (por medio de financiamientos extranjeros) 	<ul style="list-style-type: none"> • Largas distancias a algunos de los mercados importantes del noreste de E. U. U. • Infraestructura pobre y costosa (carreteras, servicios públicos, energía, gas, etc. • Poca eficiencia de mano de obra, falta capacitación. • Falta de gerentes de producción experimentados en invernaderos. • Falta de programas de entrenamiento para la producción en invernaderos. • Falta de organización en la cadena de abasto.
Oportunidades	Amenazas
<ul style="list-style-type: none"> • Producción de 12 meses en muchas regiones del país. • Alianza con algunas de las principales comercializadoras de Norteamérica. • Nuevos sistemas de transportación para bajar costos y disminuir tiempos de embarque a Estados Unidos. • Crecimiento enfocado a convertirse en el sector de invernaderos líder en Norteamérica. 	<ul style="list-style-type: none"> • Enfermedades y plagas debido a condiciones climatológicas externas. • Crecimiento de las grandes compañías productoras de jitomate de invernadero en Canadá y E. E. U. U. • Acciones de comercio por parte de los productores de EE. UU. (de invernadero y de campo abierto) • Consolidación de los grandes compradores detallistas en el mercado.

Fuente: FUMIAF, 2005.

CAPÍTULO V. CONSTRUCCIÓN Y ANÁLISIS DEL MODELO DE OPCIONES

En el presente capítulo, se describen los principales resultados y métodos numéricos utilizados en la valorización de opciones, desde los métodos tradicionales hasta los algoritmos que utilizan la simulación de Monte Carlo; combinada con los árboles de decisión binomiales.

5.1 Estructura económica y financiera del proyecto de jitomate de invernadero

El objetivo de un estudio financiero, además de elaborar los diferentes presupuestos y estados financieros, es aportar la estrategia que permita al proyecto allegarse a los recursos necesarios para su implantación y contar con la liquidez y solvencia para desarrollar ininterrumpidamente operaciones productivas comerciales. También aporta la información necesaria para estimar la rentabilidad de los recursos que se utilizarán (Baca, 2001).

Características generales del proyecto

Tecnología:

Estructuras elevadas de metal con cubierta de plástico, doble cubierta de ventilación con mosquitero, sistema de calefacción, sistema de distribución de dióxido de carbono, sistema automatizado de control de temperatura y cubierta reguladora de energía/sombreado.

Superficie:

Terreno total de 14 ha. y 10 ha. dedicadas a la producción de jitomate de invernadero.

Inversión Física por ha:

1,018,400.00 USD

Activo total: 10,184,000.00 usd

Financiamiento: 6,130,710 USD. Maquinaria y equipo financiado a través del proveedor por medio de un seguro de crédito otorgado por un banco. Condiciones:

plazo: 5 años, interés incluyendo seguro y comisiones del 5% anual, el primer pago de interés y capital a 6 meses después de la última entrega de los materiales y equipo.

Inversión total inicial

Comprende la adquisición de los activos fijos y diferidos para iniciar la producción de jitomate de invernadero, así como los gastos preoperatorios (ver cuadro 13).

Cuadro 13. Inversión inicial

CONCEPTO	CANTIDAD	PORCENTAJE
ACTIVO:		
CIRCULANTE		11%
FLUJO DE RECURSOS	-	0.0%
CAJA, BANCOS E INVERSIONES	12,001,440.00	10.7%
CUENTAS POR COBRAR	-	0.0%
INVENTARIOS	-	0.0%
FIJO		87.7%
TERRENOS	6,160,000.00	5.5%
CONSTRUCCIONES E INSTALACIONES	6,556,000.00	5.9%
MAQUINARIA Y EQUIPOS	77,325,600.00	69.0%
EQUIPO DE TRANSPORTE	528,000.00	0.5%
OTROS ACTIVOS FIJOS	7,658,200.00	6.8%
DIFERIDO		1.6%
GASTOS PREOPERATIVOS	1,795,002.00	1.6%
TOTAL ACTIVO	<u>\$ 112,024,242.00</u>	100%

Fuente: Elaboración propia.

El activo circulante representa el 10.7%, el fijo el 87.7% y la inversión diferida en 1.6%.

Inversión y fuentes de financiamiento

La inversión del proyecto por cuenta de los inversionistas del proyecto es del 19.2%, mientras que el 80.8% proviene de financiamiento, del cual se puede establecer que FOCIR aporta el 12.9% y el 67.9% de fuentes diversas (ver cuadro 14).

Cuadro 14. Inversión y fuentes de financiamiento

CONCEPTO	INVERSION		FUENTE DE RECURSOS		
	<i>TOTAL</i>	<i>PROPIOS</i>	<i>FOCIR</i>	<i>OTRAS</i>	<i>TOTAL</i>
<i>Terreno</i>	6,160,000	6,160,000	0	0	6,160,000

<i>Construcciones e Instalaciones</i>	6,556,000	6,556,000	0	0	6,556,000
<i>Maquinaria y Equipo</i>	77,325,600	0	15,605,251	67,437,810	83,043,061
<i>Equipo de Transporte</i>	528,000	528,000	0	0	528,000
<i>Otros activos fijos</i>	7,658,200	7,658,200	0	0	7,658,200
<i>Gastos preoperativos</i>	1,795,002	1,795,002	0	0	1,795,002
<i>Otros activos diferidos</i>	0	0	0	0	0
SUBTOTAL:	100,022,802	22,697,202	15,605,251	67,437,810	105,740,263
CAPITAL DE TRABAJO	12,001,440	0	0	12,001,440	12,001,440
TOTAL:	112,024,242	22,697,202	15,605,251	79,439,250	117,741,703

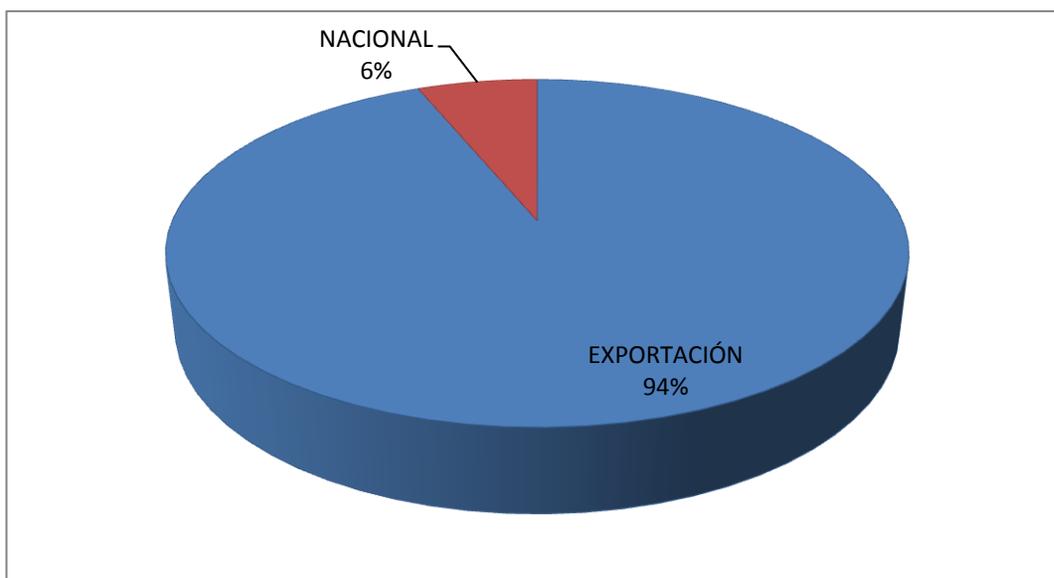
Fuente: Elaboración propia.

A través de ello se demuestra que la empresa trabajará los primeros 5 años con el capital de diversas fuentes. El apalancamiento de total de pasivos con el total de activos es del 37.7%.

Estructura de ventas

El mercado principal de venta del jitomate de invernadero es de exportación ubicándose en la California, Estado Unidos representando el 93.6%, mientras que la venta en el mercado doméstico es en la central de abastos del Distrito Federal dirigiéndose el 6.4% del total de la producción (ver figura 6).

Figura 6. Mercado del jitomate de invernadero

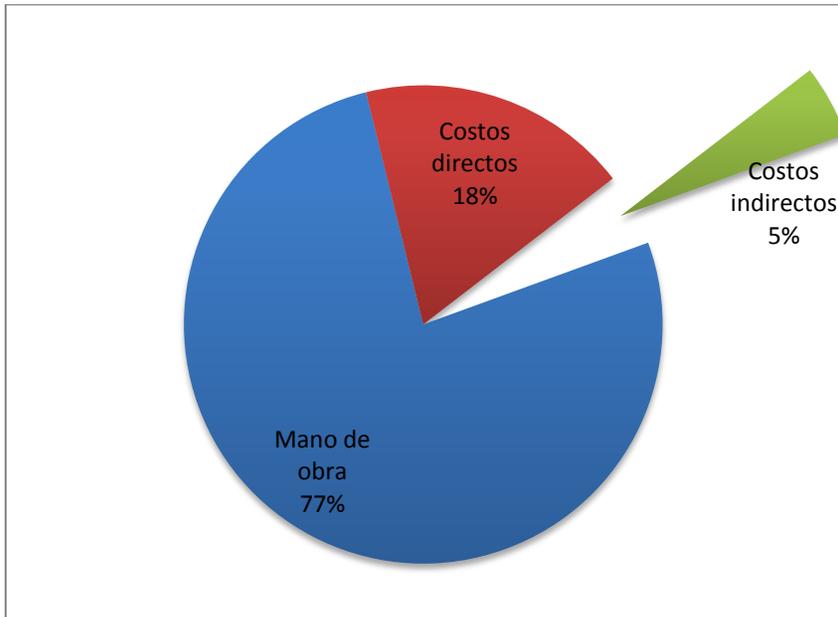


Fuente: Elaboración propia.

Estructura de los costos de producción

Los costos de producción contemplan la mano de obra, los costos directos e indirectos (ver figura 7).

Figura 7. Costos de producción



Fuente: Elaboración propia.

Los costos directos reflejan el 18.4% (embalaje de la exportación de materiales, materiales de embalaje de mantenimiento local, mantenimiento del invernadero, los fertilizantes, productos químicos, gas), los gastos en mano de obra un 76.7% y los costos indirectos con el 4.9% (combustibles y aceites, equipo de mantenimiento, transporte de mantenimiento, herramientas, electricidad, personal de transporte, uniformes, seguros y garantías, gastos de viaje, impuestos, material de oficina, teléfono y correo, fletes, análisis de suelos, los clips y las cuerdas, peajes pagados, multas y derechos adicionales, suscripciones, alquileres, honorarios de los consultores técnicos, etiqueta verde, otros gastos). El total de los costos anuales es de \$7,061,387.

5.2 Análisis de la incertidumbre

Con el fin de encontrar la volatilidad del proyecto, se analizaron por separado todas y cada una de las incertidumbres de las variables que afectan al proyecto.

Las variables de incertidumbre consideradas son:

1. Precio de venta del jitomate en el mercado de Estados Unidos
2. Precio de venta del jitomate en el mercado doméstico
3. Costos de producción

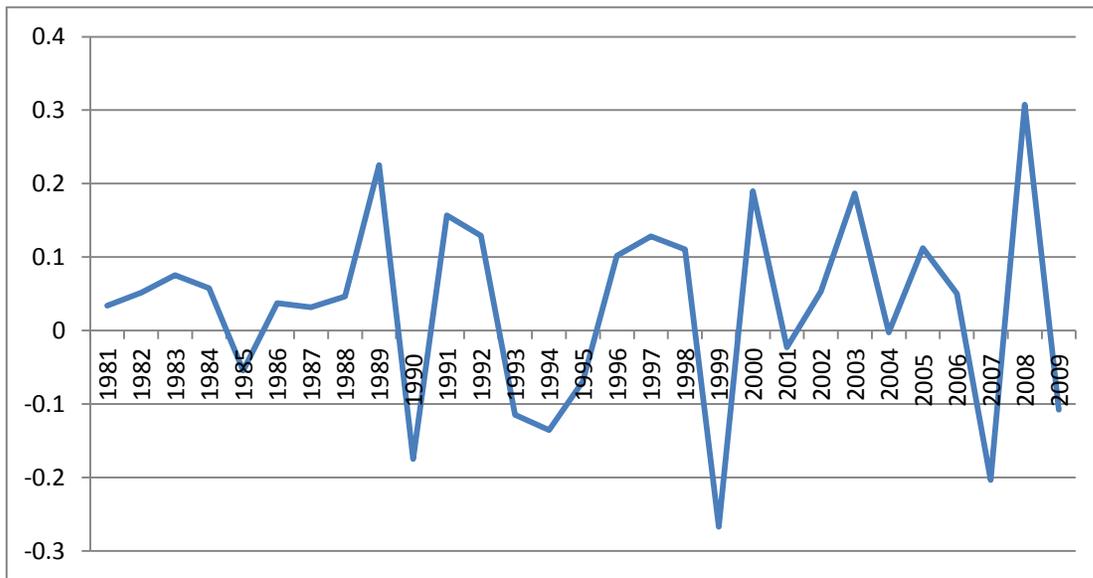
Precios del jitomate de exportación

Las tasas de crecimiento del precio de venta del jitomate en el mercado internacional muestran 3 etapas, las cuales se pueden desagregar de la siguiente manera (ver figura 8):

1. Del año 1981 a 1989 el precio del jitomate mostró un crecimiento de 6.6%
2. De 1990 a 1999 la tasa crecimiento fue negativa con un -1.1% debido principalmente al crecimiento de la producción doméstica de Estados Unidos.
3. Del 2000 al 2009 aunque la tendencia prácticamente es oscilatoria crece durante el periodo un 4.7%.

La tendencia para el periodo analizado refleja que prácticamente el precio se ha estabilizado, con un ligero incremento de 0.9%.

Figura 8. Tasa de crecimiento del precio de jitomate en EE. UU. 1980-2010



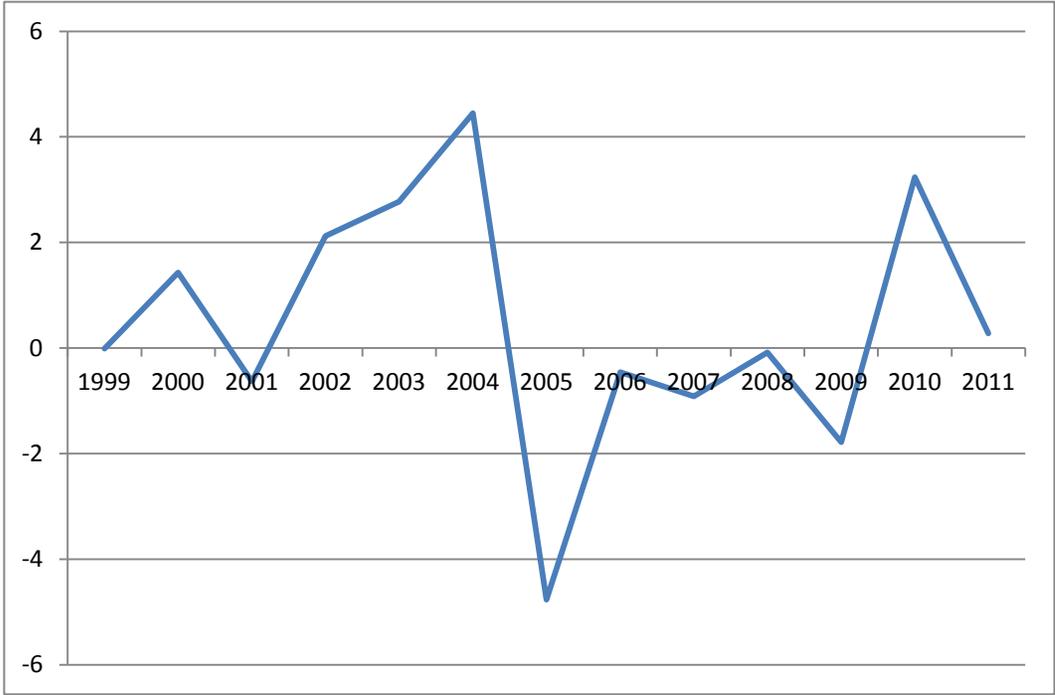
Fuente: Elaboración propia con datos de USDA, National Agricultural Statistics Service, Agricultural Prices.

Los precios del jitomate de exportación mostraron una volatilidad de 14.75%, una desviación típica de 5.51 y una media de 37.34 (ver figura 8).

Precios del jitomate del mercado doméstico

Los precios de venta del jitomate se consideraron los ejercidos en la central de abasto de Iztapalapa del D. F., debido a que corresponden de manera general a lo comparado a nivel nacional. Mostró una volatilidad de 41.8% debido a la complejidad de la estructura de precios, un ejemplo claro es que en el periodo de 1999 a 2011 existen precios mínimos de \$4.2 por kilogramo y precios máximos de \$33.7 (ver figura 9).

Figura 9. Tasa de crecimiento del precio de jitomate en pesos por kg del D. F. 1999-2011.

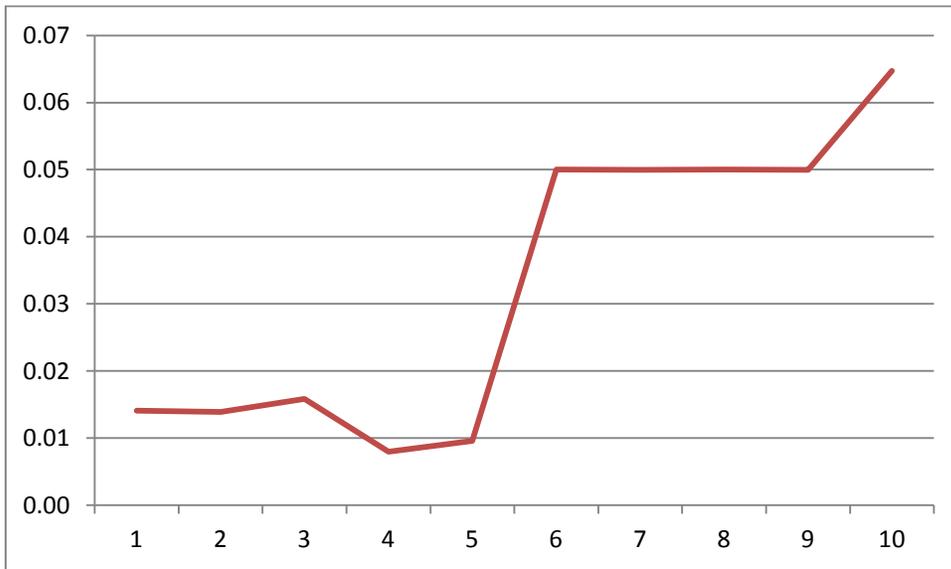


Fuente: Elaboración propia, con datos del Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados (SNIIM).

Costos de producción

La tasa de crecimiento promedio reflejada en el periodo es de 0.03%, sin embargo la volatilidad de los costos de producción es de 10.9%, siendo uno de los factores relevantes para el análisis de incertidumbre del proyecto (ver figura 10).

Figura 10. Comportamiento de la tasa de crecimiento de los costos de producción



Fuente: Elaboración propia

5.3 Análisis de sensibilidad

En el análisis de sensibilidad se pueden considerar una sola o más variables, en este caso, se consideró a las tres mencionadas anteriormente. Con el método de escenarios se tiene la posibilidad de considerar el efecto combinado de un número reducido de variables y en limitadas combinaciones. Sin embargo, el método Monte Carlo, renovado con aplicación del software @ RISK que mediante el entorno de las hojas de cálculo del Excel permite la modelización del riesgo en todos sus aspectos, eliminando así este inconveniente dentro de los siguientes pasos básicos del método:

1. Definir la incertidumbre: se reemplazó los valores inciertos de la hoja de cálculo por distribuciones de probabilidad de @RISK. Estas funciones representan una serie de posibles valores en lugar de limitarse a un solo valor.
2. Selección de los objetivos: los inputs y output con sus respectivas medias y desviaciones.
3. Simulación: se calculó el modelo de la hoja de cálculo con 10,000 iteraciones. En cada simulación, toma muestras de valores aleatorios de las funciones de @RISK que se introdujeron.

A través de esta técnica, se asigna un comportamiento aleatorio a cada variable de entrada (ver figura 11) del modelo sobre la que no exista certidumbre en su realización a través de definir que cada entrada tiene asociado una distribución de frecuencia determinada, como la distribución normal, donde es más probable que el valor realizado se encuentre cerca de la media teniendo en cuenta un cierto desvío.

Figura 11. Comportamiento aleatorio de las variables de entrada del modelo

Rank for EDOS. FINANCIEROS	Name	Distribution
#1	PRECIO EXPORTACIÓN / \$/UN.	RiskNormal(37.34, 5.509627937, RiskName("PRECIO EXPORTACIÓN / \$/UN."))
#2	PRECIO NACIONAL / \$/UN.	RiskNormal(11.7458321, 4.91109419, RiskName("PRECIO NACIONAL / \$/UN."))
#3	COSTOS DE PRODUCCION	RiskNormal(6083365.54, 664807.0816, RiskName("COSTOS DE PRODUCCION"))

Fuente: Elaboración propia con el software @RISK

Así, independientemente de cuantas variables sean, y con las correlaciones necesarias, esta inyección de incertidumbre el @RISK generará realizaciones para cada variable aleatoria de entrada, proveyendo de incertidumbre a la variable aleatoria de salida, determinando un rango de variación posible (el intervalo mencionado previamente) para la salida, en este caso la TIR.

Posteriormente, se procedió a la simulación (ver figura 12) que consiste en generar escenarios para la variable de salida a partir de las potenciales realizaciones conjuntas de las variables de entrada (a través de una generación de números aleatorios) y dado esos valores de entrada se calcula la valuación, obteniéndose un valor consecuente con los valores generados.

Figura 12. Simulación de valores aleatorios de las funciones de @RISK

	Name	Minimum	Mean	Maximum	p1
Output 1	TIR A 10 AÑOS	-9.860472E-04	0.5930854	1.268145	95%
Input 1	PRECIO EXPORTACIÓN / \$/UN.	14.37094	37.33995	60.16443	95%
Input 2	PRECIO NACIONAL / \$/UN.	-6.54596	11.74639	35.26931	95%
Input 3	COSTOS DE PRODUCCION	3282735	6083346	8759196	95%

Fuente: Elaboración propia con el software @RISK

La estadística descriptiva para la variable de la TIR (ver figura 13), se encuentra expresado de la siguiente manera:

Figura 13. Resumen estadístico

Name	TIR A 10 AÑOS
Description	Output
Cell	EDOS. FINANCIEROS
Minimum	-9.860472E-04
Maximum	1.268145
Mean	0.5930854
Std Deviation	0.1643083
Variance	2.699721E-02
Skewness	4.652387E-03
Kurtosis	2.980799
Errors Calculated	1
Mode	0.5783587
95% Perc	0.3230022
90% Perc	0.3819465
85% Perc	0.4229943
80% Perc	0.4549604
75% Perc	0.4833263
70% Perc	0.5066544
65% Perc	0.5290323
60% Perc	0.5513574
55% Perc	0.5724835
50% Perc	0.5926148
45% Perc	0.6140689
40% Perc	0.6352863
35% Perc	0.656803
30% Perc	0.6790621
25% Perc	0.7031596
20% Perc	0.7314845
15% Perc	0.7645605
10% Perc	0.8047628
5% Perc	0.863985

Fuente: Elaboración propia con el software @RISK

Donde se observa el mínimo y máximo de la variable de output, el valor más probable, su desviación estándar y un intervalo de confianza de un 95% de exactitud, permite capturar el verdadero valor del estimador que se busca (definido entre -0.00098 y 1.2681). De esta manera, con la herramienta de la simulación se genero un intervalo de posibles valores, con máximo y mínimo estadístico para los posibles valores del proyecto, estando relativamente seguros de los posibles valores que puede adoptar el proyecto. Se contó con 10,000 resultados para cada una de las variables de output, lo cual permite enriquecer el análisis del proyecto. El análisis debe complementarse con un análisis de sensibilidad a partir de las correlaciones (ver figura 14).

Figura 14. Correlación entre variables input - output

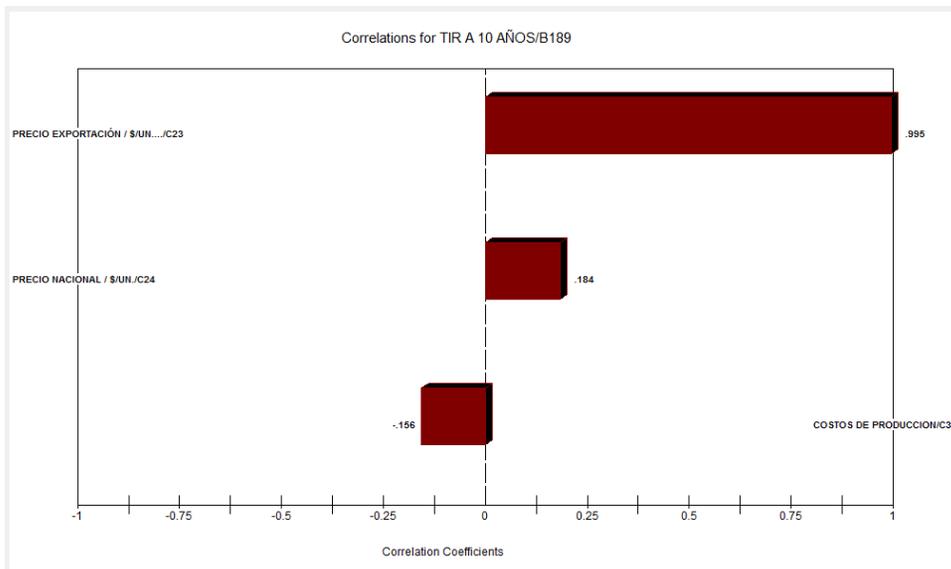
Rank for EDOS. FINANCIERAS	Name	B189 / TIR A 10 AÑOS Regression	B189 / TIR A 10 AÑOS Correlation
#1	PRECIO EXPORTACIÓN / \$/UN.	0.984	+0.995
#2	PRECIO NACIONAL / \$/UN.	0.097	+0.184
#3	COSTOS DE PRODUCCION	0	-0.156

Fuente: Elaboración propia con el software @RISK

Se basa en el hecho que la variable de output y las variables de input tienen una variabilidad asociada, entonces mide con que variable de inputs se muestra más correlacionada la variable output, tanto positivamente como negativamente.

La figura 15 se denomina “tornado” por su forma, y permite ver cuáles son las variables de input que más inciden en la variable de salida. El objetivo por un lado es verificar que la incertidumbre inyectada es razonable, caso contrario, se revisan los comportamientos de las variables de input; por otro lado permite hacer análisis y gestión del riesgo del proyecto, ya que se buscará cobertura o seguros para aquellas variables que más inciden en la variabilidad del proyecto.

Figura 15. Vista de la correlación entre variables de entrada y salida



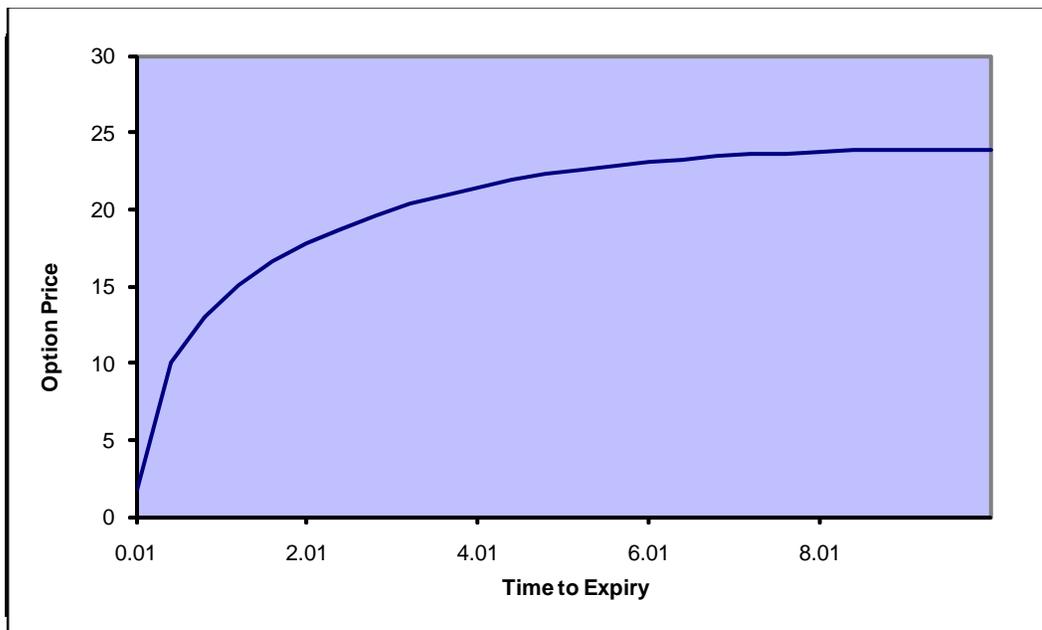
Fuente: Elaboración propia con el software @RISK

Se deduce que la variable con mayor impacto en la variabilidad (y por ende en el riesgo de realización) del valor del proyecto es el precio de venta en el mercado de

Estados Unidos, que por ser positiva implica que valores altos en la realización de esta entrada impacten positivamente en el valor del proyecto. Con esta información sobre asociación de variables y causales de riesgo, se puede hacer una adecuada gestión del riesgo del proyecto a través de disminuir el rango de variación de dicha variable de entrada, a través de mecanismos de transferencia del riesgo. En la evaluación de inversiones en activos reales o financieros se realizan con valores esperados. Reconocer que los mismos son producto de variables aleatorias implica incorporar una dimensión completamente nueva de análisis a la evaluación de una inversión. La simulación corre con la ventaja de poder incorporar muchas variables aleatorias al mismo tiempo, expresando la incertidumbre en la variable de salida u objeto de análisis.

En la visión tradicional un alto nivel de incertidumbre conduce a reducir el valor de los activos. El enfoque de las opciones reales muestra que un incremento de la incertidumbre puede conducir a un alto valor de los activos si los directivos identifican y usan sus opciones para responder flexiblemente a los eventos que se desarrollan. La Figura 16 ilustra los cambios importantes en el enfoque de las opciones reales: la incertidumbre crea oportunidades.

Figura 16. La incertidumbre incrementa el valor de la inversión



Fuente: Elaboración propia con el software DerivaGem

Cuando una decisión futura depende del origen de la incertidumbre, los directivos se preocupan acerca del rango de posibles resultados que la variable de la incertidumbre puede tener cuando llega la fecha de la decisión. Por lo que la clave del problema radica en la alienación entre el tiempo y la incertidumbre.

Efectivamente, la oportunidad de invertir dependerá probablemente de más variables que el VAN o la TIR del proyecto. Se considera que los tres factores más relevantes que influyen en la oportunidad de invertir son:

1. El período de tiempo el cual se puede decidir llevar a cabo un proyecto de inversión. Cuanto mayor sea éste, menor será la posibilidad de cometer errores en la elección, y también será el valor de la opción de crecimiento que le corresponda.
2. El riesgo del proyecto es un factor de influencia positiva sobre la opción de crecimiento. Ello es debido a que un mayor riesgo involucra una mayor rentabilidad.
3. Los tipos de interés. Tipos elevados disminuyen el valor de la opción porque conllevan tasas de actualización más altas que, a su vez, disminuyen el valor de los flujos descontados.

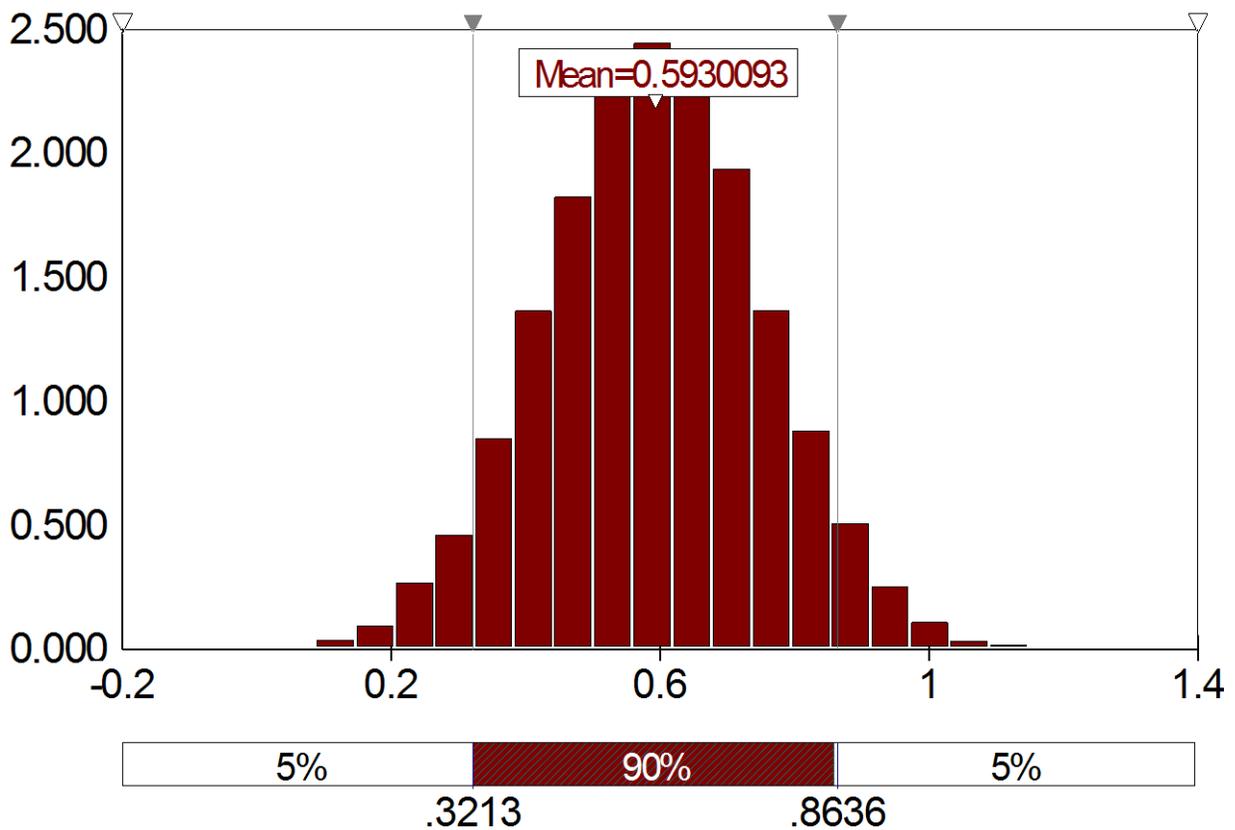
5.4 Volatilidad de los factores de incertidumbre

Una vez analizadas las incertidumbres del proyecto e introducidas en el modelo se procede a aplicar la fórmula:

$$z = \ln \frac{PV_1 + FCF_1}{PV_0}$$

Descrita anteriormente, obteniendo una volatilidad media para 10,000 iteraciones de $\sigma = 27.8\%$. La distribución de los rendimientos se puede observar en la figura 17.

Figura 17. Distribución del rendimiento esperado de la TIR a 10 años



Fuente: Elaboración propia con el software @RISK.

La simulación arroja el resultado de que la probabilidad que la TIR sea mayor a 32.1% durante la vida útil del proyecto es superior al 95%.

5.5 Los árboles de decisión binomiales

Para realizar el ejercicio binomial se auxilia del software DerivaGem. Es necesario hacer mención de que dicho programa se basa en los parámetros y fórmulas mencionadas.

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 15 muestra la equivalencia conceptual entre los parámetros necesarios para el cálculo del valor de una opción put, aplicado a las opciones reales.

Cuadro 15. Equivalencia entre opciones financieras y opciones reales

OPCIÓN FINANCIERA	VARIABLE	PROYECTO DE INVERSIÓN/OPCIÓN REAL
Precio de ejercicio	<i>k</i>	Costos de recuperación o salida del proyecto
Precio de la acción	<i>s</i>	Valor presente del flujo de efectivo futuro del proyecto
Tiempo de expiración de la acción	<i>t</i>	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	<i>r</i>	Tasa libre de riesgo (tasa de descuento)

Fuente: Branch, 2003

Las oportunidades de recuperar el capital invertido se asemejan a una opción de venta (*put*), 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 está dado en ambos casos por la tasa libre de riesgo (***r***).

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 barrera en contra de una situación

adversa. La venta de un proyecto compensa 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. Estas 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 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 lo 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, entiéndase que debido a la incertidumbre que existe en el mercado (precio de venta del jitomate en el mercado internacional, precio de venta doméstico y costos de producción) la situación que pueda ocurrir como decremento en los precios de venta e incremento en los costos de producción pueden ser éxitos o fracasos y, la gerencia del proyecto decidirá crear una opción de abandono

estratégica que le permita revisar el progreso de la inversión, y decidir si conviene continuarla o darla por terminada.

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 el proyecto de opciones reales para 10 años es valorado usando 10 intervalos, el tamaño de cada intervalo (δt) será equivalente a 1 año; por otro lado, si se utilizan 120 intervalos, entonces (δt) será igual a 1 mes.

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 10 nodos para resolver este problema, se tendrá una dimensión por nodo (δt) de 1 año (período de expiración de 10 años dividido por 10).

Parámetros para el desarrollo del árbol de decisión binomial

Para construir el modelo que sirve para evaluar la opción real, se utilizan cinco variables: tiempo de duración de la opción, tasa libre de riesgo, valor presente de los flujos del proyecto, valor de la inversión garantizado de salida y volatilidad de éstos; adicionalmente, se utilizan los datos conocidos.

1. Determinación del tiempo de duración de la opción (t)

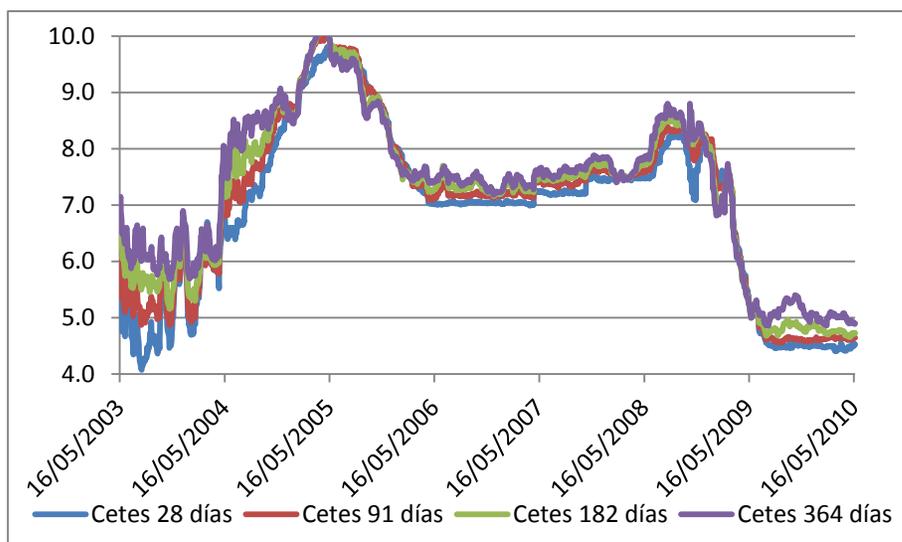
En estricto sentido de la teoría de opciones reales, el tiempo de duración de la opción es aquél durante el cual se estima que tienen duración la ventaja que proporciona el tener derechos exclusivos sobre la explotación de un bien, en este caso, la compra de contratos de coberturas en la producción de jitomate bajo condiciones de invernadero. Para la opción que se evalúa el tiempo de duración es de 10 años. Debido a que contempla la etapa de aprendizaje del agronegocio, además es el periodo en el cual el inversionista recupera su capital y se puede determinar si el negocio es exitoso o quebró.

2. Determinación de la tasa de interés libre de riesgo (i)

Se utilizaron los datos históricos de la tasa anualizada de CETES a 28 días⁸, por ser la tasa libre de riesgo más representativa del mercado financiero mexicano y una común referencia para los consultores extranjeros.

Este ejercicio de evaluación se realizó en el año 2011 y se conocen las tasas CETES anteriores. La tasa de rendimiento es de 6.92% (ver anexo 1 y figura 18), la cual se obtiene del promedio de los años 2003 – 2010.

Figura 18. Certificados de la Tesorería, México, 2003-2010



Fuente: Elaboración propia con datos del Banco de México.

3. Determinación del Valor Presente (S)

Para obtener el valor presente de la oportunidad de inversión, deben descontarse sus flujos a la fecha de valuación, pero no puede utilizarse la tasa libre de riesgo, pues no se reflejaría el costo real de éstos a través del tiempo.

Antes de determinar la tasa de descuento, deben conocerse los flujos. Análogo a la teoría desarrollada para la tasa libre de riesgo, deben actualizarse con el factor de la inflación todos los resultados de los flujos, para poder trabajar con cifras en términos reales.

⁸ Los datos históricos correspondientes a estas tasas fueron tomados de las consultas elaboradas a la página del Banco de México: www.banxico.org.mx

Las tasas reales de descuento de la inversión es de 15%. Este porcentaje es una cantidad considerada por los Comités de Inversión debido a las condiciones financieras de México; sobre todo el gobierno mexicano utiliza un mínimo de 15% para arriesgarse a financiar los proyectos.

Al tener todos los flujos reexpresados en términos reales y la tasa de descuento, se determina el valor presente de los flujos, que representará el valor de la inversión, de acuerdo al enfoque tradicional de flujos de efectivo descontados.

Valor presente: \$ 170,159,820 (170.16 millones de pesos)

4. Determinación del valor de la inversión garantizado de salida ó valor residual (K)

El valor de la inversión garantizado de salida ó valor residual, dependerá de la decisión del administrador o gerente del proyecto de inversión del invernadero de jitomate. El enfoque de opciones reales es efectivo para conocer cuánto dinero puede ofrecerse por la prima de acuerdo al nivel de cobertura requerido.

Para este proyecto se realizó un abanico de posibilidades de cobertura que determinará la suficiencia de cobertura de la empresa (ver cuadro 16).

Cuadro 16. Nivel de cobertura del proyecto

Porcentaje	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Cantidad (millones de pesos)	0	17.01598	34.0319	51.0479	68.0639	85.0799	102.0958	119.1118	136.1278	153.1438	170.15982

Fuente: Elaboración propia.

5. Determinación de la volatilidad (σ^2)

Se utilizó los rendimientos esperados de las variables de incertidumbre conocidas mediante la simulación de escenarios Monte Carlo con 10,000 iteraciones.

Se supone que los rendimientos siguen una distribución normal, con media y varianza conocidas (de los datos de los flujos observados) y se elabora una simulación. El supuesto se sostiene debido a que la cartera de riesgos es muy grande y puede aplicarse la ley de los grandes números, con el fin de determinar los posibles valores de los flujos, al elaborar distintos probables escenarios. Así, se

determinan los flujos resultantes de la simulación entre algunos posibles valores que pudiera tomar el componente aleatorio de los resultados de la empresa.

Como la volatilidad que se desea conocer es la que se presenta en el resultado final, debe obtenerse la relación entre los flujos resultantes de la simulación con los ingresos de cada año, para determinar qué tan rentable es la empresa bajo diferentes posibles escenarios.

La varianza de esta rentabilidad es constante en todos los casos, debido a que la simulación ocasiona que los resultados puedan generalizarse, al tender el número de muestras al infinito.

Al observar esta característica, puede elaborarse un intervalo de confianza que establezca cuál será el rango de fluctuación de las ganancias o rentabilidad esperada. Los resultados llevan a determinar la volatilidad de los flujos que pueden oscilar entre el (19.53% y el 27.79%) con un α de 0.01. Para el modelo se toma la cifra de 27.787073%, por ser el escenario más inestable posible y así tener en consideración cuál sería la mayor incertidumbre que se pudiera enfrentar.

5.6 Valoración de las opciones reales

Una vez obtenida la volatilidad del proyecto, se crea un desarrollo binomial. Se asume que el valor presente de los flujos de caja del proyecto PV, siguen un Movimiento Geométrico Browniano (GBM), con tasa de crecimiento μ y volatilidad σ .

Se espera que el valor del proyecto crezca en un período de tiempo T, con un crecimiento medio esperado μ .

$$E[PV_T] = PV_0 e^{\mu T}$$

Se puede modelar este proceso con un desarrollo binomial, donde los parámetros u, d y las probabilidades p y q son definidas de forma que la media y la varianza de la binomial son iguales a la media y varianza del GBM.

Cálculo de los parámetros binomiales

Para calcular los parámetros de la binomial, se recopila la información del proyecto.

Duración de la opción $t = 10$ años

Tasa libre de riesgo $r_f = 6.92\%$

Valor del activo subyacente $S = 170.16$

Valor residual garantizado de salida k : dependerá del nivel de cobertura

Volatilidad $\sigma = 27.79\%$

se calcula el parámetro de subida: u

$$u = e^{\sigma\sqrt{\Delta t}} \quad U = e^{0.02779\sqrt{1}} = 1.3203$$

Se calcula el parámetro de bajada: d

$$d = e^{-\sigma\sqrt{\Delta t}} \quad U = e^{-0.02779\sqrt{1}} = 0.7574$$

La probabilidad neutral al riesgo de subida: p

$$p = \frac{e^{r_f\sqrt{\Delta t}} - d}{u - d} = \frac{e^{0.0692\sqrt{1}} - 0.757}{1.32 - 0.757} = \frac{0.31465}{0.563} = 0.5583$$

La probabilidad neutral al riesgo de bajada: q

$$q = 1 - p = 1 - 0.5583 = 0.4417$$

Una vez calculados todos los parámetros, se crean los modelos binomial y el árbol de decisión binomial.

Los argumentos necesarios para el cálculo de esta opción mediante el método binomial son: El periodo de tiempo para desarrollar la empresa contemplando la fase de aprendizaje de los procesos (producción, administración, organización, legal, comercialización, etc), la fase de sostenimiento de la empresa y la fase de éxito o fracaso es de 10 años, dentro de los cuales la opción de abandono puede ser ejercida a criterio de la gerencia.

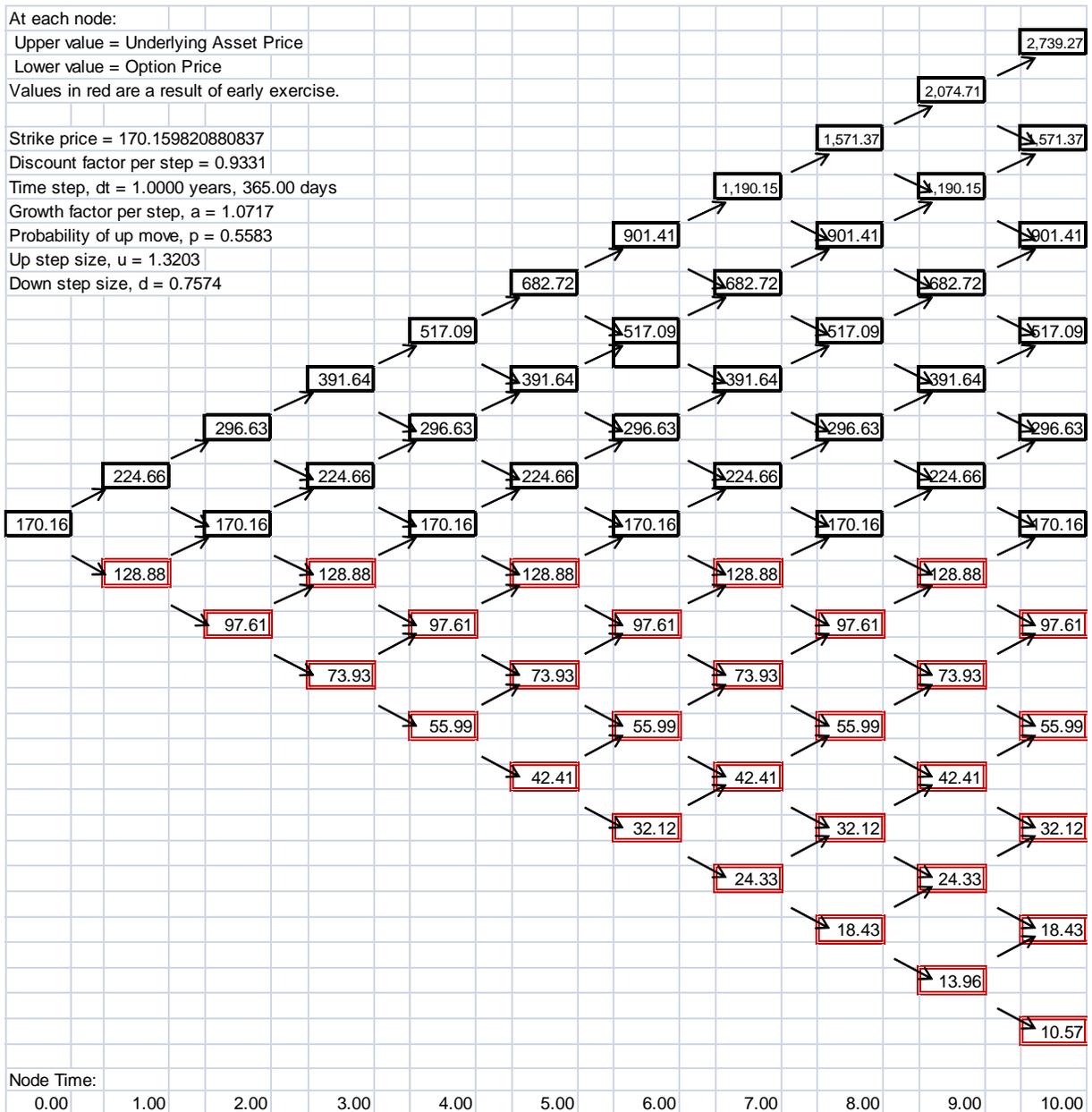
Utilizando el modelo tradicional de flujo de caja descontado el valor presente neto es de \$170,159,820.88, la tasa libre de riesgo calculada es de 6.92%, la volatilidad implícita es del 27.787073%, se sabe que el valor de salvamento del proyecto dependerá de la gerencia del proyecto y la decisión que tomen de establecer una cobertura del 10 al 100% del valor presente. Con esta información se calcula el valor de la opción, y cuánto vale para la empresa este proyecto, para ello se utiliza la

forma de una opción americana o europea, porque puede ser ejercida en el momento que la gerencia decida.

Ruta de probabilidad del valor del proyecto sin opción de salida

El valor actual de la inversión puede ascender en el primer año hasta tomar el valor de 224.66 millones ($170.16 * 1.32$) o, por el contrario, descender hasta 128.88 millones ($170.16 * 0.757$). Este proceso se va realizando en cada nodo hasta llegar al año 10, que tiene 11 posibles resultados (ver figura 19).

Figura 19. Árbol binomial del valor del activo subyacente, sin opción de abandono



Fuente: Elaboración propia con el software DerivaGem.

El árbol de decisión anterior muestra la ruta de probabilidad del proyecto sin opción de salida, se distingue a lo largo de los 10 años que la probabilidad de que baje el activo subyacente es de 44.17% o de que se presente la quiebra de la empresa, se demuestra con las cantidades marcadas con doble recuadro, por ello se hace indispensable el manejo de opciones de cobertura, para otorgarle mayor certidumbre a la inversión.

La figura 19 muestra el árbol elaborado en la aproximación binomial, y se basa en el desarrollo del valor presente del futuro flujo de caja del activo subyacente, ese valor evoluciona debido a la volatilidad e incertidumbre que existen; por ejemplo, los \$170.16 iniciales pasan a ser 296.63 ($224.66 \cdot 1.32$) en la bifurcación superior en la segunda etapa y \$170.16 ($224.66 \cdot 0.757$) en la bifurcación inferior, estos efectos hacia arriba y hacia abajo, continúan hasta el final del árbol. En el ejemplo, dada una volatilidad anualizada del 27.79%, después de 10 años el valor del activo subyacente podría estar entre \$2,739.27 y \$10.57.

El valor actual del proyecto en el momento de su lanzamiento se mueve entre 2,739.27 y 10.57 dependiendo del estado del mercado y el valor en el momento 0 recoge el estado medio de 170.16. La distancia entre el valor mayor y el menor de los posibles estados del mercado se debe al alto nivel de volatilidad estimado en el proyecto.

Evaluación de la opción

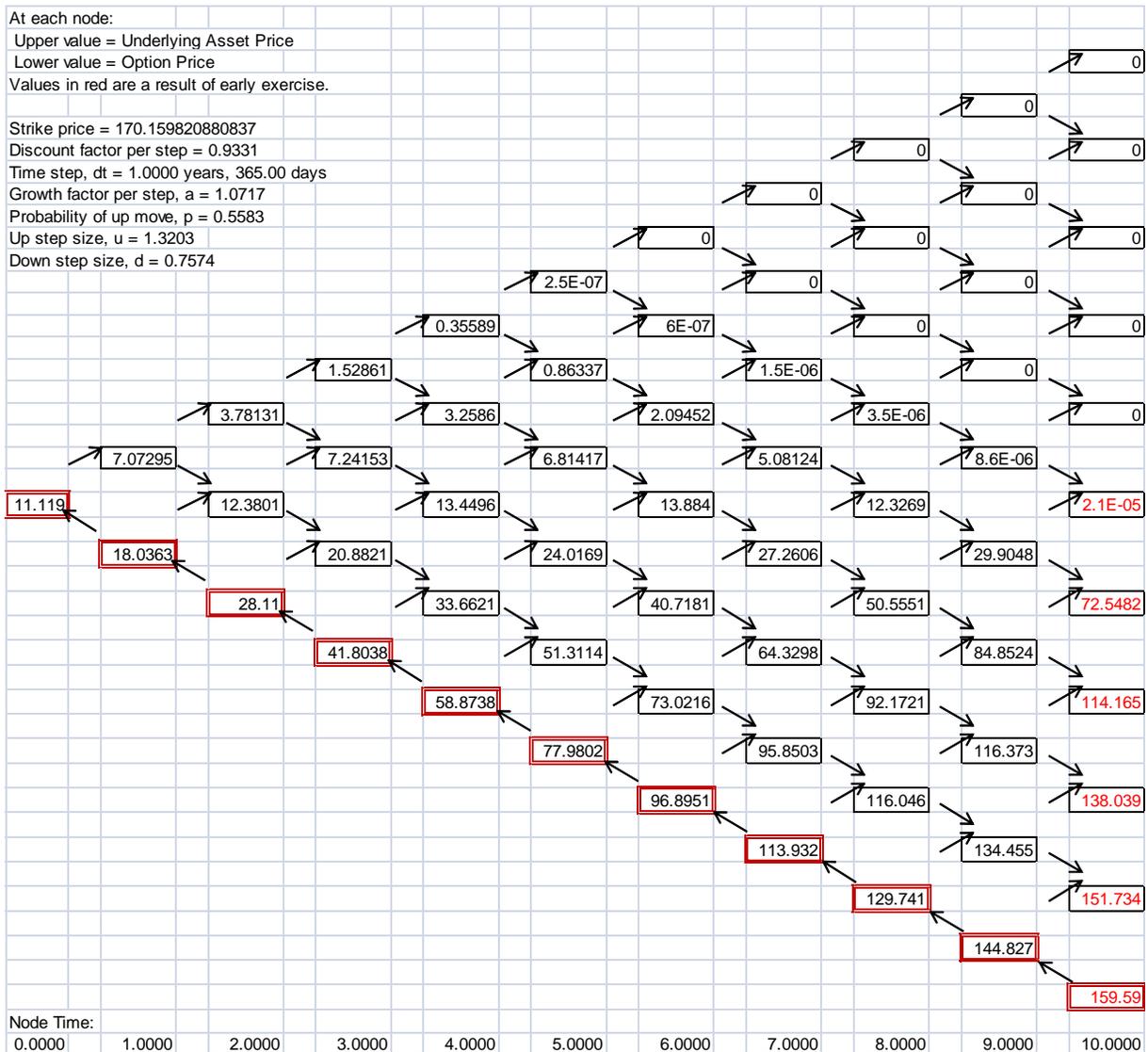
La figura 20 muestra el cálculo de una opción europea con una cobertura del 100%, la cual se realiza en dos pasos, empezando con el nodo terminal para proseguir con los nodos intermedios a través de un proceso de inducción regresivo; por ejemplo, el último nodo superior en la figura muestra un valor de -\$159.59, dicho valor se obtiene a través de la maximización en la ejecución de la opción y el dejar que la opción expire sin valor si los costos exceden los beneficios por ejecutarla ($10.5701151 - 170.1598$).

El segundo paso es el cálculo de los nodos intermedios, como se muestra en la figura 20, el valor de 24.36 es calculado usando un análisis de probabilidad. Para ilustrar lo anterior se utilizó la probabilidad de 0.5583 que se calculó anteriormente, el análisis de inducción regresivo se obtiene de la siguiente manera:

$[(p)u + (1-p)d] \exp[-(r_f)(\delta t)]$ siguiendo el ejemplo esto es:

$$[(0.5583) 7.072952698 + (1-0.5583) 18.03630144] \exp[-(0.0692)(1)] = 11.119$$

Figura 20. Valor de la opción europea con una cobertura del 100%



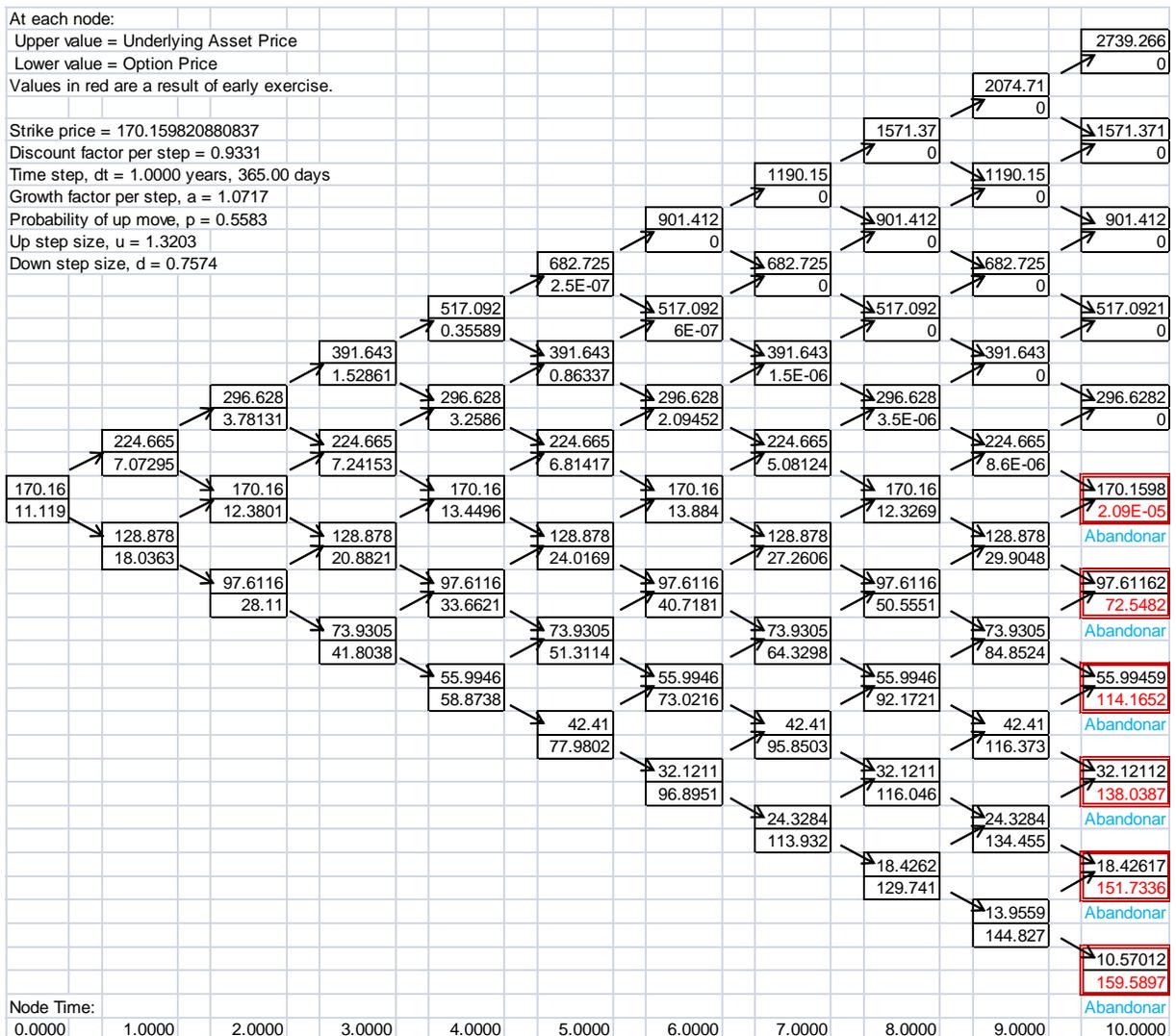
Fuente: Elaboración propia con el software DerivaGem.

Utilizando este proceso el valor de la opción en el periodo cero es de \$11.119 millones. Es importante hacer notar que la característica más importante de este tipo de opción es que se tiene la oportunidad de ejercer la opción de abandono al final del tiempo de duración de la opción, en este caso se debe abandonar el proyecto hasta el año 10.

Ruta de probabilidad del valor del proyecto con opción de salida de 100% de cobertura en opción europea

Al término de los 10 años, la empresa tiene la opción de abandonar o continuar con el proyecto, el valor de continuar se puede ver en los 5 nodos ubicados en el lado superior derecho que tienen los valores de 2739.266 millones a 224.665 millones, respectivamente; en donde la decisión de maximización de ganancias indica continuar (ver figura 21).

Figura 21. Árbol binomial con opción de salida de 100% de la inversión en opción europea



Fuente: Elaboración propia con el software DerivaGem.

Por otra parte, el valor de abandono se presenta en los 6 nodos ubicados en el lado inferior derecho 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 170.1598 millones de pesos, es decir que si se tienen inconvenientes de mercado y la tendencia de los precios de venta van a la baja y/o los costos de producción se incrementan, mediante la opción de abandono se pueden minimizar las pérdidas.

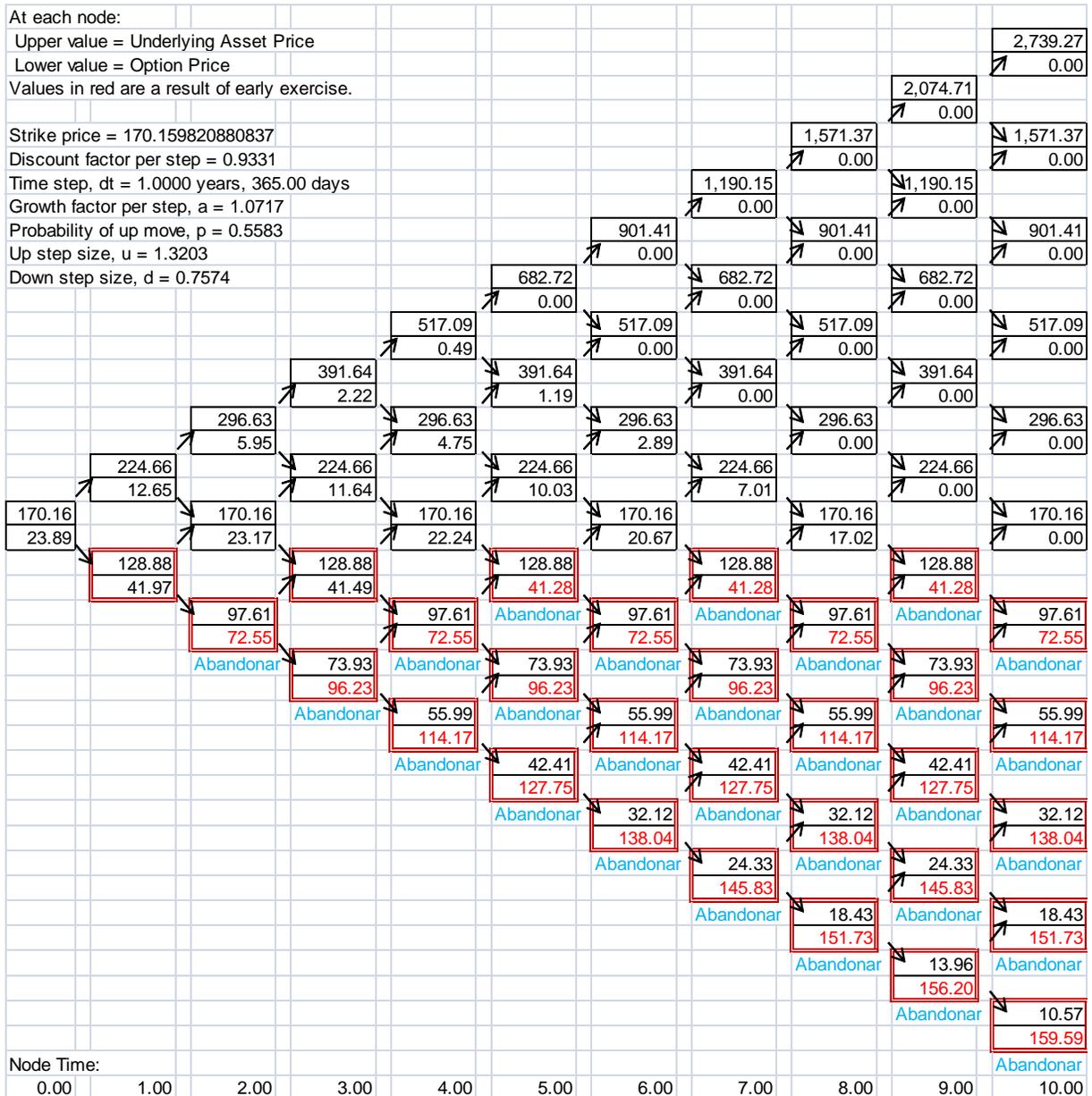
Para hacer los cálculos del valor total del proyecto se parte de los valores finales y se van obteniendo los valores intermedios, por ejemplo: en el nodo de la parte inferior derecha se tiene $[(P) (\$18.42617394) + (1-p) (\$10.5701151)] \exp. [(-rf) (\delta t)] = \13.956 millones, y así sucesivamente hacia atrás, hasta el nodo inicial para obtener un valor de \$ 194.05. El VAN total para la cobertura de 100% con opciones europeas es:

$\text{VAN total} = \text{VAN normal} + \text{Valor de la opción} = 170.1598 + 11.119 = 181.279$ millones

Ruta de probabilidad del proyecto con opción de salida de 100% de la cobertura en opción americana

Nótese en la figura 22 que en los nodos remarcados con doble recuadro se tienen valores inferiores a 170.16 millones, por lo que serán sustituidos por el valor residual para ejercer la opción de abandono.

Figura 22. Árbol binomial con opción de salida de 100% de la inversión en opción americana



Fuente: Elaboración propia con el software DerivaGem.

Posteriormente, se calcula el valor de la opción, donde se utilizan los valores obtenidos en el árbol anterior, si son mayores al valor de rescate, o por el contrario se ejerce la opción de abandono si el valor es menor. Se inicia con el cálculo de los nodos terminales hasta llegar al nodo inicial, mediante un proceso de inducción regresiva.

Valor total del proyecto

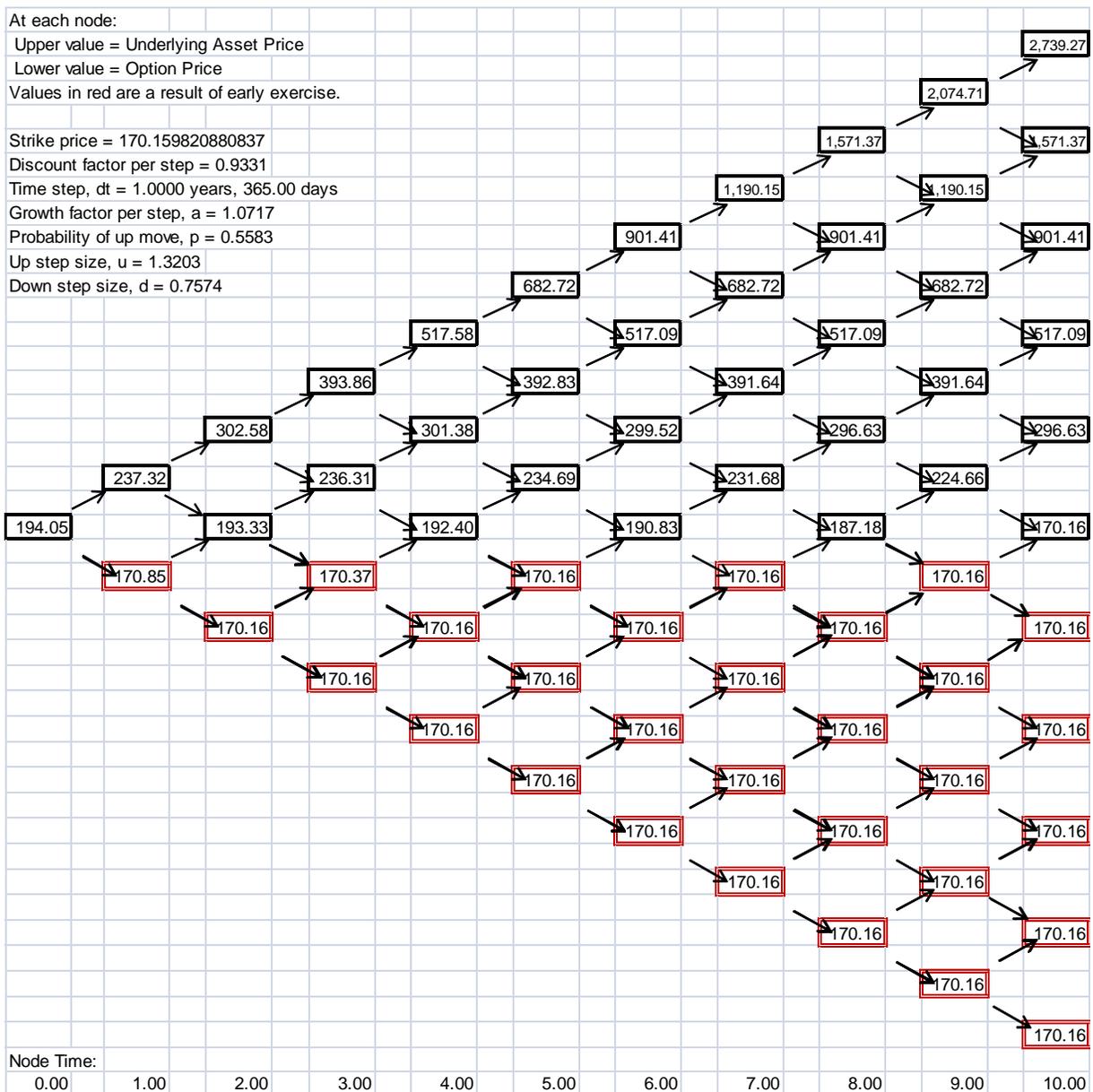
Nótese que en donde se tiene un valor inferior a 170.16, se ejerce la opción de abandono.

Para realizar los cálculos de la figura 22 se parte de los valores finales y se van obteniendo los valores intermedios, por ejemplo: en el nodo de la parte superior derecha se tiene $[(P) (\$2,739.27) + (1-p) (\$1,571.37)] \exp. [(-rf) (\delta t)] = \$ 2,074.71$ millones, y así sucesivamente hacia atrás, hasta el nodo inicial para obtener un valor de \$ 194.05.

El VAN total para la cobertura de 100% con opciones americanas es:

$$\mathbf{VAN\ total} = \mathbf{VAN\ normal} + \mathbf{Valor\ de\ la\ opción} = 170.1598 + 23.8926 = 194.05$$

Figura 23. Valor total del proyecto



Fuente: Elaboración propia con el software DerivaGem.

Cálculo de valor de la opción real por nivel de cobertura

Los resultados que se obtienen desarrollando cada una de las opciones por nivel de cobertura y tipo de opciones ya sea europea o americana, determinarán las posibilidades de disminución de incertidumbre (ver cuadro 17). Las opciones americanas muestran que el valor de la opción es más alto comparado con las opciones europeas debido a que el costo es mayor cuando el empresario tiene la

posibilidad de abandonar el proyecto y ejercer su opción, cuando es del tipo americano.

Mediante el método binomial se puede capturar la interacción de los diferentes tipos de opciones. Cabe señalar, que para una opción de elección como ésta, no existe una aproximación de forma cerrada como la fórmula Black-Scholes 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 (Mun, 2002).

Cuadro 17. Cálculo de las opciones por nivel de cobertura y tipo

Porcentaje de cobertura	Valor garantizado de salida (\$)	Valor de la opción europea en el año 10		Valor de la opción americana en cualquier año	
		Precio (\$)	Porcentaje	Precio (\$)	Porcentaje
10	17,015,982.088	912.900	0.005	1,051.387	0.006
20	34,031,964.176	50,704.354	0.149	64,242.787	0.189
30	51,047,946.264	256,770.188	0.503	340,447.064	0.667
40	68,063,928.352	876,847.611	1.288	1,173,388.310	1.724
50	85,079,910.440	1,666,608.540	1.959	2,502,114.681	2.941
60	102,095,892.529	2,796,564.376	2.739	4,754,822.842	4.657
70	119,111,874.617	4,877,225.718	4.095	8,092,587.959	6.794
80	136,127,856.705	6,957,887.060	5.111	12,355,427.802	9.076
90	153,143,838.793	9,038,548.402	5.902	17,864,510.038	11.665
100	170,159,820.881	11,119,212.146	6.535	23,892,550.589	14.041

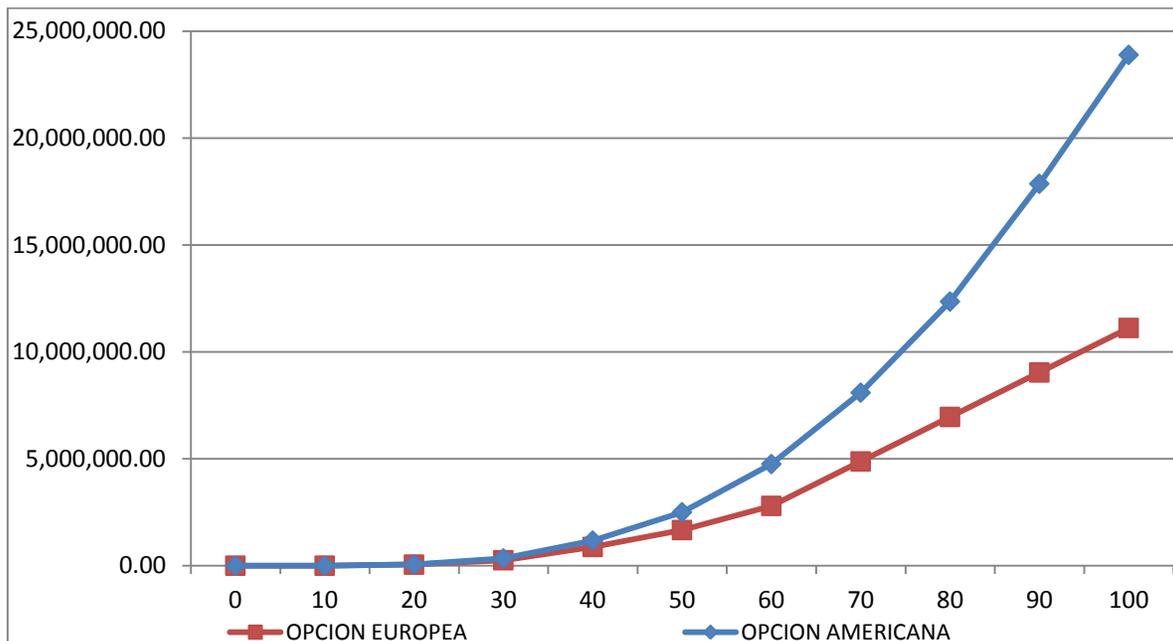
Fuente: Elaboración propia.

Un análisis de las opciones del proyecto por separado muestra los diferentes resultados obtenidos en cada una de las opciones evaluadas. Cabe resaltar que los resultados que se obtienen desarrollando cada una de las opciones reflejan la interacción de los diferentes tipos de opciones en el mismo proyecto.

Demanda de opciones de salida

Ejercer la opción de abandono dependerá del nivel de recuperación que los administradores del proyecto decidan (ver figura 24), donde para cada porcentaje de cobertura y tipo de opción indica la cantidad a pagar por la prima de la cobertura.

Figura 24. Porcentaje de cobertura y tipo de opción



Fuente: Elaboración propia con el software DerivaGem.

Observaciones generales

Según la evaluación tradicional este proyecto es poco atractivo debido a que tiene una relación beneficio costo de 1.12, es decir, que por cada peso invertido se obtienen 12 centavos de ganancia.

El proyecto tiene una cuantiosa inversión inicial de 112,024,000 pesos, un VAN total de \$194.05 millones y un valor de salvamento de \$170.16 millones, por lo que se observa que la opción de abandono puede ser muy valiosa, esto con opciones del tipo americano. Las opciones europeas tienen un VAN total de 181.279 millones con el mismo valor de salvamento de \$170.16 millones. La diferencia de costos de opciones de cobertura del 100% es de \$12.77 millones que es el costo de oportunidad de ejercer la opción en el momento más apropiado.

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 para que las pérdidas sean menores.

La opción de abandono es valiosa en proyectos de elevada incertidumbre como es el caso del establecimiento de la producción de jitomate de invernadero, 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.

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 170.16 millones de pesos.

5.7 Comparación VAN tradicional Vs opciones reales

Se compara la valoración obtenida con el método de opciones reales respecto al VAN (ver cuadro 18) y se determina la magnitud de certidumbre de los valores obtenidos por las dos metodologías.

Cuadro 18. VAN tradicional Vs opciones reales

VAN ajustado por la Probabilidad (\$)	Valor de la Opción de Invertir		Valor de la Opcionalidad	
	Opción americana (\$)	Opción europea (\$)	Opción americana (\$)	Opción europea (\$)
170,159,820.881	194,052,359	181,279,012	23,892,550	11,119,212

Fuente: Elaboración propia con el software DerivaGem.

Como se puede observar, el VAN tradicional infravalora el proyecto en \$23,892,538 para el caso de las opciones americanas y \$11,119,191 para las opciones europeas; ya que no tiene en cuenta la flexibilidad gerencial del proyecto a lo largo de su desarrollo. El VAN considera que una vez puesto en marcha el proceso de inversión,

es irreversible y en ningún caso habrá estados del mercado desfavorables, o más favorables de lo previsto, para la continuación del proyecto.

Debido a las características del proyecto, el nivel de incertidumbre es alto, dando una volatilidad del proyecto del 27.79%.

Los proyectos más volátiles, aumenta el valor de la opción, por un lado se debe a las posibilidades de abandono del proyecto y por otro porque aumentan los posibles estados de la naturaleza, aumentando el rango de valores del proyecto.

A medida que los riesgos son mayores, teniéndose en consideración el papel de las volatilidades, hace necesaria la participación de instrumentos financieros como las opciones reales que sean capaces de mitigar y/o transferir el riesgo. Las opciones reales resultan ser un instrumento capaz de responder a las necesidades de los riesgos por ello cobra importancia el conocimiento de estos instrumentos. El inversionista fue capaz de recuperar el 100% de su inversión aún cuando el escenario más probable del año 6 al año 10 sea de que el pueda obtener grandes pérdidas.

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El modelo de opciones reales es una herramienta conveniente de adaptar al esquema de toma de decisiones de cualquier empresa con diferente giro de negocios. No implica costos adicionales, debido a que las entradas son extraídas de información que la compañía usa cotidianamente y que toma en consideración.

Por tal motivo, puede ser un esquema de análisis muy eficiente, como se observa a lo largo de este trabajo, proporciona información adicional al esquema tradicional de valuación. La gran aportación de este modelo, es considerar la dinámica implícita en un proyecto de inversión y permitir enfocarla en función del tiempo de análisis, complementando todos los demás esquemas de valuación tradicional.

Queda demostrado cómo cada decisión de inversión tiene varios tipos de salidas, aún antes de convertirse en una propuesta de inversión y las herramientas financieras actuales permiten establecer modelos dinámicos que se adapten a la realidad de un entorno globalizado y en extremo dinámico.

Al pasar por el proceso de diseño y obtener los resultados, pueden destacarse las características que hacen el modelo de opciones reales más ventajoso:

- **La incertidumbre incrementa el valor** de cualquier proyecto de inversión. El análisis tradicional enfoca la incertidumbre como lo peor de los defectos en un proyecto de inversión y los analistas más conservadores recomiendan tomar proyectos con bajas varianzas aunque también los retornos sean bajos. El enfoque de opciones reales transporta el concepto de incertidumbre financiera, reservado a las casas de bolsa y el mercado intangible para la mayor parte de la población, a un entorno cotidiano y desmitifica su maleabilidad. Este modelo puede ayudar a cualquier pequeño, mediano o gran inversionista a que la toma de decisiones sea con bases financieras y teóricas sólidas. La práctica de este modelo demuestra que cualquiera puede invertir bajo incertidumbre, modelarla e incorporarla a su esquema de negocios sin necesidad de salir huyendo.
- **Identificar las opciones genera valor adicional** para el proyecto de inversión.

- **El mercado financiero aporta información relevante y fácil de incorporar.** En el análisis tradicional, generalmente se toman en cuenta como tasas de descuento, las que el accionista pide o un rango de tasas para ver todas las salidas posibles. Sin embargo, el concepto de portafolio de réplica implícito en las opciones, exige que éstas se construyan con cimientos sólidos y estrictamente reales, que a la vez proporcionan la seguridad de que se está modelando la verdadera situación que enfrenta el proyecto y no simplemente se está decidiendo entre un conjunto de escenarios de los cuales no se conoce cuál será el más factible de presentarse.

- **Demasiada precisión no siempre aporta más información,** ya que las cifras que arroja el modelo de opciones reales están afectadas ampliamente por la volatilidad, puede observarse la cantidad resultante como un buen estimador, pero el mayor valor del enfoque es la información adicional que otorga al analista y no las cifras que le arroja. La posibilidad de profundizar en cada salida del modelo (el valor de la opción, su probabilidad de ejercicio, su relación con la inversión inicial, el tiempo y la variabilidad) es una herramienta más útil que una cifra precisa, sobre todo entre mayores sean las inversiones.

Este enfoque tiene en cuenta el valor de la oportunidad de inversión además del valor tradicional, para que juntos den como resultado el verdadero valor del proyecto. Se puede decir que @RISK en vinculación con los árboles de decisión, tienen como función optimizar el valor obtenido por herramientas tradicionales mediante la incorporación al valor obtenido por estas últimas el valor de las opciones.

Con el presente trabajo se:

- Aportó el estudio de un nuevo caso que contribuye a incrementar la evidencia empírica sobre la relevancia de las opciones reales en la inversión empresarial.
- Amplió el ámbito de las aplicaciones realizadas en la valoración de inversiones empresariales con el análisis de un sector de actividad diferente a los normalmente seleccionados en este tipo de estudios.
- Diseñó y aplicó un modelo de valoración adaptado a las necesidades prácticas de la empresa en la que se desarrolló el estudio del caso.

- Propuso hipótesis contrastables que pueden servir de base para posteriores investigaciones en el ámbito de las opciones reales.

Al cierre del presente trabajo, se planteó un número mayor de cuestiones; las cuales permiten proponer como posibles áreas de interés para futuras investigaciones las siguientes:

- Profundizar en la interdependencia de la flexibilidad de las inversiones y estructura de capital de la empresa.
- Análisis de la estrategia de diversificación empresarial.
- Extensión de la evidencia empírica relativa a la relevancia de las opciones reales en distintos sectores de actividad.
- Identificación y análisis de otras variables no contempladas en el presente trabajo que pueden influir en la desviación del ejercicio efectivo de las opciones reales con respecto a su ejercicio óptimo.
- Se debe valorar la opción de expansión, debido a que se requiere planear la exploración entrada al mercado nacional, para hacerlo es recomendable utilizar el método binomial (valor neutral al riesgo).

Es aconsejable y viable en las condiciones actuales de la economía mexicana debido al riesgo presentado en el sistema financiero, introducir este tipo de metodología para la evaluación integral de los proyectos de inversión.

CAPÍTULO VII. BIBLIOGRAFÍA

- ❖ Armarcha A., G. C. Desarrollo de un modelo de simulación para valoración de opciones reales de un operador de telecomunicaciones. Departamento de administración de empresas y estadística. Madrid España. 2005.
- ❖ Baca U., G. Evaluación de Proyectos. McGraw-Hill. México. 2001
- ❖ Baca, G., A. La Administración de Riesgos Financieros. Revista Ejecutivos de Finanzas, Año XXVI, No. 11, Noviembre, México, 1997
- ❖ Bastida, T., A. Manejo y operación de invernaderos agrícolas. AGRIBOT. Universidad Autónoma Chapingo. México. 2006
- ❖ Bernardo. A., Chowdry, B. Resources, real options, and corporate strategy. *Journal of Financial Economics*. Nº 63, 2002.
- ❖ Black, F., Scholes, M. The pricing of options and corporate liabilities. *Journal of Political Economy*, Vol. 81, 1973.
- ❖ Bodie, Z. y Robert C., M. Finanzas. Editorial Prentice Hall, México. 1999.
- ❖ Branch M., A. Real options in practice. United States of America: Wiley Finance, 2003
- ❖ Brandao L., E., Dyer J., S., y Hahn W., J. Using binomial trees to solve real-option valuation problems. *Decision Annual*, 2, 2005
- ❖ Brennan, M.J. y Schwartz, E.S. Consistent Regulatory Policy under uncertainty. *Bell Journal of Economics* Nº 13, 1982.
- ❖ Castilla, N. Invernaderos de plástico. Tecnología y manejo, Mundi-Prensa, Madrid. 2004

- ❖ Cook, R. y Calvin, L. Greenhouse Tomatoes Change the Dynamics of the North American Fresh Tomato Industry. United States Department of Agriculture. Economic Research Report Number 2. 2005.
- ❖ Cortazar, G. The valuation of natural resources. Trigeorgis (ed.) *Real options and business strategy: Applications to decision making*, Risk Books, London. 1999.
- ❖ Cortazar, G. y Schwartz E., S. A compound option model of production and intermediate investment. *Journal of Business*, Vol. 66, N° 4, 1993.
- ❖ Cortazar, G. y Schwartz, E. S. Monte Carlo evaluation model of an undeveloped oil field. *Journal of Energy Finance & Development*, Vol. 3, N° 1, 1998.
- ❖ Cortazar, G., y Casassus, J. A Compound Option Model for Evaluating Multi-Stage Natural Resource Investments in *Project Flexibility, Agency and Competition*. Brennan and Trigeorgis (Eds), Oxford University Press, New York, 2000
- ❖ Cox J., C., Ross S., A., and Rubinstein, M. Option Pricing: A Simplified Approach. *Journal of Financial Economics*, 1979.
- ❖ Culp C. *The Risk Management Process: Business Strategy and Tactics*; New York: John Wiley, 2001.
- ❖ Díaz, T., J. y Hernández T., F. *Futuros y opciones financieros*. Editorial Limusa, México. 1996.
- ❖ Dixit, A. y Pindyck, R. *Investment under uncertainty*. Princeton University Press, 1994.
- ❖ FINRURAL (Financiera Rural). *La producción de hortalizas en México*. Dirección General Adjunta de Fomento y Promoción de Negocios. Dirección Ejecutiva de Diseño de Programas y Productos. México, 2008.

- ❖ FOCIR. La producción de tomate en invernadero: una gran oportunidad de negocio. Boletín quincenal de inteligencia agroindustrial. No. 2 Vol. 1, 2005.
- ❖ Fragoso, J. C. Análisis y Administración de Riesgos Financieros. Análisis de Riesgos. Economía Financiera de la Universidad Veracruzana. 2002.
- ❖ Fundación Mexicana para la Investigación Agropecuaria y Forestal, A.C. Plan de Negocios para el cultivo de jitomate en Invernaderos de alta tecnología en México. Noviembre de 2005.
- ❖ Gravet G., M. A. Evaluación de opciones reales mediante simulación: el método de mínimos cuadrados. Departamento de Ingeniería Industrial y Sistemas. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago de Chile. 2003.
- ❖ Grinblatt, M., y Titman, S. 2002. Financial Markets and Corporate Strategy, Second Edition, McGraw-Hill.
- ❖ Guantes R., J. El mercado de los invernaderos en México. Notas Sectoriales. Instituto Español de Comercio Exterior. Oficina Económica y Comercial de la Embajada de España en México. Enero de 2006.
- ❖ Gutierrez G. y Caputi, P. Análisis de la volatilidad de precios de ganado vacuno en Uruguay y sus implicaciones para el desarrollo de un mercado de futuros. Comisión sectorial de investigación científica de la Universidad de la República de Uruguay. 2003.
- ❖ Hull, J. Introducción a los mercados de futuros y opciones. 4ta. Edición. Edit. Prentice Hall. España. 2002.
- ❖ Jorion, P. Valor en riesgo. Edit. Limusa, México. 1999.
- ❖ Lamothe, P. and Méndez M. Valuation of a Wind Park using a Compound Real Option with Market and Private Risks. Departamento de Finanzas de Empresa, Universidad Autónoma de Madrid, España. Octubre de 2006.

- ❖ Majd, S. and Pindyck, R. Time to Build, Option Value, and Investment Decisions. *Journal of Financial Economics*. Nº 18. 1987
- ❖ Mascareñas J. La valoración de un proyecto de Inversión Biotecnológico como una Opción Real Compuesta. Documentos de trabajo del Programa de Posgrado. Universidad Autónoma y Complutense de Madrid. 2005
- ❖ Mcdonald, R. y Siegel, D. Investment and the Valuation of Firms when there is an option to shut down. *International Economic Review*, Vol 26, Nº 2. 1985
- ❖ Montoya M, I. y Brindis J, G. 25 mil hectáreas de cultivos bajo invernaderos. Informe especial: cierre de temporada 1999-2000. Rev. Hortalizas, Frutas y Flores. 2001
- ❖ Mun, J. Real options analysis: Tools and Techniques for valuing strategic investment and decisions. United States of America: Wiley Finance Series, 2002.
- ❖ Muñoz R., M. ¿Qué agrónomo requiere el campo mexicano?. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Fitotecnia. Chapingo, Estado de México. 2003.
- ❖ Paddock, J., Siegel, D. y Smith, J. Option Valuation of Claims on Physical Assets: The Case of Offshore Petroleum Leases. *Quarterly Journal of Economics* Vol. 103, Nº 3. 1988
- ❖ Papaseit, P., Badiola J. y Armaguel, E. Los plásticos y la agricultura editorial de hortalizas. 1997.
- ❖ Pérez M., J. C. Servicio de Estudios de la Asociación de Cosecheros Exportadores de Productos Hortofrutícolas de Almería (COEXPHAL), Dpto. Economía Aplicada. Universidad de Almería. 2004.
- ❖ Pierre, J. Los plásticos en el mundo. Plasticulture: Revue du CIPA, Journal of CIPA, Nº. 120, España, 2001.

- ❖ Rendleman R., J. and Barter B., J. Two State Option Pricing. *Journal of Finance*, 34. 1979
- ❖ Rogers, J. Strategy, value and risk: the real options approach. Reconciling innovation, strategy and value management Finance and capital markets. Palgrave 2002.
- ❖ SAGARPA. México exportó más de 8,000 mdd de productos agroalimentarios: SAGARPA. México, D.F., NUM. 221/07. 2007
- ❖ Sánchez del C., F. Invernaderos e hidroponía en el contexto de la agricultura: dos alternativas tecnológicas factibles. III Curso Internacional de Invernaderos. Tomo I. Universidad Autónoma Chapingo. 2004
- ❖ Schwartz E., S. and Moon, M. Evaluation of Research and Development Investments, in Innovation, Infrastructure and Strategic Options, M. J. Brennan and L. Trigeorgis (eds), Oxford University Press, 2000.
- ❖ Sharpe, W. Capital asset prices: A theory of market equilibrium under conditions of risk. *The Journal of Finance*, Vol. 19. 1964
- ❖ Sierra, J. La propiedad y el control en las decisiones de internacionalización de las empresas, Cuadernos de Administración, Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas, Pontificia Universidad Javeriana, vol. 16, No. 26. 2003
- ❖ Slade, M. Valuing managerial flexibility: an application of real-option theory to mining investments. *Journal of environmental economics and management* 41, Univesity of Columbia. 2001.
- ❖ Sobol I., M. Método de Monte Carlo. Segunda edición. Editorial Mir. Moscú 1983.
- ❖ Steta G., M. Panorama de la horticultura en México. Memoria del 4º Congreso Internacional AMPLHI. León Gto., México. 2003

- ❖ Tilley, J.A. Valuing American Options in a Path Simulation Model. Transactions of the Society of Actuaries, vol. 45, 1993.
- ❖ Trigeorgis, L. and Mason, P. Valuing Managerial flexibility. midland corporate finance journal, Vol. 5, N° 1, 1987.
- ❖ Trigeorgis, L. Real options: managerial flexibility and strategy in resource allocation, MIT Press, 1996.
- ❖ <http://www.faostat.fao.org>
- ❖ <http://www.hortalizas.com/>
- ❖ <http://www.ucm.es/info/jmas/finemp/dt.htm>
- ❖ <http://www.usda.gov>
- ❖ www.inegi.org.mx/
- ❖ www.sagarpa.gob.mx
- ❖ www.sagarpa.gob.mx/cgcs/boletines/2007/septiembre/B221.pdf

ANEXOS

Anexo 1. CETES PROMEDIO DE LA TASA DE RENDIMIENTO

Cetes Promedio de la Tasa Rendimiento				
Año	Cetes 28 días	Cetes 91 días	Cetes 182 días	Cetes 364 días
2003	4.98	5.40	5.81	6.19
2004	6.84	7.13	7.39	7.67
2005	9.21	9.32	9.27	9.20
2006	7.19	7.30	7.40	7.47
2007	7.20	7.37	7.48	7.57
2008	7.75	7.90	8.01	8.08
2009	5.43	5.48	5.54	5.68
2010	4.47	4.63	4.74	4.98
	6.92	7.09	7.22	7.35

Fuente: Elaboración propia con datos históricos del Banco de México a partir de 16 de mayo de 2003 al 20 de mayo de 2010.

Anexo 2. Variación de precios de U. S. A. 1980-2010

año	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	average
1981	0.7432	2.0455	1.5393	0.0090	-0.3596	-0.1944	0.0900	0.0000	-0.1522	0.0837	-0.0223	0.0171	0.03
1982	-0.1254	-0.3348	-0.6268	-0.1883	0.4178	0.6010	0.1000	-0.2028	-0.1282	-0.0864	0.8400	0.1517	0.05
1983	-0.3333	0.1955	1.5414	1.1768	0.5556	-0.1815	-0.2451	0.0116	0.1176	0.1045	-0.3634	-0.0537	0.08
1984	1.1613	0.1796	-0.2435	-0.3655	-0.1429	-0.1165	0.3979	0.8571	0.1737	-0.0090	-0.1366	-0.0258	0.06
1985	-0.3806	-0.1500	0.6724	0.3280	-0.4638	-0.2468	-0.2547	-0.3754	-0.1435	-0.0364	0.8192	1.2963	-0.05
1986	0.3735	-0.3904	-0.5687	-0.0934	0.8378	0.1017	0.0050	0.0000	0.0890	0.4245	0.1180	-0.5645	0.04
1987	-0.1754	0.1316	0.2789	-0.1063	0.0257	0.3744	0.0050	-0.1429	-0.0192	-0.1556	0.2583	0.1852	0.03

1988	0.1170	-0.2481	-0.1090	0.1115	-0.1792	-0.0933	0.5224	1.2011	0.5735	-0.1608	-0.3731	-0.1741	0.05
1989	0.3778	1.3299	0.1923	0.8662	0.8908	0.0288	-0.1405	-0.3577	-0.2804	0.3598	-0.0810	1.0973	0.23
1990	1.6728	1.1593	-0.0528	-0.7384	-0.4850	-0.0680	0.0190	0.0569	0.0736	0.0825	0.1839	-0.2345	-0.17
1991	-0.8009	-0.6762	0.3622	2.3767	1.5157	1.5536	0.1381	-0.1577	-0.1452	-0.3492	-0.2265	-0.4815	0.16
1992	0.7532	1.4051	0.8341	-0.3428	-0.7023	-0.6319	-0.0754	0.0731	0.3821	1.9317	0.6360	1.2273	0.13
1993	-0.0543	-0.7118	-0.7373	0.3951	2.4790	0.0457	-0.1738	0.3915	0.0171	-0.6772	-0.1918	0.6793	-0.11
1994	0.0836	-0.1187	0.1557	-0.6350	-0.6454	0.3668	0.1545	-0.0642	-0.2383	0.4691	-0.0127	-0.3507	-0.14
1995	-0.0096	0.5440	0.5143	0.2424	-0.2864	0.1406	-0.0929	-0.3595	-0.1410	-0.2105	0.0609	-0.3316	-0.07
1996	-0.5523	0.3423	1.2022	1.4634	0.6599	-0.3221	0.0656	0.1276	0.2000	0.2578	-0.1027	0.2160	0.10
1997	0.7446	0.1475	-0.2974	-0.5069	0.3197	0.2521	0.1231	0.2489	0.1068	-0.0636	0.4680	0.3421	0.13
1998	-0.1776	-0.0414	-0.4077	0.4940	0.1335	-0.0429	0.4007	-0.0906	0.0965	0.6226	-0.0344	0.0343	0.11
1999	0.2689	-0.4682	-0.3441	-0.3629	-0.4247	0.0000	-0.4352	-0.0040	-0.0669	-0.5047	-0.3824	-0.3152	-0.27
2000	-0.3612	-0.0983	0.4798	0.4684	0.1000	-0.2483	0.0649	0.3560	0.1132	1.0000	0.8385	0.3010	0.19
2001	1.0467	0.3791	0.7091	-0.4540	0.6364	0.3028	0.1179	-0.1888	-0.2102	-0.3192	-0.1255	0.4149	-0.02
2002	-0.1279	-0.0378	-0.2606	0.8053	-0.2275	0.1514	0.0291	-0.0691	0.0086	-0.0276	0.0502	0.0000	0.05
2003	0.3325	0.1321	0.3333	-0.1254	-0.1884	0.3976	0.2933	0.5625	0.4043	0.0993	-0.2756	-0.3966	0.19
2004	-0.5147	0.0189	-0.2626	0.4733	0.3586	-0.5383	-0.3852	-0.1050	0.1303	1.2839	2.7421	0.4019	0.00
2005	-0.3765	0.2663	-0.0073	0.4729	0.5342	0.9052	0.2533	-0.2682	0.2440	-0.4859	-0.7244	0.7067	0.11
2006	4.3701	0.1369	-0.3907	-0.4716	-0.5283	-0.2313	0.0000	0.3244	0.7694	0.5192	-0.1463	-0.7240	0.05
2007	-0.5695	-0.3290	0.0605	0.5291	0.5279	-0.0421	-0.0532	-0.1758	-0.5968	-0.2477	1.0964	2.8302	-0.20
2008	0.6348	0.4583	1.5133	-0.0989	0.3539	0.9189	0.5318	0.0280	-0.2266	-0.1875	0.1073	-0.5333	0.31
2009	-0.4966	-0.2813	-0.3722	-0.0422	-0.3112	0.1831	-0.2249	0.2211	0.3438	0.1893	0.1338	0.7150	-0.11
2010 p	1.0102	1.2966	1.7470	1.1960									-1.00