



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

**INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS
AGRÍCOLAS**

CAMPUS MONTECILLO

**POSTGRADO DE SOCIOECONOMÍA, ESTADÍSTICA E
INFORMÁTICA-ECONOMÍA**

EVALUACIÓN MEDIANTE OPCIONES REALES EN LA PRODUCCION DE JITOMATE EN INVERNADERO

OLGA LIDIA OSORIO HERNÁNDEZ

T E S I S

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

MAESTRA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2012

La presente tesis titulada: “**Evaluación mediante opciones reales en la producción de Jitomate en invernadero**” realizada por la alumna: Olga Lidia Osorio Hernández bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
SOCIOECONOMÍA, ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA

ECONOMÍA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



DR. JAIME ARTURO MATUS GARDEA

ASESOR



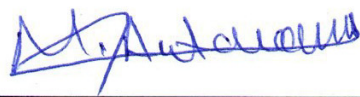
DR. MIGUEL ÁNGEL MARTÍNEZ DAMIÁN

ASESOR



DR. JOSÉ MIGUEL OMAÑA SILVESTRE

ASESOR



DR. MARCO ANTONIO CABALLERO GARCIA

ASESOR



DR. ARTURO PERALES SALVADOR

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Agosto de 2012

CONTENIDO

1 INTRODUCCIÓN	9
2. MARCO TEORICO	15
2.1 Criterio tradicional para la evaluación de inversiones	15
2.2. Las opciones reales como un método para evaluación de proyectos bajo incertidumbre	22
2.2.1. Teoría de opciones Financieras	23
2.2.2. Conceptos básicos de la tarificación de opciones.....	25
2.2.3. Opciones put y call: descripción y gráficas de pago	26
2.2.4. Determinantes del valor de una opción	31
2.2.5. Valor por tiempo y valor intrínseco.....	34
2.2.6. Opciones americanas y europeas: variables relacionadas al ejercicio anticipado.....	36
2.3 Modelos de tarificación de opciones	36
2.4. Modelo de Cox-RossRubinstein (CRR).....	45
2.5. Análisis comparativo entre opciones financieras y opciones reales.....	46
2.6. Los Procesos Estocásticos	47
2.6.1. El proceso de Wiener	47
2.6.2. Proceso de Wiener generalizado: Movimiento Browniano con tendencia	49
2.6.3. Los valores críticos en la evaluación de proyectos en escenarios de precios estocásticos	50
2.6.4. Los valores críticos	50
2.6.4.1. La razón crítica y el valor crítico	51
2.7 La importancia de la Agricultura Protegida	55
3. MATERIALES Y METODOS	64
3.1 Evaluación del proyecto de inversión mediante opciones reales para la producción de Jitomate en Agricultura Protegida	64
3.2 El Modelo Cox-Ross-Rubinstein (CRR).....	66
3.3 Elección de los Parámetros del Proyecto de Inversión.....	69
3.4 Evaluación de la Opción Real.....	71
CONCLUSIONES	76
A MANERA DE REFLEXIÓN	76
BIBLIOGRAFÍA	77

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Resumen de variables que afectan los precios de puts y calls.....	34
Cuadro 2. Correspondencias básicas para convertir una oportunidad de inversión en una opción call.....	44
Cuadro 3. Equivalencia entre opciones financieras y opciones reales.....	46
Cuadro 4. Comparación de Resultados con y sin Opción Real de Salida.....	74

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Perfil del comprador de un call.....	27
Figura 2. Perfil del vendedor de un call.....	28
Figura 3. Perfil del comprador de un put.....	29
Figura 4. Perfil del vendedor de un put.....	30
Figura 5. Relación entre el precio de mercado y el de ejercicio para una opción call.....	32
Figura 6. Relación entre el precio de mercado y el de ejercicio para una opción put.....	32
Figura 7. El valor de una opción decrece en el tiempo.....	33
Figura 8. Valor intrínseco y valor por tiempo en la opción call.....	35
Figura 9. Curvas de precios para opciones call con plazos de vencimiento.....	35
Figura 10. Formula general de un proceso de precio accionario.....	38
Figura 11. Árbol Binomial Recombinante.....	69
Figura 12. Trayectoria temporal del valor del activo subyacente.....	72
Figura 13. Evaluación de la Opción Real.....	74

AGRADECIMIENTOS

Olga Lidia Osorio Hernández

Agradezco a Dios por darme fortaleza para seguir adelante, sabiduría para solucionar los retos, paciencia para no desesperar en este caminar, optimismo y por la gran dicha de ser feliz en compañía de una maravillosa familia.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por haberme otorgado la beca para la realización de la maestría, mi más sincero agradecimiento.

A mi consejero el Dr. Jaime Arturo Matus Gardea, quien me ha demostrado con hechos que existen buenas personas, con grandes valores humanos, en los que siempre como estudiantes podemos contar y de manera reciproca siempre estaremos cuando nos necesiten. Por su gran solidaridad, apoyo incondicional, paciencia en la realización de este trabajo, le brindo un gran y sincero agradecimiento.

A mis asesores y profesores Dr. Miguel Ángel Martínez Damián, Dr. José Miguel Omaña Silvestre y Dr. Arturo Perales Salvador; por sus valiosos enseñanzas, orientación y apoyo para la realización del presente documento.

A mi asesor Dr. Marco Antonio Caballero García; el cual me enseña con el ejemplo el actuar en un ambiente laboral, por su orientación y tiempo para la realización de esta tesis.

A mis profesores que cambian nuestras vidas con sus valiosas enseñanzas.

A mis compañeros y amigos que compartieron los retos que estos estudios implican y a las buenas personas que acompañaron mi caminar en esta excelente institución.

DEDICATORIA

A mis maravillosos padres que siempre han estado para apoyarme en los momentos más importantes de mi vida, les dedico este fruto de su esfuerzo.

A mí querido y amado esposo que me acompaña y disfruta mis triunfos como suyos, por su valioso apoyo, amor incondicional, fortaleza y sabiduría.

A mis hermosas hijas por su dulce compañía, por alegrar mi vida en todo momento, por darme la fortaleza diaria, por compartir con migo los triunfos.

A mis queridos hermanos Alfredo y Miguel por su apoyo, orientación, cariño y compañía en esta hermosa vida.

A mis amigos Alberto Cuellar, Mónica, Gustavo Gaby, Janeth que siempre me apoyaron y animaron para seguir adelante.

EVALUACION MEDIANTE OPCIONES REALES EN LA PRODUCCIÓN DE JITOMATE EN INVERNADERO

Olga Lidia Osorio Hernández
Colegio de Postgraduados, 2012

RESUMEN

La diversidad climática, tecnológica, económica y social que existe en el campo mexicano, las pequeñas unidades de producción con suelos degradados, problemas de escasez de agua, creciente contaminación e impactadas por un entorno con alteraciones climáticas, hace necesaria la transformación del campo mexicano mediante tecnologías modernas y sustentables para impulsar el crecimiento sostenido y acelerado; como resultado de lo anterior, el gobierno federal implementó una política pública sobre agricultura protegida bajo el Programa de Apoyo a la Inversión en Equipamiento e Infraestructura. En este contexto, la presente investigación evalúa el proyecto de inversión para la construcción de un invernadero para la producción de jitomate a través de la teoría de opciones reales que en comparación con una evaluación tradicional ofrece la ventaja de mitigar el riesgo de inversión o la incertidumbre asociada al proyecto.

Palabras clave: proyecto, agricultura protegida, inversión, incertidumbre, opciones reales.

ABSTRACT

The climatic, technological, economical and social diversity that prevails in the mexican field, as well as the small units of production with degraded soils, problems of water shortage and the increasing pollution, all of them affected by an environment with climatic changes, makes necessary the transformation of the mexican field by means of modern and sustainable technologies to stimulate the supported and accelerated growth of it, for all of the above, the Federal Government implemented a public politics on protected agriculture under the Support Program in Equipment and Infrastructure Investment (Programa de Apoyo a la Inversión en Equipamiento e Infraestructura).In this context the present investigation evaluates the research project on the construction of a Greenhouse for the production of tomatoes by using the Theory of Real Options that compared with a traditional evaluation give us the advantage of mitigating the risk of investment or the uncertainty associated with this project.

Key words: Project, protected agriculture, investment, uncertainty, real options.

1 INTRODUCCIÓN

El sistema de producción bajo agricultura protegida, es una alternativa que contribuye a este objetivo dadas sus características específicas de alta producción por unidad de superficie, uso eficiente de los recursos naturales, oferta de productos por unidad de superficie, uso eficiente de los recursos naturales, oferta de productos de mejor calidad y durante todo el año, la generación de polos de desarrollo y el control de buena parte de los factores adversos para la producción agrícola; impactando en la generación de empleos y evitar la migración de hombres y mujeres.

Los productores de cultivos para la exportación están cada vez más convencidos de que la inversión en nuevas tecnologías para sus sistemas de producción es un factor importante para obtener una mayor productividad y calidad en su cosecha. El uso de estructuras como invernaderos permite a los productores obtener cosechas por un periodo más prolongado durante épocas donde no es factible producir a cielo abierto (Moreno, 2007).

La producción en invernadero es un gran atractivo en la producción de cultivos destinados a los mercados de exportación cuyos consumidores exigen calidad, permanencia y productos más sanos y pagan precios más elevados por ellos (Chávez, 2004). Desde el punto de vista social los invernaderos rústicos representan una alternativa de producción viable con perspectivas comerciales para mejorar el ingreso familiar de campesinos minifundistas (De la Rosa, 2003).

La superficie establecida con invernaderos en México durante el 2004, incluidas las casa-sombras, era de alrededor de 2,800 ha, con una tasa de incremento anual sostenido del 20 al 30% (Molina y Steta, 2004). Por otro lado, se estimó que en México en el año 2002 se produjeron alrededor de 92,000 ton métricas de productos con un valor de \$225 millones de dólares (Cook, 2005).

Los cultivos que ocupan mayor superficie en invernadero a nivel nacional son el tomate bola, racimo y cherry, con 65%, pepino 20%, pimiento 10% y el resto se distribuye entre melón, sandía, calabaza y ornamentales (Molina y Steta, 2004).

1.1. Desafíos de la Agricultura Mexicana

Entre los desafíos más importantes que enfrenta la agricultura y el sector rural en el siglo XXI destacan:

El abastecimiento o seguridad alimentaria.

El reto consiste en producir comida suficiente para alimentar a una población mundial que alcanzará 8 mil millones de habitantes en el año 2025 o 2030 y 10 mil millones antes del 2050, incremento que tendrá lugar sobre todo en los países en desarrollo.

La agricultura protegida como motor en la reducción de la pobreza.

La agricultura protegida deberá contribuir a la reducción del predominio de la pobreza rural en el mundo. Actualmente, alrededor del 70% de los pobres habitan en el medio rural y la mayoría obtiene alguna o toda su renta a partir de actividades agrarias. Se trata de millones de pequeños agricultores que viven en condiciones de pobreza. Además, la agricultura utiliza más del 70% del agua dulce del mundo y los sistemas agrícolas se caracterizan por su biodiversidad. Las actividades agrícolas influyen en los límites de bosques y desiertos, por tanto, la cuestión de mejorar la gestión de los recursos naturales está ligada íntimamente a la mejora de la productividad y rentabilidad de los agricultores en los países en desarrollo (Bastida, 2008).

El uso actual y el deterioro de los recursos naturales.

El tercer desafío consiste en crear un conjunto de tecnologías, incentivos y políticas que estimulen a los pequeños agricultores en el uso racional y sostenible de los recursos naturales.

Problemas básicos de la agricultura mexicana

Limitantes de suelo y relieve

En México aproximadamente el 14 % de la superficie nacional tiene capacidad y vocación agrícola, del cual los sistemas y cultivos agrícolas ocupan casi la totalidad de esa superficie, por lo que ya no se dispone de áreas para la apertura de nuevos terrenos al cultivo bajo técnicas tradicional y convencional. En cuanto al tipo de relieve, el 64% del territorio nacional (aproximadamente 130 millones de hectáreas) no es apto para el uso agrícola rentable, por ser demasiado montañoso (pendientes de 25° o más) o muy delgado, como producto de la erosión. Aproximadamente el 64% de la superficie dedicada a la agricultura está sometida a procesos de erosión hídrica, el 94% a la erosión eólica y varias regiones agrícolas tienen problemas de baja fertilidad, salinización, contaminación e inundaciones de terrenos (Bastida, 2008).

Limitantes de agua e ineficiencia en su uso

El 75% del territorio nacional son regiones áridas y semiáridas donde se ha registrado una creciente recurrencia de sequías en los últimos años. En el 50% del territorio mexicano la precipitación es insuficiente y/o mal distribuida a lo largo del año, proceso que coincide con las pocas regiones donde los terrenos son planos. Un 80% de la superficie que se cultiva sufre de un temporal azaroso y muchas veces insuficiente, lo que ocasiona que los rendimientos por unidad de superficie sean muy bajos. La irregularidad en el suministro y la falta de agua de lluvia hacen ineficiente y, generalmente incosteable, el uso de insumos importantes para el aumento de la producción como los fertilizantes o las semillas mejoradas (Sánchez, 2004)

Del total de agua disponible en el país en el campo se consume el 76.3%, un 17% en las áreas urbanas, 5.1% en la industria, 1.4% en la acuacultura y 0.2% para generación de electricidad. Del agua dedicada al abastecimiento público, el 64 % proviene del subsuelo. Los acuíferos abastecen a 72 millones de personas, 80% de las cuales viven en ciudades. En 2009, la cobertura nacional de agua potable fue de 89.2%, mientras que la de alcantarillado fue de 85.6 %. La cobertura de estos servicios en el medio rural es menor, para el año 2009 alcanzó 71.5% en agua potable y 58.1% en alcantarillado. Adicionalmente, las fugas de la red de agua potable oscilan a nivel nacional entre 30 y 50%, situación que presenta México como uno de los países con sistemas de distribución más deficientes

En el norte del país la disponibilidad de agua por habitante alcanza niveles de escasez críticos, mientras que en el centro y en el sur es abundante. Entre los años 2000 y 2005, la disponibilidad por habitante disminuyó de 4,841 m³/año a 4,573 m³/año. La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), y el Consejo Nacional de Población (CONAPO), prevén que para el año 2030, la disponibilidad media de agua por habitante se reducirá a 3,705 m³/año.

Los distritos y unidades de riego abarcan 6.4 millones de hectáreas de las más de 20 millones dedicadas a esta actividad, y en ellas se genera el 42% del valor total de la producción agrícola. En contraste, la mayoría de los agricultores que siembran en 14 millones de hectáreas de temporal obtienen, con gran incertidumbre, cosechas modestas. Los distritos de riego emplean 48.5% del agua destinada al sector agropecuario. Actualmente, sólo se realizan acciones para tecnificar y mejorar la producción en 2.6 millones de hectáreas en regiones húmedas. El uso del agua para la agricultura es muy poco eficiente, alcanzando solamente el 46 % si se consideran los procesos de conducción y asignación, así como su forma de uso.

En este sentido, los problemas fundamentales para el aprovechamiento del agua en la agricultura son la poca infraestructura de riego y sus deficientes niveles de uso y manejo: no se aplican sistemas de captación, manejo y distribución para el agua de lluvia y para el tratamiento y uso de aguas residuales. De estas últimas el sector industrial genera 178 m³/s y sólo se trata el 15%, mientras que los 151 m³/s restantes son descargados a cuerpos receptores sin ningún tratamiento (CONAGUA, 2012).

El Plan Nacional de Desarrollo 2007–2012, señala que “en los años venideros, México enfrentará los problemas derivados del crecimiento de la demanda y la sobreexplotación y escasez del agua, los cuales, de no atenderse, pueden imponer límites al desarrollo económico y al bienestar social del país.

La disponibilidad de agua en México presenta una desigual distribución regional y estacional que dificulta su aprovechamiento sustentable. El agua debe ser considerada un bien escaso, de manera que se establezcan mecanismos para reducir su desperdicio y evitar su contaminación” (PEF, 2012).

Limitantes climáticas y fenómenos meteorológicos

En la mayor parte del centro y norte del país existe un régimen de heladas tempranas y, en ocasiones, muy tardías que limitan el calendario agrícola, las especies que pueden cultivarse, el número de cosechas que pueden lograrse y el rendimiento y calidad que pueden obtenerse, afectando la productividad y rentabilidad de los agricultores. Al mismo tiempo, la mayor incidencia de granizadas se presenta en los meses de junio, julio y agosto, con variaciones entre los diferentes climas: cálidos y semicálidos se presentan en un orden de 0 a 2 días al año, secos entre los 0 y 6 días y/o 2 a 4 días al año, templados de 0 a 18 días al año, sobre todo en el rango de 2 a 4 días, semifríos de 0 a 18 días al año, predominando el rango de 0 a 4 días; en los fríos se registran granizadas de más de 18 días al año.

Problemas de minifundismo y fraccionamiento de la tierra

El problema del minifundismo es un fenómeno social que se agudizó con el crecimiento de la población, el estancamiento en el crecimiento de la superficie agrícola del territorio nacional y la necesidad política de un reparto agrario. La tierra cultivable per cápita decreció de 0.75 hectáreas en 1960, a 0.34 en 2000 y para 2010 se espera que sea de 0.25. De los 3.8 millones de unidades de producción rural en México, 54% son menores de cinco hectáreas y el 30% son menores a dos hectáreas (Bastida, 2008).

Las principales dificultades que este proceso ha generado son la subocupación, desocupación, pobreza, conflictos sociales y emigración, entre otros. Estos problemas se han concentrado en las comunidades

indígenas, donde el 75 % de sus habitantes se encuentra en condiciones de pobreza extrema. Para revertir este proceso se requiere de una serie de acciones, entre ellas implementar sistemas de producción más eficientes y altamente intensivos, que además sean respetuosos con el medio ambiente.

Investigación, asistencia técnica y capacitación

El gasto público global de fomento rural cayó 82.6 % en el período 1982-2001, afectando partidas estratégicas como investigación, asesoría técnica y capacitación a productores, sanidad vegetal y eliminación de programas específicos como el de maquinaria agrícola. Con ello, un amplio segmento de campesinos dejó de recibir conocimientos de orden científico y tecnológico para el impulso de sus actividades productivas. De la misma forma, el crédito agropecuario entre 1980 y 1997 disminuyó a un ritmo de -2.25% promedio anual, al pasar de 119 millones de pesos reales en el primer año, a 79 millones en el segundo. El crédito agropecuario que durante medio siglo fue otorgado esencialmente por la banca estatal, fue desplazado por la banca comercial a partir de la década de los ochenta, pero bajo la cobertura estatal, ya que prestaba dinero descontado por FIRA, sin arriesgar capital propio.

La problemática de México evidencia que el desarrollo del campo requiere de estrategias distintas a la agricultura extensiva, por lo que será necesario privilegiar la producción de especies de alto valor económico, a partir del uso de técnicas muy intensivas apropiadas para predios pequeños, que disminuyan riesgos por deficiencias en la fertilidad de suelos o por fenómenos meteorológicos y climatológicos y que, en vez de desplazar, ocupen de manera productiva a la gente del campo.

Por lo que esta investigación pretende demostrar que la agricultura protegida es una opción rentable para las zonas pobres del país mediante el caso de estudio en la producción de jitomate en invernadero (Bastida, 2008).

1.2 Planteamiento del problema

En este contexto, las tendencias que permitirán avanzar en la búsqueda de soluciones a la problemática planteada se resumen en:

- El uso cada vez mayor de la agricultura intensiva (agricultura protegida, biotecnología e implantación de genes de una especie en otras para aumentar su valor económico).
- Practicar una agricultura responsable con el medio ambiente, así como buenas prácticas agrícolas que no contribuyan al deterioro ambiental.
- Optimización de los recursos humanos, financieros, de mercado y de organización, entre otros. Es decir, la concentración de la producción y de las explotaciones agrícolas, ganaderas, forestales y acuícolas en grandes unidades de producción, aunque en menor número, que operan bajo economías de escala.
- El reforzamiento de cadenas productivas a partir de la agricultura por contrato, con el fin de reducir la incertidumbre con la producción “justo a tiempo” y aprovechar las ventajas estacionales en la relación precio/producción.
- La soberanía del consumidor evidenciada en el manejo de información sobre las especificaciones, características funcionales, nutrimentales, de impacto ambiental y calidad de los productos y alimentos que consumen. De aquí que, se percibe una nueva forma de concebir al campo y su función en la sociedad.
- Abatimiento de las barreras físicas aduanales al comercio. La creación de los acuerdos comerciales como el TLC, Mercosur, Tratado con la Unión Europea, entre otros, pueden traer ventajas a productores y vendedores. No obstante, también tiene desventajas, al establecer una competencia asimétrica con el resto del mundo y establecer restricciones de otro tipo que no son precisamente arancelarias, sino que son sanitarias, ecológicas y laborales.
- Mayor participación de la sociedad civil en las políticas públicas. En particular, para el sector agropecuario, la ciudadanía es un vigilante activo de las condiciones e impacto social y ambiental en que operan las empresas de este ramo.
- Disposición y manejo de la información en la globalización, principalmente la relacionada con la toma de decisiones de tipo técnico y económico (condiciones meteorológicas, precios, oferta y demanda, entre otras).
- Cambios en los patrones de distribución de los productos y crecimiento en las cadenas de autoservicios, quienes realizan la mayoría de las negociaciones a escala mundial en la cadena de distribución.

1.3 Objetivos

Bajo la problemática descrita anteriormente, el presente trabajo plantea los siguientes objetivos:

- Evaluar la inversión de la producción de jitomate en invernadero mediante opciones reales.
- Mejorar el proceso de toma de decisiones en materia de inversiones en la producción de jitomate en invernadero por medio de una evaluación con un enfoque de opciones reales.

1.4 Hipótesis

Se plantea la siguiente hipótesis.

- Integrar las técnicas de evaluación de proyectos y el enfoque de opciones reales de salida, es un factor para mejorar sustancialmente la toma de decisiones de inversión que permite al evaluador disminuir la incertidumbre en el proceso de evaluación de proyectos.

2. MARCO TEORICO

2.1 Criterio tradicional para la evaluación de inversiones

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

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

La evaluación de proyectos que involucra algún grado de flexibilidad futura no puede llevarse a cabo con las técnicas tradicionales del valor presente neto o la tasa interna de retorno, como se sabe la regla de decisión con respecto a estos indicadores es el de aceptar todos aquellos proyectos con valor actual neto mayor o igual a cero, y aceptar todos aquellos con valor actual neto mayor o iguales a cero, y aceptar todos aquellos proyectos con tasa interna de retorno mayor o igual a la tasa interna de descuento. Se

puede decir que estas reglas son optimas cuando la oportunidad de inversión es del tipo “ahora o nunca”, o cuando el proyecto de inversión es completamente reversible.

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

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

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

En México la gran mayoría de los proyectos agropecuarios son evaluados con el enfoque tradicional por instituciones gubernamentales como el Fondo Nacional de Apoyo a las empresas de Solidaridad (FONAES) o Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA), los cuales proporcionan financiamiento o apoyos a los productores, y utilizar criterios de selección como VAN mayor a cero o TIR mayor que la tasa de descuento, lo que provoca gran tentación para alterar los proyectos, con la finalidad de que cumplan con estos criterios para así allegarse de recursos.

El enfoque tradicional de evaluación de proyectos se hace con base en indicadores de rentabilidad económica, siendo los más usados e importantes aquellos que consideran el valor del dinero en el tiempo, dentro de los cuales se tienen: Valor Actual Neto (VAN), Relación Beneficio Costo (B/C), Relación

Beneficio Inversión Neta (N/K) y Tasa Interna de Retorno (TIR). A continuación se describe brevemente cada uno de los indicadores y mencionan sus principales desventajas (Solórzano, 2002).

2.1.1 Valor Actual Neto (VAN)

El Valor Presente Neto (VPN); se determina por la diferencia entre el valor actual de la corriente de beneficios menos el valor actualizado de la corriente de costos a una tasa de actualización previamente determinada. Otra forma de calcularla es por el valor que da la sumatoria del flujo de fondos actualizados o los beneficios incrementales netos actualizados a una tasa de actualización (Ávalos, 2003).

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

Donde:

B_t : Beneficio en cada período del proyecto.

C_t : Costos en cada período del proyecto.

r : Tasa de actualización entre cien (I/100).

t : Cada periodo del proyecto (año 1,2,...T).

T : Numero de vida útil del proyecto o periodo de análisis.

$(1+r)^{-t}$: Factor de actualización.

El criterio de aceptación o rechazo del proyecto se establece en función del monto del valor actual neto. La regla es de aceptar todos aquellos proyectos independientes cuyo VAN sea igual o mayor a cero ($VAN \Rightarrow 0$). Las inversiones más atractivas serán aquellas con mayor VAN.

Desventajas:

Los flujos de caja que el proyecto promete generar pueden reemplazarse por sus valores medios esperados y éstos se pueden tratar como valores conocidos desde el principio del análisis. Este supuesto implica ignorar que la directiva puede alterarlos al adaptar su gestión a las condiciones imperantes en el mercado durante toda la vida del proyecto. Esta flexibilidad operativa aporta valor al proyecto de inversión, valor que el VAN es incapaz de reflejar (Mascareñas, 2004).

La tasa de descuento es conocida y constante, dependiendo únicamente del riesgo del proyecto. Esta tasa es fijada de acuerdo con el perfil de riesgo que tenga el elaborador del proyecto o en su caso el inversionista (adverso, neutral o amante al riesgo). Lo que implica suponer que el riesgo es constante, suposición falsa en la mayoría de los casos, puesto que el riesgo depende de la vida que le quede al proyecto y de la rentabilidad actual del mismo a través del efecto del apalancamiento operativo. Por lo

tanto, la tasa de descuento varía con el tiempo y, además, es incierta. El método del VAN trae como consecuencia que el resultado que se obtenga será hasta cierto punto subjetivo.

La necesidad del proyectar los valores esperados del activo subyacente, es decir los valores esperados del proyecto de inversión a lo largo de todo el horizonte temporal del proyecto es algo imposible o temerario en algunos sectores, porque la gran variabilidad de aquellos obligaría a esbozar todos los posibles caminos seguidos por los precios al contado a lo largo del horizonte de planificación. Como esto es muy difícil de hacer, de cara a la aplicación del VAN, arbitrariamente se eligen unos pocos de los muchos caminos posibles.

1. En cuanto a las reglas de decisión del VAN, estas pueden llevar a una decisión errónea ante escenarios de elevada incertidumbre. Un ejemplo claro sería la ejecución de un proyecto de inversión que al momento de su evaluación presentó un VAN positivo, pero al poco tiempo el precio de la materia prima se incrementa tanto que no hace viable la producción, y por lo tanto, el proyecto fracasa. Este problema puede subsanarse con la utilización de opciones reales, el cual recomienda esperar hasta que parte de la incertidumbre haya desaparecido, pero el VAN no reconoce el valor de la opción de esperar, por lo que tendrá como consecuencia una inversión irreversible y una pérdida substancial de la inversión (Domínguez, 2009).
2. El VAN no logra captar el valor de opciones asociadas, es decir, de decisiones contingentes. Los proyectos son concebidos como fijos y no se admite la posibilidad de cambio, lo que los aleja de la realidad. Contempla a un proyecto como decisión del tipo “ahora o nunca” sin incluir la posibilidad del desarrollo de un proyecto por etapas.
3. Los supuestos implícitos del VAN son difíciles de cumplir en la práctica. Uno de ellos asume que los fondos obtenidos en cada periodo no deben ser consumidos, sino que éstos deben ser invertidos hasta el final del proyecto en este o en otro. El otro supuesto establece que esta reinversión debe realizarse a la tasa de descuento que se utilizó en el proyecto. Lo anterior no es tan cierto en la práctica, debido a que la situación y los requerimientos son otros con el paso del tiempo, además que las condiciones prevalecientes en el mercado son distintas año con año.
4. Dado que el VAN es un valor absoluto, no existe una clasificación aceptable entre proyectos independientes de diferentes tamaños, es decir un proyecto grande poco rentable, puede tener un VAN mayor que un pequeño muy rentable. Por lo tanto, el error fuerte puede ser escoger el

proyecto grande de mayor VAN, cuando se tuvo que haber escogido el proyecto pequeño que presenta mayor rentabilidad.

5. Finalmente, el VAN presenta valores diferentes cuando se calcula considerando el periodo de actualización con periodo cero y con periodo uno, en donde la diferencia de una opción y otra, es igual en porcentaje a la tasa de actualización seleccionada a favor de la primera opción (periodo cero).

2.1.2 Relación Beneficio-Costo (B/C)

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

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

El criterio de aceptación o rechazo del proyecto se establece en función del valor del indicador, en donde la regla de decisión es el de aceptar todos aquellos proyectos independientes cuya relación (B/C) sea igual o mayor a uno ($B/C \geq 1$).

Desventajas:

1. Su desventaja al igual que el VAN, es que es necesario que previamente se haya elegido la tasa de actualización adecuada de acuerdo con el criterio del evaluador (adverso, neutral o amante al riesgo).
2. Dado que la relación beneficio costo (B/C) es un valor relativo no considera la escala del proyecto entre varias alternativas, por lo que tiene una utilidad limitada en decisiones de grandes decisiones, sobre todo cuando se tiene que comparar con inversiones pequeñas.

2.1.3 Relación Beneficio-Inversión Neta (N/K)

Es el cociente que resulta de dividir la sumatoria del valor actual del flujo de fondos (o beneficios incrementales netos) en los años después de que la corriente se ha vuelto positiva (N_t) entre la sumatoria del valor actual de la corriente del flujo de fondos de los primeros años, cuando esta es negativa (K_t), a una tasa de actualización determinada.

Es posible que después de que el flujo de fondos se hizo positivo, se presente un valor del flujo de fondos negativo para un periodo determinado. Para calcular la N/K en este caso, se deberá considerar que este valor negativo del flujo de fondos afectará, en ese valor, al actual de la corriente de flujo de fondos positivo. La razón para calcular la N/K de esta manera, es porque nos interesa contar con una medida de inversión que seleccione los proyectos sobre la base del rendimiento de la inversión inicial. Un valor negativo ocurrido algo después de que la corriente del flujo de fondos se ha vuelto positiva, no incrementará el capital que se necesite durante la etapa inicial del proyecto.

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

Donde:

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

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

El criterio de aceptación o rechazo del proyecto se establece en función del valor del indicador, en donde la regla de decisión es el aceptar todos aquellos proyectos independientes cuyo valor (N/K) sea igual o mayor a uno (N/K ≥ 1).

Desventajas:

1. Su desventaja al igual que los indicadores anteriores radica en que es necesario que previamente se haya elegido la tasa de actualización adecuada de acuerdo con el criterio del evaluador (adverso, neutral o amante al riesgo).
2. Otra desventaja es que su derivación e interpretación es más compleja que los indicadores previos, y además se confunde con la Relación Beneficio-Costo (B/C).

2.1.4 Tasa Interna de Retorno (TIR)

La tasa interna de retorno, denominada también, tasa de rentabilidad, es la tasa de actualización que hace que el valor actualizado de la corriente de beneficios se iguale al valor actualizado de la corriente de costos. También puede definirse como la tasa de actualización en la que el valor actualizado del flujo de fondos o beneficios incrementales netos se iguala a cero (Baca, 1995).

El cálculo de la TIR solo puede hacerse cuando en el flujo de fondos se presenta por lo menos un valor negativo en los años iniciales del proyecto; si todos los valores son positivos, ninguna tasa de actualización podrá hacer que el valor actual del flujo de fondos sea igual a cero.

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

La importancia de obtener la tasa que iguale la inversión inicial con la corriente de flujos actualizados, radica en que es dicha tasa la máxima de retorno requerida (o costo del capital) que la empresa puede aceptar para financiar el proyecto sin perder dinero. Si un proyecto se financia con una tasa igual a la TIR, la empresa lograra que los fondos generados por un proyecto alcancen exactamente para pagar exactamente el servicio de la deuda (capital más intereses). Si por el contrario, la TIR es superior a la tasa de financiamiento, el proyecto será rentable, y análogamente si la TIR es inferior, se perderá dinero si el proyecto se lleva adelante. El criterio de selección con base en la TIR, es el de aceptar todos aquellos proyectos independientes cuya TIR sea igual o mayor a la tasa de actualización seleccionada ($TIR = > i$).

Desventajas:

1. Si se utiliza en proyectos de diferente magnitud que se excluyan mutuamente, trae como consecuencia que la comparación de dichos proyectos con base en este indicador puede llevar a una selección errónea de inversión, y por lo tanto, destinar el proyecto a un fracaso.
2. El supuesto de que todos los rendimientos generados año tras año durante la vida útil del proyecto serán reinvertidos al valor de la TIR, es muy improbable; ya que éste asume que no existe otra alternativa posible de inversión. En la realidad, una empresa tiene varias opciones por las que podría inclinarse para invertir parte de sus rendimientos del proyecto, y con esto tener una mayor cobertura para minimizar el riesgo de pérdida de recursos monetarios.
3. La mayoría de las propuestas de inversión consisten en un desembolso inicial, o una serie de desembolsos iniciales, seguidos por una serie de ingresos positivos, lo cual implica que se tenga una sola TIR. Sin embargo, no todas las propuestas de inversión generan flujos de efectivo de este tipo. Para algunos proyectos, los desembolsos requeridos no están restringidos a los primeros períodos de vida de la inversión. Por consiguiente, es posible que en los flujos de efectivo netos existan varios cambios de signo. Para estos casos, es posible que el proyecto presente el fenómeno de tasas múltiples de rendimiento. Lo anterior, ocasiona que el criterio de decisión falle al no saber cuál es la tasa a considerar como válida (Coss, 2004).

2.1.5 Análisis de sensibilidad

Consiste en elaborar un nuevo flujo de costos y beneficios haciendo variar algunas de las variables que presentan mayor riesgo (mayor variabilidad), y de esta manera ver qué es lo que sucede con la rentabilidad del proyecto bajo condiciones diferentes a las que sirvieron de base para el análisis inicial. Al realizar dichos cambios se va a modificar el valor de los indicadores de rentabilidad, y con ello se observará el grado de sensibilidad del proyecto ante los cambios en las variables modificadas.

Esto permite dar un dictamen con mayor sustento para la ejecución del proyecto de inversión. Lo anterior es una primera aproximación sobre la administración del riesgo, sin embargo es muy precaria.

Desventajas

1. El presente análisis consiste en realizar diferentes escenarios que pudieran presentarse en cuanto al comportamiento de algunas variables, las cuales afectarán directamente a los flujos de fondos. Sin embargo, esta manipulación de variables lo determina el evaluador, lo cual se aleja de la realidad, pues que en la práctica puede presentarse escenarios que queden totalmente alejados de los que el evaluador contemplo en este análisis. Algunas manipulaciones pudieran ser que el precio de venta del producto o servicio caiga, que los costos de producción aumenten, que la tasa de actualización se incremente, o una combinación de los anteriores.
2. Cabe señalar que este análisis es solo una primera aproximación en la incorporación de la incertidumbre para obtener el retorno del proyecto. Su diferencia, es que a pesar de que tenga diferentes escenarios, no significa que esta estrategia permita tomar decisiones contingentes, sino que las decisiones se mantienen fijas en cada uno, por ejemplo; si se supone que los costos se incrementarán en 10% se calculará el nuevo flujo de fondos solo para este caso, por lo que si en la práctica los costos suben en 15, 20, 30% o en cualquier otra magnitud, el análisis se verá muy limitado. Sumado a lo anterior, no existe forma de interrelacionar los escenarios para poder tomar decisiones contingentes (Domínguez, 2009).

2.2. Las opciones reales como un método para evaluación de proyectos bajo incertidumbre

El desarrollo actual de los mercados globales, la modernización de las comunicaciones, la automatización de los procesos, lleva aparejada una nueva forma de organizar la producción, la industrialización y la comercialización de los productos alimenticios en los que se conoce como Redes de Valor. Estos cambios impactan en la evaluación de los nuevos proyectos de inversión hacia este sector. Los mecanismos tradicionales de evaluación no son suficientes y subvalúan dichos proyectos y es necesario asomarse a nuevas metodologías para el dictamen de proyectos productivos. Las Opciones Reales es una metodología utilizada en opciones financieras pero adaptadas a proyectos reales y que evalúan con mayor precisión en un ambiente de cambios e incertidumbre.

Las opciones reales como un avance en la metodología de evaluar proyectos es adecuada para una agricultura nueva, donde el productor participa como proveedor de una red de valor y se tiene que adecuar rápidamente a los cambios que tiene que hacer la red para satisfacer las necesidades cambiantes del consumidor. Incluir en la evaluación el valor de la flexibilidad, permite evitar el rechazo de buenos proyectos de una agricultura nueva que sí agregan valor. No como sucede en la actualidad, que al aplicar la metodología tradicional se rechazan buenos proyectos por una deficiencia en el instrumento que los subvalúa (Brambila, 2006).

2.2.1. Teoría de opciones Financieras

Solórzano (2002) plantea que el modelo de flujos de efectivo descontados representa la plataforma básica para la mayoría de los análisis financieros. En el análisis de inversiones, por ejemplo, el punto de vista convencional es que el **valor presente neto** de un proyecto es la medida del valor que ese proyecto añadirá a la empresa que lo lleve a cabo. De esta forma, el invertir en un proyecto con valor presente neto positivo (o negativo), aumentará (o disminuirá) el valor de la firma. En las decisiones de estructura de capital, una mezcla financiera que minimiza el costo de capital sin desequilibrar los flujos operativos de efectivo, incrementa el valor de la empresa y es visto como la mezcla óptima. En valuación, el valor de una compañía es el valor presente de los flujos de efectivo esperados de los activos de la empresa.

Estos trabajos han fallado en la consideración de las alternativas involucradas en cada uno de estos proyectos. Por ejemplo, el valor presente neto de un proyecto no captura los valores de las opciones de posponer, expandir o abandonar un proyecto. Cuando se compara con **inversiones**, la aproximación tradicional de escoger el modelo con el retorno más alto o el valor presente puede pasar por alto a las inversiones que ofrecen más flexibilidad para las operaciones de una empresa. Un modelo financiero que se enfoca en minimizar los **costos de capital** actuales, no considera el valor de la flexibilidad financiera que implica tener una capacidad de exceso de deuda. En un enfoque similar, las empresas que se abstienen de regresar utilidades a sus accionistas y acumulan grandes saldos de efectivo, tendrían también la posibilidad de ser guiadas por el objetivo de flexibilidad financiera.

El valor de la acción obtenido de un modelo de valuación de flujos de efectivo descontados, no cuantifica la opción de controlar, y de ser necesario, liquidar la empresa que los inversionistas de dicha acción poseen, e ignora otras opciones que podría tener la empresa, como patentes, licencias y derechos a reservas naturales.

En evaluación de adquisiciones, a menudo no son consideradas las opciones estratégicas que pueden abrirse para la firma adquiriente como resultado de la transacción. Las limitantes principales que han encontrado los esquemas tradicionales de valuación, se pueden resumir en que se apoyan totalmente en los pronósticos de los flujos, creando una ilusión de certidumbre sobre los números que éstos presentan. Algunas compañías tratan de evitar esto expandiendo el análisis a varios escenarios de predicción, sin que tal estrategia pueda eliminar la subjetividad de los pronósticos de los flujos. Otro problema es que estos modelos hacen tomar decisiones estáticas que al final del período, pueden no ajustarse a la realidad presentada.

Cuando se considera a la incertidumbre como una variable para los modelos de valuación, el marco de toma de decisiones cambia por completo y ésta es uno de los principales objetivos de la manera de enfocar un problema bajo opciones reales: la incertidumbre crea oportunidades.

Al rediseñar las estrategias de valuación, deben enfocarse los mercados en términos de la fuente, tendencia y evolución de la incertidumbre, determinar el grado de exposición de la inversión (cómo se traducen los eventos externos a ganancias o pérdidas) y reposicionar los planteamientos de tal manera que se tome la mayor ventaja posible de la incertidumbre.

El enfoque de opciones reales intercala los efectos de tiempo e incertidumbre en la valuación a través de la teoría financiera que respalda los modelos de tarificación de opciones y es por esto que debe explorarse con profundidad dicha teoría antes de determinar y definir las opciones involucradas en la toma de decisiones con respecto a activos reales.

Estas opciones necesitan no solo ser consideradas de forma explícita y ser evaluadas, sino que también el valor de estas opciones puede ser sustancial. Muchas inversiones y adquisiciones que no serían justificables por otros medios de valuación, pueden tener un valor muy atractivo si se consideran las opciones incluidas en ellas.

Aunque existan opciones involucradas en las acciones, deben tenerse en cuenta las condiciones que tienen que cumplirse para que estas opciones tengan valor.

2.2.2. Conceptos básicos de la tarificación de opciones

Una opción representa el derecho mas no la obligación que tiene el tenedor de ésta, para vender o comprar una cantidad determinada de un bien o activo subyacente (puede ser una acción, mercancía básica, divisa, instrumento financiero, etc.) a un precio preestablecido (llamado precio de ejercicio o precio strike) dentro de un período determinado que comprende cualquier fecha anterior o igual a la fecha de expiración de la opción.

Aunque las opciones son los instrumentos más sencillos, también son los más flexibles y sofisticados que existen en la administración de riesgos. En los mercados financieros internacionales se comercian opciones sobre acciones, divisas, instrumentos de deuda y sobre tasas de interés, así como contratos de futuros.

Muchas entidades mexicanas utilizan opciones de divisas, de tasas de interés y de precios de mercancías básicas para especular y cubrirse. Las opciones sobre tasas de interés internacionales y tipos de cambio tienen un gran potencial para los mexicanos que participan en los mercados cambiarios y de divisas. Por ejemplo, los bancos mexicanos tienen activos y pasivos en dólares estadounidenses y sus portafolios con frecuencia están expuestos al riesgo de un alza en las tasas de interés internacionales. De igual manera, algunas empresas mexicanas son deudoras netas en dólares estadounidenses y, en la medida que avance la apertura económica, están más expuestas a movimientos de tipos de cambio, no sólo del peso frente al dólar sino también del peso/yen, peso/dólar canadiense, etc. Todos estos riesgos deben cubrirse con opciones.

La manera más sencilla de entender la esencia de un contrato de opciones es estableciendo su similitud con una póliza de seguro. Por ejemplo, si una persona desea asegurar su automóvil contra riesgos de accidente durante un año, le paga a una compañía aseguradora una prima (cuyo monto dependerá de la probabilidad de que el accidente suceda). A cambio, la aseguradora subsana con cierta cantidad de dinero, en caso de que en el transcurso del contrato, ocurra un accidente. Si el siniestro no se presenta, el asegurado pierde su prima y únicamente pagó por la protección. Aunque el enfoque no siempre se centra en estas coincidencias, la póliza de seguro es una opción. De hecho, la aseguradora vendió la opción de recibir una indemnización determinada; opción que puede ser ejercida únicamente si existe el accidente.

Lo que en los mercados internacionales se conoce como opciones es lo que se refiere a opciones financieras (de acciones, índices accionarios, divisas, tasas de interés) y opciones sobre mercancías

básicas (petróleo, plata, café, etc.). Éstas funcionan como una póliza de seguros en la siguiente forma: un inversionista con acciones de una empresa quiere proteger el precio de venta de dichas acciones. Puede pagar una prima por una opción de venta para adquirir derecho a vender sus acciones a un precio dado – el precio de ejercicio – durante un período determinado. Si el precio de las acciones baja hasta el precio de ejercicio o incluso por debajo de éste, el inversionista estará protegido. Puede vender sus acciones al precio más alto posible, de acuerdo con su contrato de opciones. Sin embargo, si el precio de las acciones se mantiene por arriba del precio de ejercicio, la opción expira sin haberse utilizado y el inversionista solo pierde la prima de cobertura.

Como es un derecho y no una obligación, el poseedor de la opción puede elegir no ejercer el derecho y permitir que la opción expire. Existen dos tipos de opciones:

- Opción **put** u opción de **venta**
- Opción **call** u opción de **compra**
- En principio, todos los contratos de opciones, ya sea para comprar (call) o para vender (put) deben especificar las siguientes características:
 - El activo o bien subyacente
 - El monto o precio del activo subyacente
 - El precio de ejercicio al cual se puede ejercer la opción (también conocido como precio strike)
 - El tiempo de vencimiento

2.2.3. Opciones put y call: descripción y gráficas de pago

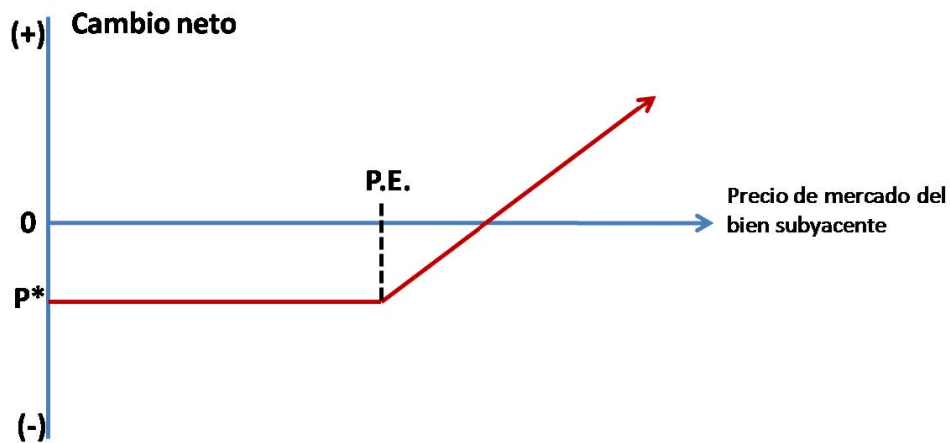
Una **opción call** indica el derecho (más no la obligación) del comprador de la opción a comprar el activo subyacente a un precio de ejercicio, en cualquier tiempo determinado anterior o igual a la expiración de la opción. El comprador paga un precio (prima) por este derecho. Si a la fecha de expiración,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

El gráfico de perfil de riesgo (pérdidas o ganancias) ilustra el pago en efectivo de una opción al momento de su expiración. El eje Y muestra las utilidades o pérdidas netas derivadas de los movimientos en el

precio del bien subyacente, una vez que se adquirió la opción. El eje X indica el precio del bien subyacente, una vez que se adquirió la opción. El eje X indica el precio del bien subyacente, teniendo a P.E. como el valor de precio de ejercicio. El comprador de la opción paga una prima, la cual representa una pérdida neta indicada como P^* en la figura. Para un call, el pago final neto es negativo (e igual al precio pagado por el call) si el valor del activo subyacente es menor que el precio de ejercicio y bajo este esquema, la pérdida máxima ascendería al monto de la prima. Si, por otro lado, el precio del activo subyacente es mayor que el precio de ejercicio, el pago bruto es la diferencia entre el valor del activo subyacente y el precio de ejercicio y el pago neto es la diferencia existente entre el pago bruto y el precio de la prima de la opción call.

Mientras más alto sea el precio del mercado con relación al precio de ejercicio, mayor será la utilidad neta; así lo muestra la recta de pendiente positiva. Esta función no corta el eje de las X en P.E., aunque el poseedor de la opción call puede ejercerla en este punto, sus utilidades netas son positivas hasta que recupera la prima P^* . El comprador de un call tiene un riesgo conocido y limitado de pérdida, y una posibilidad desconocida e ilimitada de ganancia. Cuando un individuo adquiere un seguro, paga una cuota de riesgo sin conocer en algunos casos, a cuánto ascenderá el monto máximo de cobertura.

Figura 1. Perfil del comprador de un call



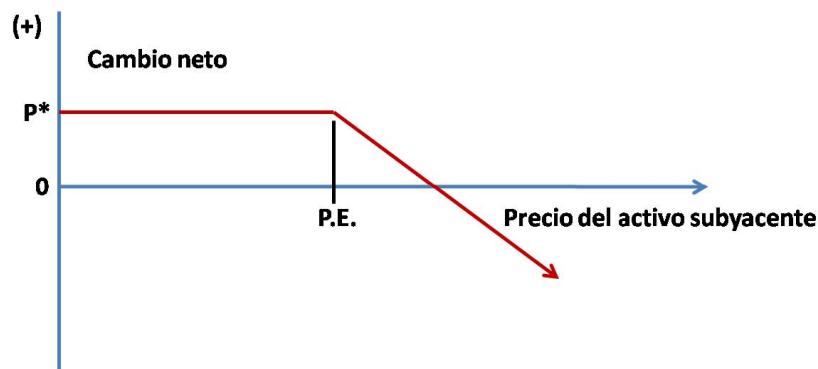
Fuente: Solórzano Vargas, F. 2001. Valuación de proyectos de inversión a través de opciones reales

El perfil de riesgo o ganancia del vendedor de la opción call se muestra en la siguiente figura. Es una imagen inversa a la anterior: el vendedor de esta opción recibe una prima P^* . A medida que el precio del bien subyacente permanece por debajo del precio de ejercicio precio de ejercicio (P.E), la opción no se ejerce y su utilidad es la prima. Pero si se ejerce, el vendedor está obligado a ofrecer cierta cantidad del

bien subyacente al precio de ejercicio, que por definición, será menor al del mercado. Mientras mayor sea el precio en el mercado con respecto al precio de ejercicio, mayores serán las pérdidas netas del vendedor de la opción y esto es representado por la función con pendiente negativa. Esta línea no corta el eje de las X en P.E. pues aunque la opción se ejerza, el vendedor no registrará una pérdida neta hasta que el precio de mercado sea tan alto en relación con el precio de ejercicio que sobrepase el monto de la prima.

El vendedor de un call tiene potencial de ganancia que es conocido y limitado y un potencial de pérdida desconocido e ilimitado. Por esta razón, las bolsas requieren que los vendedores de opciones entreguen margen. Aquél que venda opciones en los mercados de mostrador, debe contar con una calidad crediticia muy alta y, en caso de que se les pida, constituir un depósito como margen en el banco comprador (concepto equivalente al capital mínimo de garantía de una compañía de seguros).

Figura 2. Perfil del vendedor de un call



Fuente: Solórzano Vargas, F. 2001. Valuación de proyectos de inversión a través de opciones reales

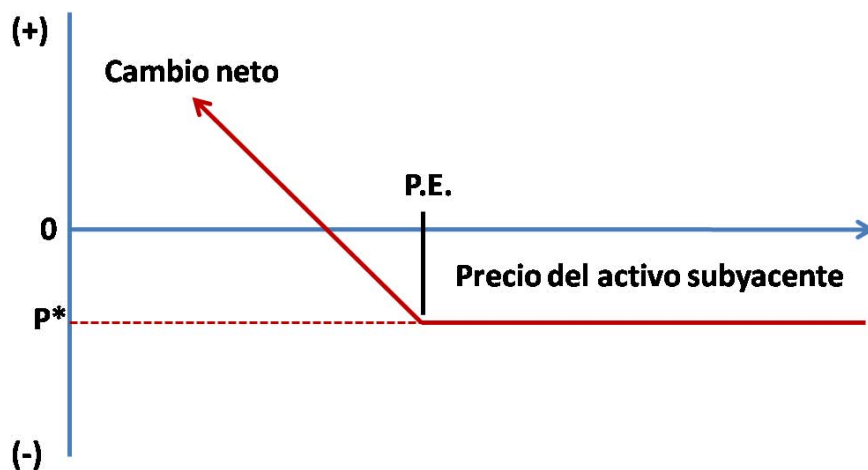
Una opción put le otorga a su comprador el derecho (mas no la obligación) de vender cierta cantidad de un bien (el activo subyacente) a un precio determinado (precio strike o de ejercicio), durante un lapso previsto (cualquier fecha anterior o igual a la fecha de expiración). Para adquirir este derecho,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

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

El Gráfica muestra el perfil de riesgo o ganancia del comprador de una opción put. El eje Y indica las ganancias y pérdidas netas, que corresponden a movimientos del precio del bien subyacente durante el plazo de vigencia de la opción. El eje X mide el precio del activo subyacente, siendo P.E. el precio de ejercicio. El comprador de la opción paga una prima que representa el gasto neto P*. Si el precio del activo subyacente es mayor que el de ejercicio, el comprador del put solamente pierde la prima. En cambio, si el precio es menor o igual que P.E., el tenedor del put puede ejercerla y vender el activo al precio de ejercicio. Mientras más bajo sea el precio de mercado con relación al de ejercicio, mayores serán las ganancias, hecho que demuestra la función de pendiente negativa. Ésta no corta el eje X en P.E. pues si el comprador ejerce su opción de venta, sus utilidades netas serán positivas hasta que recupere la prima.

El comprador de un put tiene un riesgo conocido y limitado de pérdida, y una posibilidad desconocida de ganancias, limitada a que el precio del subyacente baje hasta cero (no es ilimitada porque este precio no puede ser negativo).

Figura 3. Perfil del comprador de un put



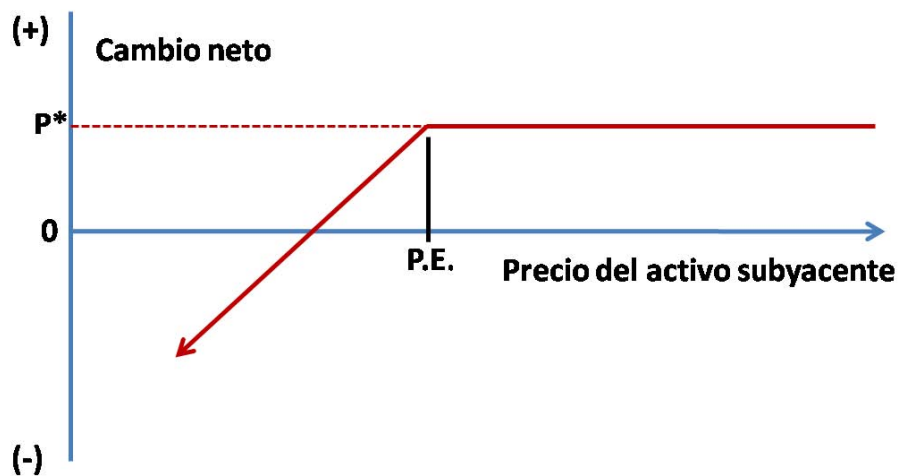
Fuente: Solórzano Vargas, F. 2001. Valuación de proyectos de inversión a través de opciones reales

El perfil de riesgo o ganancia del vendedor de una opción put se muestra en la siguiente gráfica. Análogamente, representa el inverso del gráfico anterior. El vendedor de un put recibe la prima P* y a medida que el precio del activo subyacente sea mayor que el de ejercicio (P.E), el vendedor conserva la prima. Una vez que la opción es ejercida su vendedor está obligado a comprar una cantidad del bien subyacente de acuerdo con el contrato de opción, al precio de ejercicio (que por definición, es superior al

de mercado). Mientras menor sea el precio de mercado, respecto al de ejercicio, mayores serán las pérdidas netas del vendedor de la opción put. La anterior aseveración puede observarse en la línea con pendiente positiva, que no corta el eje X en P.E. ya que incluso cuando se ejerce la opción, el vendedor no registrará una pérdida neta sino hasta que el precio de mercado sea más bajo que el de ejercicio, generando una pérdida que supere la ganancia neta obtenida de la prima.

El vendedor de una opción put tiene una ganancia potencial conocida y limitada, y una pérdida potencial desconocida y limitada a que el precio del subyacente baje hasta cero. Se requiere que los vendedores de opciones en bolsa constituyan un depósito de margen y si el precio del activo subyacente se mueve en contra del vendedor, puede requerírsele margen adicional. Los vendedores de opciones en el mercado extrabursátil deben contar con una calificación crediticia muy alta y probablemente se les exija constituir depósitos o reservas de buena fe.

Figura 4. Perfil del vendedor de un put



Fuente: Solórzano Vargas, F. 2001. Valuación de proyectos de inversión a través de opciones reales

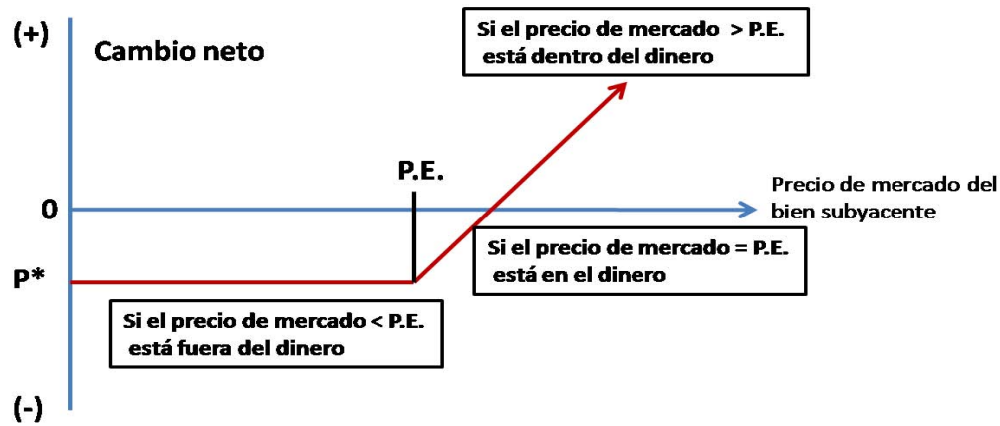
2.2.4. Determinantes del valor de una opción

Las primas de las opciones se determinan mediante la interacción de la oferta y la demanda, que depende de las variables que relacionan el activo subyacente con los mercados financieros:

- a. **Valor Actual del Activo Subyacente:** Las opciones son acciones que derivan su valor de un activo subyacente. Consecuentemente, los cambios en el valor de éste, afectan el valor de las opciones sobre esa acción. Como los calls dan el derecho de comprar el activo subyacente a un precio establecido, un incremento en el valor de dicho activo, incrementará su valor. Por otro lado, los puts se vuelven menos valiosos al incrementar el valor del activo subyacente.
- b. **Varianza en el Valor del Activo Subyacente:** El comprador de una opción adquiere el derecho de comprar o vender el activo subyacente a un precio fijo. Mientras más alta sea la varianza en el valor de ese activo, mayor será el valor de la opción. Esto se cumple tanto para los puts como para los calls. Aunque pareciera obvio que un incremento en la medida de riesgo (varianza) debería incrementar el valor, el supuesto no es redundante al tener en cuenta que las opciones son diferentes a otros o instrumentos ya que los compradores de opciones nunca pueden perder más que el precio que pagaron por ellas; de hecho, tienen el potencial de ganar retornos significativos al existir movimientos de precio grandes.
- c. **Precio de Ejercicio de la Opción:** Una característica clave que se usa para describir una opción es su precio del ejercicio. En el caso de calls, donde el comprador adquiere el derecho de comprar a un precio fijo, el valor del call declinará mientras dicho precio se incremente. En el caso de puts, donde el comprador tiene derecho de vender a un precio fijo, el valor incrementará mientras este precio se incrementa.

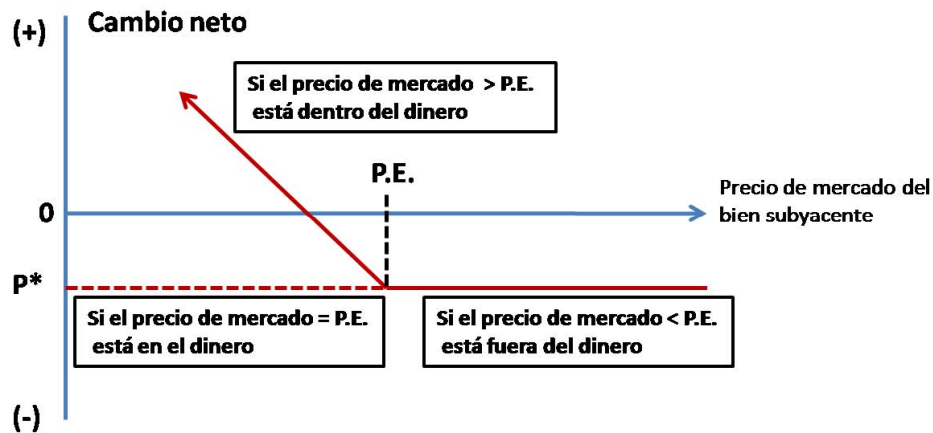
Las siguientes gráficas explican la relación entre el precio de mercado y el de ejercicio para los dos tipos de opciones. En un call, si el precio de mercado es menor que el de ejercicio, la opción no puede ser ejercida y queda “fuera del dinero” (“out of themoney”). Si el precio de mercado es igual al de ejercicio, entonces sí puede ejercerse y se dice que está “en el dinero” (“at themoney”). Cuando el precio de mercado es mayor que el de ejercicio, la opción puede ejercerse con una utilidad, en la medida que el precio de mercado sea más alto en relación con el precio de ejercicio y en este caso se dice que la opción está “dentro del dinero” (“in themoney”). Cuando una opción put, está fuera del dinero su valor es menor.

Figura 5. Relación entre el precio de mercado y el de ejercicio para una opción call



Fuente: Solórzano Vargas, F. 2001. Valuación de proyectos de inversión a través de opciones reales

Figura 6. Relación entre el precio de mercado y el de ejercicio para una opción put

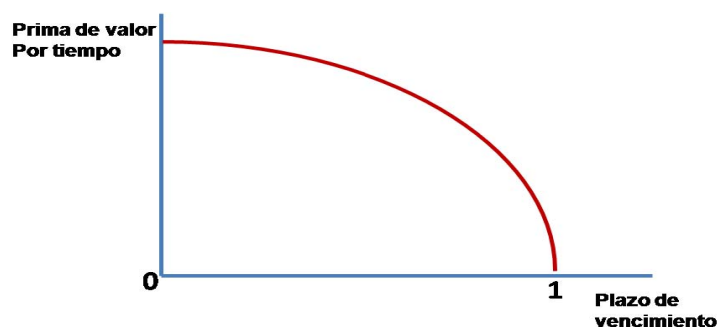


Fuente: Solórzano Vargas, F. 2001. Valuación de proyectos de inversión a través de opciones reales

- a. **Tiempo de Duración de la Opción:** Las opciones son activos que se deprecian con el tiempo. De la misma forma en que una póliza de seguro por un año cuesta más que otra por una semana, una opción a más largo plazo cuesta más que una a plazo menor. Tanto los puts como los calls incrementan su valor dependiendo de su duración. Esto es porque mientras más grande sea el

período, es mayor el tiempo que el activo subyacente tiene para variar su valor, y la opción para ejercerse, haciendo que el valor para ambos tipos de opciones crezca. Adicionalmente, en el caso de un call donde el comprador tiene que pagar un precio fijo a la expiración, el valor presente de este precio fijo disminuye cuando la duración de la opción se incrementa, haciendo que el valor del call aumente.

Figura 7. El valor de una opción decrece en el tiempo



Fuente: Solórzano Vargas, F. 2001. Valuación de proyectos de inversión a través de opciones reales

e. Tasa de Interés Libre de Riesgo correspondiente al período de vida de la Opción: Cuando el comprador de una opción paga el precio de carátula de la opción, se involucra un costo de oportunidad por haber invertido en una opción en vez de elegir otro instrumento financiero. Este costo dependerá del nivel de las tasas de interés y el tiempo hasta la expiración de la opción. La tasa libre de riesgo también entra en la valuación de opciones cuando el valor presente del precio de ejercicio se calcula, pues este precio no tiene que ser pagado (o recibido) hasta la expiración de los calls (o puts). Cuando la tasa de interés aumente, se incrementará el valor de los calls y se reducirá el valor de los puts.

f. Dividendos Pagados sobre el Activo Subyacente: El valor del activo subyacente puede disminuir si se hacen pagos de dividendos sobre este activo durante la duración de la opción. En consecuencia, el **valor de un call** es una *función decreciente* del monto esperado de los pagos de dividendos, y el **valor de un put** es una *función creciente* de los pagos esperados de dividendos. Una manera más intuitiva para enfocar los pagos de dividendos en las opciones call, es el costo de posponer el ejercicio de las opciones “in the money”. Considérese una opción sobre una acción intercambiada. Una vez que la opción call está “in the money”, esto es, el poseedor de la opción tendrá un pago bruto al ejercer la opción. El ejercer la opción call proveerá al tenedor con la acción y lo hace acreedor a los dividendos sobre la acción en períodos subsecuentes. El no ejercer la opción implicará que estos dividendos se pierdan.

Cuadro 1. Resumen de variables que afectan los precios de puts y calls

FACTOR	EFECTO EN	
	VALOR DE CALL	VALOR DE PUT
Incremento en el valor del activo subyacente	Aumenta	Disminuye
Incremento en el precio del ejercicio	Disminuye	Aumenta
Incremento en la varianza del activo subyacente	Aumenta	Aumenta
Incremento en el tiempo a la expiración	Aumenta	Aumenta
Incremento en la tasa de interés	Aumenta	Disminuye
Incremento en dividendos pagados	Disminuye	Aumenta

Fuente: Solórzano Vargas, F. 2001. Valuación de proyectos de inversión.

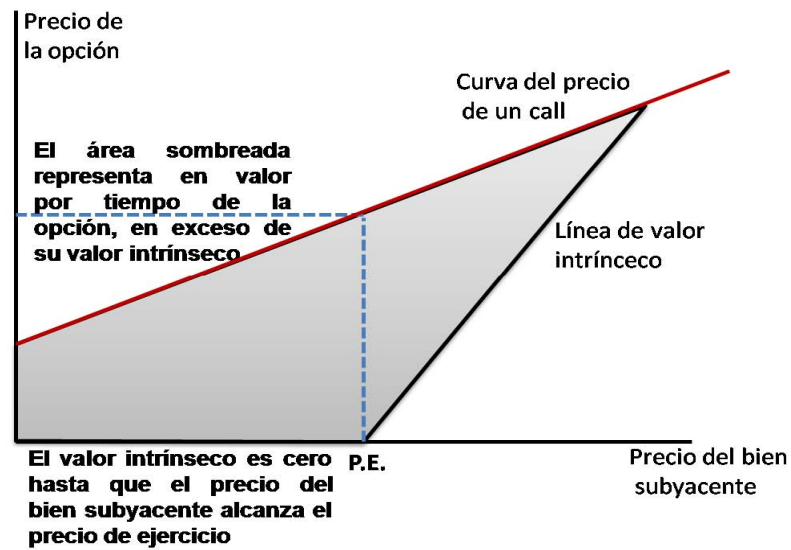
2.2.5. Valor por tiempo y valor intrínseco

El tiempo al vencimiento y la varianza determinan el valor por tiempo de una opción y la relación entre el precio del bien subyacente con el precio de ejercicio determinan el valor intrínseco. El valor total de una opción está dado por:

Valor de la opción = valor por tiempo + valor intrínseco

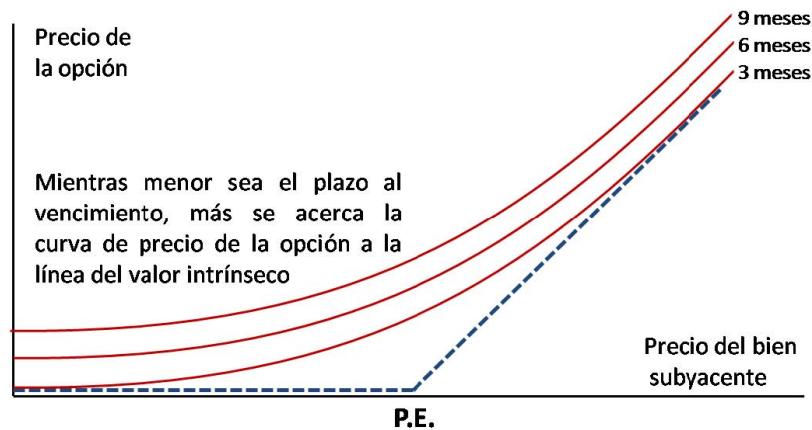
En la siguiente figura, la línea punteada indica el valor intrínseco de la opción call como una función del precio del activo subyacente en relación con el precio de ejercicio. En el rango de precios en el cual el precio del activo subyacente es menor que el de ejercicio, el valor intrínseco de la opción es cero (la opción no puede ejercerse). Una vez que el precio del activo subyacente iguala o supera al de ejercicio, la opción comienza a tener un valor intrínseco positivo (puede ejercerse con utilidades). El área sombreada entre la curva del precio de la opción y la línea del valor intrínseco, representa la prima del valor por tiempo de la opción. Por lo tanto, en el rango de precios del activo subyacente donde la opción no puede ejercerse (por ser su valor intrínseco cero), aún tiene una prima positiva, ya que tiene valor por tiempo.

Figura 8. Valor intrínseco y valor por tiempo en la opción call



Fuente: Solórzano Vargas, F. 2001. Valuación de proyectos de inversión a través de opciones reales

Figura 9. Curvas de precios para opciones call con plazos de vencimiento



Fuente: Solórzano Vargas, F. 2001. Valuación de proyectos de inversión a través de opciones reales

La gráfica anterior muestra la disminución del valor por tiempo durante la vida de la opción. Por ejemplo, la opción call a 9 meses tiene un valor por tiempo mayor que la de 6 y ésta más que la de 3. Finalmente, al vencimiento de la opción, su valor de tiempo es de cero, y el valor de la opción es precisamente su valor intrínseco.

2.2.6. Opciones americanas y europeas: variables relacionadas al ejercicio anticipado

Una distinción primaria entre las opciones americanas y las europeas es que las primeras pueden ser ejercidas en cualquier tiempo anterior a su expiración, mientras las segundas solamente se pueden ejercer en la fecha de expiración. La posibilidad de un ejercicio anticipado hace que las opciones Americanas sean más valiosas que sus similares Europeas; también por eso son más difíciles de valorar aunque existe un factor de compensación que permite que lo continuo (ejercicio en cualquier período anterior a la fecha puntual) sea valorado usando modelos diseñados para lo discreto (ejercicio en la fecha puntual).

En muchos casos, la prima de tiempo asociada a la vida restante de una opción y los costos de transacción hacen que el ejercicio anticipado no sea la decisión óptima. En otras palabras, los tenedores de opciones “in the money” generalmente obtendrán más vendiéndolas a alguien más (en caso de que no quieran conservarlas) que ejerciéndolas anticipadamente.

Aunque el ejercicio anticipado no es lo más recomendable generalmente, existen al menos dos excepciones a la regla:

- a. Cuando el activo subyacente paga grandes dividendos, ya que esta característica reduce el valor del activo y cualquier opción call sobre ese activo. En este caso, las opciones call pueden ejercerse justo antes de una fecha anterior a la entrega de dividendos si la prima de tiempo de las opciones es menor que la disminución esperada en el valor del activo a consecuencia del pago de tal dividendo.
- b. Cuando un inversionista tiene una **put “in-the money”** sobre un activo en un período en que las tasas de interés son altas. En este caso, la prima de tiempo del put puede ser menor que la ganancia potencial de ejercer el put anticipadamente y ganar interés sobre el precio del ejercicio.

2.3 Modelos de tarificación de opciones

La teoría de tarificación de opciones ha mostrado algunos cambios desde 1972 cuando Black y Scholes publicaron su trabajo mostrando un modelo para valorar opciones Europeas protegidas de la entrega de dividendos.

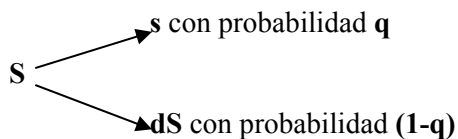
Black y Scholes utilizaron un “**portafolio de réplica**” para obtener su fórmula final. Este portafolio estaba compuesto por el activo subyacente y el activo libre de riesgo que tenía los mismos flujos de efectivo que la opción que se estaba evaluando. Mientras esta derivación es matemáticamente complicada, existe un modelo binomial para valorar opciones que es bastante más simple y que contiene la misma lógica.

2.3.1. Modelo binomial

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

En el modelo binomial es importante tomar en cuenta que no importa el tipo de problemas sobre opciones reales que se esté tratando de resolver, si se utiliza el método binomial la solución puede ser obtenida de dos formas. La primera es con el uso de portafolio replica, y la segunda es mediante el uso de probabilidades en un mundo neutral. La utilización del portafolio réplica es más difícil de entender y de aplicar pero los resultados son idénticos que los alcanzados a través de probabilidades en un mundo neutral al riesgo, por lo que es indiferente utilizar uno u otro método

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



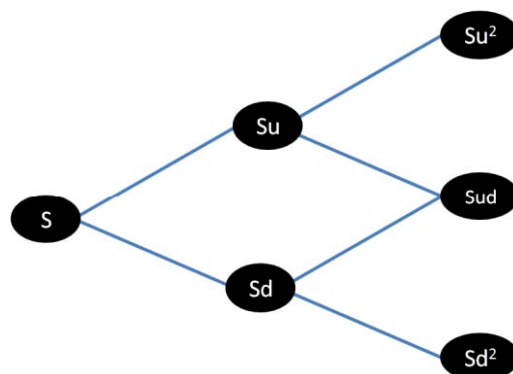
Los supuestos del modelo binomial son:

- El precio del activo subyacente sigue un proceso binomial multiplicativo a lo largo de periodos discretos de tiempo.
- Existencia de una tasa de interés sin riesgo a corto plazo (r_f) conocida, positiva y constante para el periodo considerado. Esto implica la posibilidad de prestar o pedir prestado al mismo tipo de interés (r_f).
- Inexistencia de costos de transacción, de costos de información e impuestos.
- La acción o activo subyacente no paga dividendos, ni cualquier otro tipo de reparto de beneficios durante el periodo considerado.

- Todas las transacciones pueden realizarse de manera simultánea y los activos son perfectamente divisibles.
- Eficiencia y profundidad de los mercados.
- Es posible comprar y vender en descubierto sin límite.

Está basado en una formulación simple para el proceso de precio del activo, en el cual el activo, en cualquier período de tiempo, puede moverse de uno a dos precios posibles. La fórmula general de un proceso de precio accionario que sigue de una binomial es de la siguiente forma:

Figura 10. Fórmula general de un proceso de precio accionario



Fuente: Solórzano Vargas, F. 2001. Valuación de proyectos de inversión a través de opciones reales.

En esta figura, **S** es el precio accionario actual; el precio se mueve hacia arriba hasta **Su** con probabilidad **p** y hacia abajo hasta **Sd** con probabilidad **(1 – p)** en cualquier periodo de tiempo.

a. Creación del portafolio de réplica

El objetivo, es el uso de una combinación de una tasa libre de riesgo que combine los factores de deuda e inversión y el activo subyacente para crear los mismos flujos de efectivo que en la opción que se está evaluando. En este apartado aplican los principios del arbitraje, además de que el valor de la opción debe ser igual al valor de su portafolio de réplica. En el caso de la formulación general mencionada antes, donde los precios de la acción pueden moverse tanto hacia arriba (**Su**) como hacia abajo (**Sd**) en cualquier periodo de tiempo, el portafolio de réplica para un call con precio de ejercicio **K**, implica que será necesario pedir prestado **B** y adquirir Δ unidades del activo subyacente, donde:

$$\Delta = \frac{Cu - Cd}{Su - Sd}$$

Δ = Número de unidades del activo subyacente que se han comprado

Cu = Valor del call si el precio de la acción es **Su**

Cd = Valor del call si el precio de la acción es **Sd**

En un proceso binomial multiperiodico, la valuación debe proceder iterativamente; esto es, empezando con el último período de tiempo y moviéndose hacia atrás en el tiempo hasta el punto actual. Los portafolios que replican la opción son creados en cada paso y deben evaluarse; obteniendo así, valores para la opción en cada periodo de tiempo. La salida final para el modelo binomial de tarificación de opciones es el valor de la opción en términos de los portafolios de réplica, compuestos por Δ acciones (opción delta) del activo subyacente y la tasa combinada de deuda e inversión libre de riesgo.

Valor del call = Valor actual del activo subyacente * Opción delta – cantidad que se pide prestada necesaria para replicar la opción = $S\Delta - B$

b. Los determinantes de valor

El modelo binomial representa un enfoque para los determinantes del valor de una opción. El valor de una opción no está determinado por el **precio esperado** del activo, sino por su **precio actual**, que por supuesto, refleja las expectativas sobre el futuro. Esto es una consecuencia directa del arbitraje. Si el valor de la opción se desvía del valor del portafolio de réplica, los inversionistas pueden crear una posición de arbitraje; esto es, un negocio que no requiere inversión, no involucra riesgo y entrega retornos positivos.

Si el portafolio que replica el call cuesta más que el call en el mercado, un inversionista podría comprar el call, vender el portafolio de réplica y de esta forma garantizar la diferencia como ganancia. Los flujos de efectivo en las dos posiciones se compensarían uno con otro, originando inexistencia de flujos en periodos subsecuentes. El valor de la opción también aumenta al extenderse el tiempo hasta la expiración, al aumentar los movimientos de precio (u y d), y al incrementarse la tasa de interés.

2.3.2. Modelo Black – Scholes

Mientras que el modelo binomial representa la aproximación intuitiva para los determinantes del valor de una opción, se requiere un gran número de entradas (en términos de los futuros precios esperados) en cada nodo. El modelo Black – Scholes no es alternativo al binomial, es más bien un caso limitante de éste.

El modelo binomial es un modelo discreto de tiempo para movimientos de precio de un activo, que incluye un intervalo (t) de tiempo entre estos movimientos. Mientras se acorta este intervalo de tiempo, la distribución límite que se forma mientras t se aproxima a 0, puede tomar dos formas:

- Si al aproximarse t a 0, los cambios de precio van haciéndose menores cada vez, la distribución límite es la normal y se trata de un proceso de precio continuo.
- Si al aproximarse t a 0, los cambios en precio permanecen espaciados, la distribución límite es la Poisson; esto es, una distribución que permite saltos de precio y se habla de un proceso de precio discreto.

El modelo Black – Scholes aplica cuando la distribución límite es la normal y se asume explícitamente que el proceso de precio es continuo y no existen brincos en los precios de activos.

a) El modelo

La versión del modelo presentado por Black – Scholes fue diseñada para valuar opciones Europeas, que están protegidas de dividendos. Esto implica que el modelo no puede ser afectado por la posibilidad de ejercicio anticipado ni por pagos de dividendos. El valor de una opción call en el modelo Black – Scholes puede ser descrito como una función de las siguientes variables:

S : Valor actual del activo subyacente

K : Precio de ejercicio de la acción

t : Tiempo a la expiración de la opción

r: Tasa de interés libre de riesgo que corresponde a la duración de la opción

σ^2 : Varianza en el valor del activo subyacente

El modelo puede expresarse de la siguiente forma:

$$\text{Valor de call} = SN(d1) - Ke^{-rt}N(d2)$$

$$d1 = \ln\left(\frac{S}{K}\right) + \frac{\left(r + \frac{\sigma^2}{2}\right)t}{\sigma\sqrt{t}}$$

$$d2 = d1 - \sigma\sqrt{t}$$

El proceso de tarificación de opciones usando el modelo Black – Scholes involucra los siguientes pasos:

PASO 1: Se utilizan las entradas de Black – Scholes para estimar $d1$ y $d2$

PASO 2: Se estiman las distribuciones normales $N(d1)$ y $N(d2)$ correspondientes a estas variables normales estandarizadas

PASO 3: Se estima el valor presente del precio de ejercicio, usando la versión para tiempo continuo de la fórmula de valor presente

Valor presente del precio de ejercicio = Ke^{-rt}

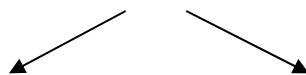
PASO 4: El valor de la call se estima desde el modelo Black – Scholes

b) El portafolio de réplica para Black – Scholes

Los determinantes de valor en este modelo son los mismos que en el binomial: el valor actual del precio accionario del activo subyacente, la variabilidad en los precios, el tiempo de duración de la opción, el precio de ejercicio y la tasa libre de riesgo. El principio de los portafolios de réplica que se utiliza para la valuación

Binomial, también sustente este modelo. De hecho, el portafolio de réplica se encuentra implícito en el modelo Black-Scholes.

$$\text{Valor de call} = SN(d1) - Ke^{-rt}N(d2)$$



Comprar $N(d1)$ acciones

Pedir prestado este monto

$N(d1)$, que es el número de acciones que se necesitan para crear el portafolio de réplica se llama opción delta. Este portafolio es autofinanciado y tiene el mismo valor que el call en cada estado de la vida de la opción.

Las probabilidades $N(d1)$ y $N(d2)$, implícitas en el modelo de tarificación de opciones también tienen uso en el análisis. Representan (en términos aproximados) el rango de probabilidad de que la opción estará “in the money” en la fecha de expiración, esto es, la probabilidad de que $S > K$. $N(d1)$ representa el final superior del rango porque siempre será mayor que $N(d2)$.

Ajustes y limitaciones del modelo

La versión del modelo de Black – Scholes presentada anteriormente, no toma en cuenta la posibilidad de ejercicio anticipado (por tratarse de una opción Europea la que se está modelando) o el pago de dividendos. Ambas características impactan el valor de las opciones. Existen ajustes que otorgan correcciones parciales al valor, aunque no son perfectos.

1) Dividendos

El pago de dividendos reduce el precio del activo subyacente. En consecuencia, las opciones call se volverán menos valiosas y las opciones put más valiosas mientras el pago de dividendos se incremente. Una aproximación para determinar el valor de las opciones, es manejar los dividendos de tal forma que pueda estimarse el valor presente del esperado de dividendos pagados por el activo subyacente durante la vida de la opción y sustraerlo del valor actual del activo para usar “S” como en el modelo.

Como esto se vuelve más impráctico mientras el tiempo de vida de la opción se alargue, se sugeriría utilizar una aproximación alternativa. Si se espera que el campo de dividendos ($y = \text{dividendos/valor actual del activo}$) del activo subyacente permanezca sin cambios durante la vida de la opción, el modelo Black –Scholes puede modificarse de tal forma que tome en cuenta los dividendos:

$$C = Se^{-yt}N(d1) - Ke^{-rt} N(d2)$$

donde:

$$d1 = \ln\left(\frac{S}{K}\right) + \frac{\left(r + \frac{\sigma^2}{2}\right)t}{\sigma\sqrt{t}}$$

$$d2 = d1 - \sigma\sqrt{t}$$

Intuitivamente, los ajustes tienen dos efectos. Primero, el valor del activo se descuenta a la tasa de los dividendos con el fin de tomar en cuenta la caída esperada en el valor a partir del pago de éstos.

Segundo, la tasa de interés está compensada por el campo de dividendos para reflejar el costo de conservar el activo en el portafolio de réplica. El efecto neto será la reducción en el valor de los calls, con ajuste y un incremento en el valor de los puts.

2.3.3. El proyecto de inversión vista como una opción

Una oportunidad corporativa de inversión es como una opción call porque la corporación tiene el derecho, pero no la obligación de adquirir por ejemplo, los activos operantes de un nuevo negocio. Si pudiera encontrarse una opción call lo suficientemente similar a la oportunidad de inversión, el valor de la opción proporcionaría información relevante sobre el valor de la oportunidad. Desafortunadamente, muchas oportunidades de negocio son únicas, así que la posibilidad de encontrar una opción similar es muy baja y la única manera viable de lograrlo es construyendo la opción (Solórzano, 2002).

Para hacerlo, es necesario establecer la correspondencia entre las características del proyecto y las cinco variables que determinan el valor de una opción call simple en un intercambio de acciones. Al relacionar estas características con la oportunidad de negocio, bajo la estructura de una opción call, se obtiene un modelo del proyecto que combina sus características particulares con la estructura de dicha opción. Se modela con un call Europeo, que es la más simple de todas las opciones porque puede ser ejercida solo en una fecha: su fecha de expiración y la opción que resulta de este modelo no es un sustituto perfecto para la oportunidad real, pero como se ha diseñado de tal forma que se parezca lo más posible, es por se, informativa.

Cuadro 2. Correspondencias básicas para convertir una oportunidad de inversión en una opción call

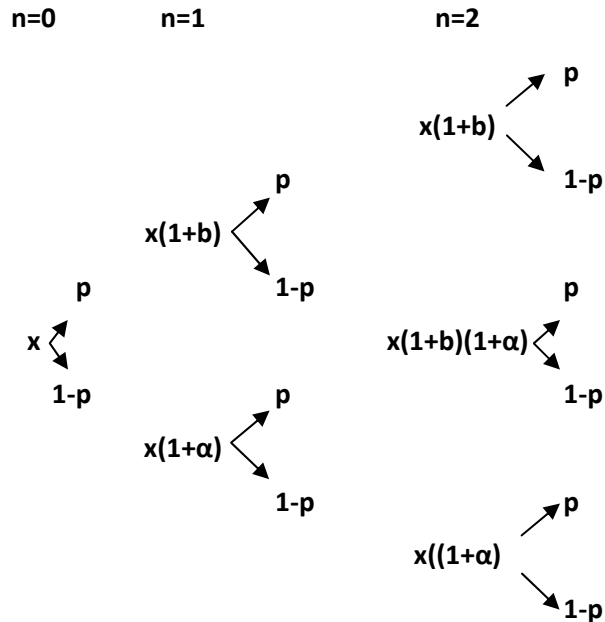
Oportunidad de inversión	Variable	Opción Call
Valor presente de los activos operantes que serán adquiridos	S	Precio de venta de la acción
Gasto requerido para adquirir los activos del proyecto (inversión inicial)	K	Precio de ejercicio
Duración del tiempo en que la decisión puede ser diferida	t	Tiempo a la expiración de la opción
Valor del dinero en el tiempo	r_f	Tasa libre de riesgo
Riesgo de los activos del proyecto (volatilidad en los flujos de resultados)		Varianza de las ganancias a la venta

Fuente: Solórzano Vargas, F. 2001. Valuación de proyectos de inversión a través de opciones reales

Algunos proyectos involucran un gasto grande para construir un activo productivo. Invertir para explotar una oportunidad de negocios tal, es análogo a ejercer una opción en un intercambio de acciones. El monto de dinero invertido corresponde al precio de ejercicio de la opción (**K**). El valor presente del activo adquirido corresponde al precio de venta de las acciones (**S**). El tiempo en la cual la compañía puede diferir la decisión de inversión sin perder la oportunidad corresponde al tiempo de expiración de la opción (**t**). La incertidumbre sobre el valor futuro de los flujos de efectivo del proyecto, esto es, el riesgo del proyecto, corresponde a la desviación estándar de ganancias sobre el activo (σ). El valor del dinero en el tiempo, está dado en ambos casos por la tasa libre de riesgo (**r_f**).

2.4. Modelo de Cox-RossRubinstein (CRR)

Consideremos la utilidad logarítmica en el modelo CRR siguiente



Sabemos que la probabilidad neutral corresponde a tomar en cada paso una probabilidad p^* , en lugar de p dada por

$$p^* = \frac{r - a}{b - a}$$

De esta manera

$$L(\omega) = \frac{P^*(\omega)}{P(\omega)} = \left(\frac{P^*}{P}\right)^{U_N(\omega)} \left(\frac{1-P^*}{1-P}\right)^{N-U_N(\omega)}$$

Donde U_N representa el número total de subidas en la trayectoria hasta el instante N . Entonces la riqueza optima vendrá dada por

$$Y = \frac{x(1+r)^N}{L} = x(1-r)^N \left(\frac{p}{p^*}\right) \left(\frac{1-p^*}{1-p}\right)^{N-U_N}$$

2.5. Análisis comparativo entre opciones financieras y opciones reales

Son cinco los conceptos que, por analogía, permiten la aplicación de las formulas de valoración de opciones financieras a los casos de opciones reales. El cuadro 3 muestra la equivalencia conceptual entre los parámetros necesarios para el cálculo de valor de una opción de compra, aplicado a las opciones reales.

Cuadro 3. Equivalencia entre opciones financieras y opciones reales

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

Fuente: Marion A Branch, Pagina 43

En el cuadro 3 se ven las entradas (inputs) de las opciones financieras y como se adaptan para el enfoque de las opciones reales. Las oportunidades de inversión se asemejan a una opción de compra (call) donde la cantidad de dinero invertida corresponde al precio del ejercicio de la opción (k). El valor presente del flujo de efectivo del proyecto corresponde al precio de las acciones (s). El periodo durante 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).

2.6. Los Procesos Estocásticos

2.6.1. El proceso de Wiener

Mascareñas 2008 explica lo siguiente: El **proceso de Wiener** es un **proceso estocástico de tiempo continuo** que se caracteriza por tener tres propiedades importantes:

1. Es un **proceso de Markov**. Lo que significa que la distribución de probabilidad de todos los valores futuros del proceso depende únicamente de su valor actual, no siendo afectada por sus valores pasados, ni por ninguna otra información actual. Por tanto, el valor actual del proceso es la única información necesaria para realizar la mejor estimación de su valor futuro. El proceso de Wiener es un tipo de proceso de Markov con una media nula y una varianza anual igual a la unidad $\rightarrow \varphi(0,1)$
2. Tiene incrementos independientes. Lo que significa que la distribución de probabilidad de los cambios en el proceso en cualquier intervalo temporal es independiente de la de cualquier otro intervalo. Así pues, si la variable aleatoria z sigue un proceso de Wiener sus variaciones (Δz) para cualesquiera dos pequeños intervalos de tiempo (Δt) son independientes.
3. Las variaciones en el proceso (Δz) producidas en un intervalo finito de tiempo (Δt) se *distribuyen normalmente*, con una varianza que aumenta linealmente con el intervalo temporal. Por tanto, $\Delta z = \varepsilon \Delta t$ (donde ε es una variable aleatoria del tipo $\varphi[0,1]$)

El proceso de Markov implica que sólo la información actual es importante a la hora de establecer los valores futuros esperados del proceso. Así, por ejemplo, los precios de las acciones se pueden modelizar como un proceso de Markov desde el momento en que la información pública es incorporada rápidamente en el precio actual del título, lo que implica que la evolución histórica de los precios no tiene ningún interés de cara a predecir su comportamiento futuro (esta es la base de la denominada “forma débil de eficiencia del mercado”).

El hecho de que un proceso de Wiener tenga incrementos independientes implica que se puede considerar como una versión en tiempo continuo de un recorrido aleatorio.

Cuando se refiere a los precios de las acciones no parece razonable suponer que las variaciones en los precios sigan una distribución normal, entre otras cosas, porque el precio nunca podrá ser inferior a cero.

Parece más lógico suponer que los cambios en los precios (los rendimientos) siguen una distribución logarítmico-normal, es decir, que los cambios en los logaritmos de los precios se distribuyen según una normal. Lo que significa modelar el logaritmo del precio como un proceso de Wiener en lugar del propio precio. De esta manera el proceso de Wiener se convierte en una pieza básica del rompecabezas que va a servir para modelizar un gran número de variables que varían continuamente o estocásticamente a través del tiempo.

Las propiedades del proceso de Wiener más formalmente. Si $\mathbf{z}(t)$ sigue un proceso de Wiener, entonces cualquier variación en \mathbf{z} ($\Delta\mathbf{z}$) correspondiente a un intervalo temporal Δt , satisfará las condiciones siguientes:

La relación entre $\Delta\mathbf{z}$ y Δt viene dada por: $\Delta\mathbf{z} = \epsilon t \sqrt{\Delta t}$ donde ϵt es una variable aleatoria normalmente distribuida con una media nula y una desviación típica igual a la unidad.

La variable aleatoria ϵt no está autocorrelacionada, esto es, $E[\epsilon t \epsilon s] = 0$ para $t \neq s$. De tal manera que los valores de $\Delta\mathbf{z}$ para dos diferentes intervalos de tiempo son independientes entre sí (así $\mathbf{z}(t)$ sigue un proceso de Markov con incrementos independientes).

Ahora vamos a ver qué implican estas dos condiciones con relación a los posibles cambios esperados en el valor de \mathbf{z} a lo largo de un intervalo finito de tiempo \mathbf{T} . Subdividiremos el intervalo \mathbf{T} en \mathbf{n} unidades temporales cuya longitud es Δt , por tanto, $\mathbf{n} = \mathbf{T} / \Delta t$. Entonces la variación en el valor de \mathbf{z} a lo largo de este intervalo viene dada por:

$$\mathbf{z}(\mathbf{s} + \mathbf{T}) - \mathbf{z}(\mathbf{s}) = \sum_{i=1}^{\mathbf{n}} \epsilon_{t\sqrt{\Delta t}} \quad (1)$$

Como los ϵ_i son independientes entre sí, podemos aplicar el Teorema Central del Límite a su suma y decir que la variación $\mathbf{z}(\mathbf{s} + \mathbf{T}) - \mathbf{z}(\mathbf{s})$ está distribuida normalmente con una media nula y una varianza igual a \mathbf{T} (porque la varianza² es igual a $\mathbf{n} \Delta t = \mathbf{T}$). Obsérvese que la varianza de los cambios en un proceso de Wiener crece linealmente con el horizonte temporal (porque $\Delta\mathbf{z}$ depende de Δt y no de Δt).

El proceso de Wiener no es estacionario porque a largo plazo su varianza tenderá a infinito.

Si Δt tiende a ser infinitamente pequeño ($\Delta t \rightarrow 0$), el incremento en el proceso de Wiener, $d\mathbf{z}$, en tiempo continuo es igual a:

$$dz = \epsilon t \sqrt{dt} \quad (2)$$

Como ϵt tiene una media nula y una desviación típica unitaria, entonces $E[dz]$ será igual a cero y su varianza será $\sigma^2[dz] = 1 \times dt = dt$. El proceso de Wiener no tiene una derivada convencional con respecto al tiempo: $\Delta z / \Delta t = \epsilon t (\Delta t)^{-1/2}$, que tiende a infinito conforme Δt se aproxime a cero.

Si tuviésemos que trabajar con dos o más procesos de Wiener deberíamos tener en cuenta sus covarianzas. Así, por ejemplo, si tenemos los procesos $z_1(t)$ y $z_2(t)$, $E(dz_1 dz_2) = \rho_{12} dt$, donde ρ_{12} es el coeficiente de correlación entre ambos procesos. Debido a que el proceso de Wiener tiene una varianza y una desviación típica iguales a 1 por unidad de tiempo, dicho coeficiente de correlación también será el valor de la covarianza por unidad de tiempo para ambos procesos, es decir, si $z_1(t)$ y $z_2(t)$ son variables aleatorias, su coeficiente de correlación será igual a $\rho_{12} = \text{Con}(z_1, z_2) / (\sigma_{z_1}, \sigma_{z_2})$ y como, en este caso, $\sigma_{z_1} = \sigma_{z_2} = 1$ entonces $\rho_{12} = \text{Cov}(z_1, z_2)$.

2.6.2. Proceso de Wiener generalizado: Movimiento Browniano con tendencia

Este tipo de proceso de Wiener es la generalización más simple de la ecuación anterior:

$$dx = a dt + b dz \quad (3)$$

Donde a y b son constantes.

Para comprender la ecuación 3 se comienza centrándose en el componente $a dt$, que implica que x tiene una tasa de tendencia esperada a por unidad de tiempo. Así que la ecuación 3, sin el segundo sumando, sería

$$dx = a dt \rightarrow a = dx / dt \rightarrow x_t = x_0 + a t$$

Por otro lado, el segundo componente $b dz$ puede contemplarse como el *ruido* añadido al primer componente, es decir, la variabilidad del sendero seguido por los valores de la variable x . La cantidad de ruido o variabilidad es b veces un proceso de Wiener. Un proceso de este tipo tiene una desviación típica igual a la unidad, por lo que b veces un proceso de Wiener tendrá una desviación típica igual a b .

Para un intervalo de tiempo muy pequeño (Δt), la variación de x (Δx) será igual a:

$$\Delta x = a \Delta t + b \varepsilon \Delta t$$

Por tanto Δx tiene una distribución normal cuya media es igual a: $a \Delta T$, una distribución típica igual a: $b \Delta t$, y una varianza igual a: $b^2 \Delta t$. O para un intervalo de longitud T , que esté normalmente distribuido, su media sería igual a: $a T$, su desviación típica es: $b T$ y su varianza $b^2 T$.

En resumen, el proceso de Wiener generalizado mostrado en la ecuación 3 tiene una tendencia por unidad de tiempo de a y una varianza por unidad de tiempo de b^2 .

2.6.3. Los valores críticos en la evaluación de proyectos en escenarios de precios estocásticos

La evaluación de proyectos productivos con los métodos tradicionales no toman en cuenta los procesos estocásticos de los precios y del valor del proyecto en el futuro. Esto condiciona a que si el proyecto se pone en marcha la inversión es irreversible, esto quiere decir que el proyecto no tiene opción más que de triunfar, por el contrario su valor se convierte en cero.

Las condiciones actuales de las economías del mundo son tales que la evaluación de proyectos con los métodos tradicionales que no toman en cuenta la incertidumbre de variables como: los costos de producción, productividad de los factores, precio de los productos y servicios finales, demanda del mercado, la inflación y las tasas de interés; tienden a fracasar.

De tal manera que en la actualidad es importante estimar los procesos estocásticos que siguen los precios del bien y del proyecto y comprender el resultado de la múltiple interacción de las fuentes de incertidumbre.

2.6.4. Los valores críticos

En la actualidad los agricultores se enfrentan constantemente a preguntas tales como si hay que invertir en un nuevo sistema de producción, invertir en infraestructura y equipo nuevo, invertir en maquinaria para dar valor agregado y diferenciar su producto, invertir para producir orgánicos, o por otro lado, continuar como están actualmente y no enfrentarse a los nuevos tipos de riesgo e incertidumbres.

Si bien, la forma más común para evaluar una oportunidad de inversión consiste en utilizar los métodos tradicionales de flujo de efectivo descontado (VAN), varios investigadores sostienen que éste no funciona correctamente en condiciones de incertidumbre (Dixit y Pindyck, 1994, Collins & Hanf, 1998; Arman & Kotalika, 1999).

Y mencionan que para tomar decisiones inteligentes de inversión, los inversionistas deben considerar el valor de mantener abiertas sus opciones, e incluir el impacto de las diferentes fuentes de incertidumbre y de riesgo.

Uno de los criterios tradicionales es si el beneficio dividido entre el costo o la inversión del proyecto resulta mayor a una. $\frac{B}{C} > 1$

Pero qué valor (beneficio) debe tener un proyecto en relación a su inversión (costo) si tomáramos en cuenta que el valor del proyecto tiene un comportamiento volátil debido a la volatilidad de sus precios.

Los nuevos instrumentos para valorar las inversiones en escenarios con incertidumbre o riesgosos es calcular el valor crítico (el beneficio máximo) que debe tener un proyecto en relación a la inversión (costo) tomando en cuenta la volatilidad y tendencias de los precios reales.

2.6.4.1. La razón crítica y el valor crítico

Se supone que el proyecto se va a desarrollar en un escenario de precios reales volátiles, por lo que el valor del proyecto tiene un comportamiento volátil.

La ecuación del movimiento browniano (o de Weiner) es la más usada para representar el comportamiento del valor del proyecto.

$$\frac{dv}{v} = \alpha dt + \Gamma dz \dots\dots\dots(1)$$

Donde:

v: valor crítico

dv: movimiento del proyecto

α : tasa de movimiento promedio (la media) del valor del proyecto
 Γ : la desviación estándar de las tasas de movimiento del valor del proyecto
 dz : es un movimiento aleatorio con las condiciones siguientes:

$$\varepsilon(dz) = 0 \text{ y } dz = \varepsilon\sqrt{t}$$

Si definimos a F como el valor de la opción real de invertir y α como la tasa de descuento, entonces la ecuación para la programación dinámica, conocida como ecuación de Bellman será:

$$\rho F dt = \varepsilon(dF) \dots \dots \dots (2)$$

Se interpreta como la tasa de crecimiento del valor de la opción para un periodo de tiempo, $\rho F dt$ debe ser igual al valor esperado del cambio en el valor de la opción $\varepsilon(dF)$.

El valor de la opción, F , es función del valor del proyecto. Así;

$$F(v)$$

Sus primeras y segundas derivadas serán:

$$F'(v) = \frac{dF}{dv} \qquad F''(v) = \frac{d^2 F}{dv^2}$$

De una función como $F(v)$ se puede obtener su ecuación diferencial usando el Lema de Ito.

$$dF = F'(v)dv + \frac{1}{2}F''(v)(dv)^2 \dots \dots \dots (3)$$

Cuando $(dv)^i = 0$ para $i > 3$

Si a la ecuación 3 (el lema de Ito) dF , insertamos el movimiento browniano dv , ecuación 1.

$$dF = F'(v)(\alpha v dt + \Gamma v dz) + \frac{1}{2}F''(v)(\alpha v dt + \Gamma v dz)^2$$

Operando y ordenando

$$dF = \alpha v F'(v) dt + \Gamma v F'(v) dz + \frac{1}{2}F''(v)(\alpha^2 v^2 dt^2 + \Gamma^2 v^2 dz^2 + 2 \alpha v dt \Gamma v dz)^2$$

Si obtenemos el valor esperado, $\varepsilon(dF)$ para toda la ecuación, entonces

$$\varepsilon(dz) = 0 \text{ por lo que } \Gamma v F' \varepsilon(dz) = 0$$

$$dt^2 = 0 \text{ por lo que } \alpha^2 v^2 dt^2 = 0$$

$$\varepsilon(dz) = 0 \text{ por lo que } 2 \alpha v dt \Gamma v \varepsilon(dz) = 0$$

$$dz^2 = dt \text{ por lo que } \Gamma^2 v^2 dz^2 = \Gamma^2 v^2 dt$$

Queda,

$$\varepsilon dF = \alpha v F'(v) dt + \frac{1}{2} F''(v) \Gamma^2 v^2 dt \dots (4)$$

Esta ecuación 4 se inserta en la ecuación 2 (ecuación Bellman)

$$lF(v) dt = \alpha v F'(v) dt + \frac{1}{2} \Gamma^2 v^2 F''(v) dt$$

Eliminando dt y reordenando para igualar a cero

$$\frac{1}{2} \Gamma^2 v^2 F''(v) dt + \alpha v F'(v) dt - lF(v) = 0 \dots (5)$$

Para resolver ecuación 5, se tiene que poner las condiciones siguientes:

Si el valor del proyecto es cero, la opción de invertir es cero

$$F(0) = 0$$

El valor crítico v^* menos la inversión I , debe ser el valor de la opción $F(v^*)$

$$F(v^*) = v^* - I$$

La condición de cambios suaves de la función es $F'(v^*) = 1$

Así que una solución parcial de ecuación 5 es,

$$F(v^*) = A v^{*\beta}$$

Donde:

$$F'(v^*) = A \beta v^{*\beta-1} = 1$$

$$F(v^*) = A v^{*\beta} = v^* - I$$

Con un poco de algebra se puede obtener la solución para

$$v^* = \frac{\beta}{\beta-1} I \qquad A = \frac{(\beta-1)^{\beta-1}}{\beta^\beta I^{\beta-1}}$$

v^* = es el valor crítico

Si $\beta > 1$, entonces $\frac{\beta}{\beta-1} > 1$

Así que $\frac{v^*}{I} = \frac{\beta}{\beta-1} > 1$; nótese que β es estrictamente mayor a 1

Lo anterior significa que si hay incertidumbre o riesgo se requiere que el proyecto por lo menos tenga un valor $\frac{\beta}{\beta-1}$ veces superior a la inversión.

Para obtener el valor de β se despeja de ecuación 5.

$$\frac{1}{2}\Gamma^2 v^2 F''(v) + \alpha v F'(v) dt - \ell F(v) = 0$$

Dado que

$$F(v) = Av^\beta$$

$$F'(v) = A\beta v^{\beta-1}$$

$$F''(v) = A\beta(\beta-1)v^{\beta-2}$$

Con un poco de algebra se llega a

$$\frac{1}{2}\Gamma^2 \beta^2 + [\alpha - \frac{1}{2}\Gamma^2]\beta - \ell = 0$$

Así podemos resolver para el valor de β , por el método tradicional

$$\beta = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

Donde:

$$a = \frac{1}{2}\Gamma^2$$

$$b = [\alpha - \frac{1}{2}\Gamma^2]$$

$$c = -\ell$$

$$\beta = \frac{-[\alpha \frac{1}{2}\Gamma^2] \pm \sqrt{(\alpha - \frac{1}{2}\Gamma^2)^2 - 4\frac{1}{2}\Gamma^2(-\ell)}}{2(\frac{1}{2}\Gamma^2)}$$

Nótese que el valor de β depende de α , la media (o tendencia) y de Γ (riesgo).

Como de la tasa de descuento ℓ

2.7 La importancia de la Agricultura Protegida

La agricultura protegida es una tendencia que ha modificado las formas de producir alimentos y que genera múltiples ventajas para los productores del campo. Además, permite el desarrollo y genera múltiples ventajas para los productores del campo. Además, permite el desarrollo de cultivos agrícolas fuera de su ciclo natural y en menor tiempo, capaces de enfrentar con éxito plagas y enfermedades, con mejores rendimientos en un espacio reducido, sanos y con un mejor precio en los mercados. Esto se traduce, evidentemente, en un mejor ingreso para los productores (FAO-SAGARPA, 2012).

A través de varios años, pero sobre todo en las últimas dos décadas, se han desarrollado varios tipos de estructuras para la protección de plantas.

En el año de 1980 se estimaba una superficie mundial de 100 mil hectáreas en invernaderos, misma que para 1998 se estimaba que había alcanzado las 450 mil con un crecimiento continuo cercano al 20% anual. De esa superficie en Asia estaba el 66%, Europa contaba con el 26%, mientras en América y África había un 4% en cada región. Para el año de 1992 se reportaban unas 280 mil hectáreas de invernaderos en todo el mundo, de ellas en Europa se concentraban unas 127 mil, en el área oriental otras 140 mil, mientras que el continente americano se reportaban otras 13 mil hectáreas de invernadero y otro tanto de micro túneles (Bastida, 2006).

2.7.1. Trascendencia y perspectivas de la Agricultura protegida

La agricultura protegida representa entonces 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 en los tiempos venideros 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, donde 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 (CEPLA, 2001).

2.7.2 Historia de la Agricultura Protegida en México

México es un país con una gran capacidad para producir hortalizas de alta calidad, pues ello se ve reflejado por la demanda de sus productos en el mercado exterior, ya que tanto en la producción de tomate como de pepino, México es uno de los países más dinámicos en la producción para exportación, siendo Estados Unidos de América su principal mercado.

Sin embargo, es importante seguir trabajando para mejorar el desempeño exportador, esto a través de introducciones de tecnologías adecuadas que permitan

Incrementar los volúmenes de producción y que a su vez se cumpla con los estándares de calidad demandados. Sin duda alguna el papel de las instituciones tanto públicas como privadas, juega un papel importante para que se dé de una manera más equitativa la introducción y adaptación de innovaciones tecnológicas en el sector agrícola.

México tiene ventaja en cuanto a su cuota de mercado y su penetración en las empresas distribuidoras. Desde un punto de vista clásico, los precios proporcionan una capacidad competitiva relevante; para México la ventaja comparativa es muy fuerte ya que tenemos precios CIF que suponen en el mismo calendario el 37% de los existentes en España.

2.7.3 Origen de la Agricultura Protegida en México

Los anales de la historia no registran con precisión a quien corresponde el mérito de haber inventado el cultivo protegido de plantas. Algunos historiadores afirman 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 (Pinske, 1998; Enoch, H. y Enoch, 1999; García y Serrano, 2005).

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, podemos ubicar 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, 1997).

En resumen, 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 donde las condiciones de escasez de agua y suelo, no son adecuadas a la agricultura de campo abierto.

2.7.4 Ventajas de la producción en Agricultura Protegida

La producción de cultivos bajo invernadero es una de las técnicas más modernas que se utilizan actualmente en la producción agrícola. La ventaja del sistema de invernadero sobre el método tradicional a cielo abierto, es que, bajo invernadero, se establece una barrera entre el medio ambiente externo y el

cultivo. Esta barrera limita un microclima que permite proteger el cultivo del viento, lluvia, plagas, enfermedades, hierbas y animales. Igualmente, esta protección permite al agricultor controlar la temperatura, la cantidad de luz y aplicar efectivamente control biológico para proteger el cultivo (Rubio, 2006).

El invernadero se considera como una estructura con las medidas requeridas y cubiertas con determinado material translúcido o transparente, que permita tanto el crecimiento óptimo de las plantas, como el acceso a las personas para laborar en el cultivo. Las formas de la estructura no cuentan con una regla. Pueden ser circulares, elípticas, de una o dos aguas, con una altura mínima en su parte más baja de 2,50 m2 y en su parte alta, de 4m (Kaya, Burton, Higos, 2001).

Durante el día, se acumula dentro del invernadero el calor que no sobrepase las temperaturas máximas críticas para el adecuado desarrollo de las plantas. Este calor es retenido durante la noche evitando que el descenso térmico incida en los cultivos, lo cual ocasionaría paros vegetativos que reducirán el rendimiento (Kaya, 2001).

Tomando en cuenta las siguientes consideraciones, podemos conocer la factibilidad y potencial de un proyecto para el cultivo de tomate, y así emprender su realización. Para la construcción del invernadero es necesario tener en cuenta la situación geográfica, orientación de norte a sur si es posible, las temperaturas máxima, mínima y media, las posibilidades de heladas, el régimen de vientos, la humedad relativa, el régimen de lluvias, la radiación solar y la especie que se va a sembrar (Wills, Honea, Ray, Buschermohle, Straw y Sams, 2002).

El invernadero cuenta con una cubierta que bloquea la radiación ultravioleta, pero debe ser permeable a la radiación solar del resto de la banda y retener la energía calorífica generada por las radiaciones que emanan del suelo y de las plantas; minimizar los problemas que se derivan de la condensación de agua; tener larga duración y costo balanceado con los beneficios. Para un invernadero se considera la luminosidad con características de transmisión, reflexión y absorción de luz (Alkokaik y Ghaly, 2005). El piso sobre el cual se construye el invernadero estará libre de basura y piedras grandes. La superficie debe ser lisa, con una ligera pendiente no más de 1.5 a 2 por ciento, en sentido transversal y longitudinal. El invernadero de estructura metálica es de costo promedio, aunque depende también de la calidad de los materiales usados. En estas estructuras es más fácil instalar doble recubrimiento de plástico; es decir, un doble techo que permita ahorros considerables en el manejo de las temperaturas ambientales para cultivos. (Wills et al, 2002).

2.7.5 Tipos de Tecnologías en Agricultura Protegida

2.7.5.1 Invernaderos

Un invernadero es una estructura o construcción cubierta y abrigada artificialmente con plástico u otros materiales, en cuyo interior es posible regular manual o automáticamente las condiciones medio ambientales para garantizar el desarrollo óptimo de una o varias especies cultivadas (Riaño 1992).

Barquero (2001), considera que un invernadero es una edificación arquitectónica cuyo objetivo principal es proteger y prolongar el período de cultivo y cosecha de hortalizas débiles, frutales y plantas ornamentales de condiciones ambientales adversas (fuertes lluvias, vientos, temperaturas extremas, plagas y enfermedades). De acuerdo a la norma AFNOR V 57001 de la Comunidad Económica Europea, es un "Recurso agrícola destinado al cultivo y a la protección de las plantas explotadas, cuyas dimensiones permiten a un hombre trabajar cómodamente en su interior" durante el desarrollo de la planta.

2.7.5.2 Micro túneles

Es una tecnología que se caracteriza fundamentalmente por:

- Construcción "sin zanja", es decir, enterrada.
- Colocación de tuberías mediante hincas o empuje y otros sistemas alternativos.
- Control remoto de la ejecución, es decir, normalmente sin intervención humana en el interior del micro túnel sino pilotado desde el exterior. Las intervenciones en el interior son ocasionales (averías, mantenimiento, etc.).
- Aparte de los pozos de ataque y finalización ninguna otra afección superficial al tráfico, vibraciones, ruidos, medioambiente, etc.
- Minimización del volumen de material excavado con menor afección en cuanto a asientos.
- El nivel freático no es un obstáculo. No son necesarios abatimientos del mismo que puedan provocar asentamientos inducidos en superficie.

2.7.6. Una oportunidad de negocio para 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 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. (Chapingo,2011)

2.7.7. Sustentabilidad y medio ambiente

Uno de los problemas más dramáticos que vive la sociedad contemporánea es el deterioro del medio ambiente. Hoy, la demanda sin precedentes de bienes y servicios está produciendo un declive cada vez más acelerado en la calidad de éste y en su capacidad para sustentar la vida.

El análisis de los problemas ambientales exige de una perspectiva global, ya que surgen como consecuencia de múltiples factores que interactúan. Nuestro modelo de vida supone un gasto de recursos naturales y energéticos cada vez más creciente e insostenible. Algunos efectos de la crisis ecológica ya son claramente perceptibles: aumento del efecto invernadero, reducción de la capa de ozono, la lluvia ácida, contaminación de aguas y suelo, contaminación del aire, deforestación, erosión-desertificación del suelo y agotamiento de los recursos naturales, entre otros Brundtland Comisión (1987).

La sustentabilidad se refiere al desarrollo que satisface las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las generaciones futuras para atender sus propias necesidades (Salinas, 1998). Ello supone un enfoque en el que se compatibilicen los aspectos ambientales con los económicos y los sociales, desde una perspectiva solidaria tanto intergeneracional como intrageneracional.

En particular, la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Medio Ambiente, publicada en 1988 y modificada en el 2000, tiene como objetivo principal regular en materia ambiental para propiciar el desarrollo sustentable en el país.

Posteriormente en el 2001, se publicó en el Diario Oficial de la Federación la Ley de Desarrollo Rural Sustentable, cuyo objetivo principal es coadyuvar al logro del desarrollo rural sustentable a partir de la participación del Estado y de los diversos agentes organizados, con el propósito de impulsar un proceso de transformación social y económica que reconozca la vulnerabilidad del sector y conduzca al mejoramiento sostenido y sustentable de las condiciones de vida de la población rural, a través del fomento de las actividades productivas y de desarrollo social que se realicen en el ámbito de las diversas regiones del medio rural, procurando el uso óptimo, la conservación y el mejoramiento de los recursos naturales y orientándose a la diversificación de la actividad productiva en el campo, incluida la no agrícola, a elevar la productividad, la rentabilidad, la competitividad, el ingreso y el empleo de la población rural (Ley de Desarrollo Rural Sustentable, 2001).

Derivado de esta Ley se creó el Programa Especial Concurrente (PEC), con el propósito de fomentar acciones que incidan en todas las actividades económicas de la sociedad rural: educación, salud, alimentación, política de población y planeación familiar, vivienda, infraestructura y equipamiento, combate a la pobreza y la marginación, medio ambiente rural, grupos prioritarios, organización social, tenencia y disposición de la tierra, seguridad social, trabajadores rurales y jornaleros agrícolas, protección civil y demás que determine el Ejecutivo Federal (PEC 2002-2006, 2007).

De esta manera, México ha optado por sumarse a los esfuerzos internacionales sobre medio ambiente, así en el Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012 se asume que la sustentabilidad ambiental se refiere a:

“... la administración eficiente y racional de los recursos naturales, de manera tal que sea posible mejorar el bienestar de la población actual sin comprometer la calidad de vida de las generaciones futuras. Este debe ser un criterio rector en el fomento de las políticas públicas y de educación, pues se incorporan consideraciones de impacto y riesgo ambientales así como de uso eficiente y racional de los recursos naturales. El análisis de impacto ambiental en las políticas públicas debe estar acompañado de un gran impulso a la investigación y desarrollo de ciencia y tecnología”. (Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012)

2.7.8. La política nacional para reactivar el sector agropecuario

El Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012 plantea como premisa básica la búsqueda del Desarrollo Humano Sustentable, a partir de cinco ejes rectores: 1) Estado de derecho y seguridad, 2) Economía competitiva y generadora de empleos, 3) Igualdad de oportunidades, 4) Sustentabilidad ambiental y 5) Democracia efectiva y política exterior responsable. En particular, para el agropecuario y pesquero el plan señala que:

“es estratégico y prioritario para el desarrollo del país porque, además de ofrecer los alimentos que consumen las familias mexicanas y proveer materias primas para las industrias manufacturera y de transformación, se ha convertido en un importante generador de divisas al mantener un gran dinamismo exportador. En éste vive la cuarta parte de los mexicanos, y a pesar de los avances en la reducción de la pobreza alimentaria durante los años recientes en este sector, persiste aun esta condición en un segmento relevante de la población rural”.

Asimismo, el Programa Especial Concurrente para el Desarrollo Rural Sustentable 2007-2012 (PEC 2007-2012) plantea nueve vertientes que, en correspondencia con los cinco ejes rectores, establece un conjunto de estrategias y alternativas para reactivar el agro mexicano (CIDRS, 2007):

Mejorar la productividad laboral a través de la organización, capacitación y asistencia técnica. Se deberá impulsar y coordinar los procesos de participación, educación no formal, capacitación, actualización, evaluación, acreditación y certificación, que aseguren la integración de los productores a procesos productivos innovadores y a mejores técnicas administrativas y comerciales de sus empresas.

Vincular las actividades de investigación y desarrollo con las necesidades del sector rural. Es necesario vincular los resultados de investigación con el establecimiento de los programas de fomento a la producción agropecuaria y pesquera. Asimismo, se requiere intensificar la transferencia de la tecnología ya generada vinculándola con las asociaciones de productores.

Promover la diversificación de las actividades económicas en el medio rural. Con una visión integral del desarrollo de la sociedad rural es necesario fomentar la diversificación de actividades económicas en el medio rural para el mejor aprovechamiento de los recursos y promover actividades no agropecuarias que generen empleo, mayor ingreso y un mejor nivel de vida de la población rural.

Integrar a las zonas rurales de alta y muy alta marginación a la dinámica del desarrollo nacional. Mediante la suma de acciones interinstitucionales se promoverán proyectos que detonen el desarrollo económico y social de las comunidades rurales ubicadas en las zonas de alta y muy alta marginación.

Favorecer el relevo generacional en la tenencia de la tierra en la propiedad social. A través del apoyo a jóvenes, se busca su arraigo en el lugar de origen evitando la migración y ociosidad de tierras, promoviendo la creación de empresas rurales que fomenten la productividad, innovación y el desarrollo tecnológico que garanticen el relevo pacífico de los titulares de derechos agrarios.

Proteger al país de plagas y enfermedades y mejorar la situación sanitaria. Garantizar la aplicación de la normatividad vigente en materia de sanidad e inocuidad agroalimentaria y mejorarla permanentemente para mantener el reconocimiento a nuestros estatus sanitario por parte de los mercados globales.

Promover la seguridad alimentaria a través del ordenamiento y la certidumbre de mercados. Se requiere garantizar el abasto de alimentos sanos a través del fomento a la producción de cultivos y productos básicos para la alimentación de los mexicanos y fortalecer su comercialización mediante la promoción y ordenamiento de mercados.

Lograr un balance entre las actividades productivas rurales y marinas con la protección del ambiente para conservar el agua y los suelos. Es necesario lograr un balance entre las actividades productivas y la protección al ambiente, para continuar proporcionando bienes y servicios ambientales de manera continua y sostenible. Los incentivos (jurídicos y económicos) que provea el gobierno estarán alineados a la conservación del agua y los suelos.

La infraestructura constituye un insumo fundamental para la actividad económica de un país. Esta es un determinante esencial del acceso a los mercados, del costo de los insumos y de los bienes finales. Asimismo, existen sectores que, por su importancia en el ámbito de desarrollo regional y de generación de empleos, son fundamentales, como el sector primario, las pequeñas y medianas empresas, la vivienda y el sector turismo.

Las nuevas tecnologías han abierto oportunidades enormes de mejoramiento personal mediante mayor acceso a la información, han llevado a avances médicos significativos, permiten mayor eficiencia en los procesos tanto productivos como gubernamentales, y han permitido una mayor producción de bienes y servicios empleando nuevos métodos de producción en todos los sectores de la actividad económica. No

aprovechar las nuevas tecnologías ni contribuir al desarrollo de las mismas, no sólo implicaría dejar de lado una fuente significativa de avance estructural, sino que repercutiría en una pérdida de competitividad de la economía mexicana.

Un ejemplo de las nuevas tecnologías es la Horticultura que puede significar la más alta expresión en el control de los elementos de la producción agrícola.

3. MATERIALES Y METODOS

Para lograr los objetivos y probar las hipótesis planteadas se utiliza la metodología de la teoría de opciones reales.

3.1 Evaluación del proyecto de inversión mediante opciones reales para la producción de Jitomate en Agricultura Protegida

En esta evaluación se utiliza el modelo de árbol binomial desarrollado por Cox, Ross y Rubinstein (CRR, 1979) para la evaluación de opciones americanas y europeas en un marco temporal discreto. En este caso, sin embargo, el activo subyacente de la opción no es un instrumento financiero, sino un proyecto productivo real cuyo flujo futuro de efectivo neto es incierto. La opción permite a los inversionistas retirarse anticipadamente en el caso de que las cosas vayan mal, pero les deja acceder a los beneficios en el caso de que el proyecto resulte exitoso. En otras palabras, se trata de una opción tipo *put* que limita la exposición del inversionista al riesgo al permitirle tomar la decisión más conveniente una vez que la incertidumbre asociada al flujo neto de efectivo se ha disipado.

El proyecto productivo que sirve de base para el ejercicio es la producción de jitomate en condiciones de agricultura protegida (en invernadero con alto nivel de tecnificación). El uso de esta tecnología presenta ventajas considerables en comparación con la producción a cielo abierto: i) mayor control de las condiciones físicas de producción, lo que eleva la cantidad y calidad de la cosecha; ii) programación de la producción para tomar ventaja de los periodos de oferta escasa y precios altos; iii) una creciente aceptación entre los consumidores, lo que permite obtener un sobreprecio; y iv) mayores facilidades para insertar el proceso productivo dentro de la cadena de valor agregado del producto.

Sin embargo, para lograr las ventajas enumeradas, la producción bajo condiciones de agricultura protegida demanda niveles de inversión considerablemente mayores, lo que limita su adopción entre

productores de los estratos de medios y bajos recursos. Aunado a ello, las exigencias en términos de conocimientos técnicos y habilidades administrativas se incrementan, lo que genera la necesidad de inversiones adicionales en capacitación. Para superar estos obstáculos, el gobierno federal ha puesto en marcha algunos programas de apoyo. Destaca el Componente de Agricultura Protegida, que otorga subsidios para la instalación y equipamiento de invernaderos, capacitación en producción, postcosecha, comercialización y seguros agrícolas, sistemas de información y estudios de mercado, centros de acopio y desarrollo de tecnologías, entre otros. Además, el Programa contempla la posibilidad de ofrecer apoyos diferenciados a los productores en zonas de alta y muy alta marginalidad, lo que incrementa la probabilidad de que los beneficiarios sean productores de bajos y muy bajos ingresos (SAGARPA, 2011).

Si bien los recursos presupuestales públicos han ayudado a difundir la Agricultura Protegida entre grupos de productores que de otra forma no podrían acceder a ella, también es cierto que se trata de recursos limitados, insuficientes para atender la demanda existente y, por lo tanto, con un impacto restringido en la promoción de este tipo de tecnologías que pueden contribuir a superar los problemas de pobreza en que viven grandes sectores de la población rural.

En vista de lo anterior, la inversión privada se constituye en una fuente de financiamiento de primera importancia para los pequeños y medianos productores rurales. En México, el sector privado se ha mostrado reacio a invertir en el campo, en gran medida como consecuencia de los altos niveles de incertidumbre y riesgo asociados a los proyectos productivos. En este contexto, la posibilidad de ofrecer opciones reales de salida tipo *put* a los inversionistas potenciales (cadenas de supermercados, grandes comercializadores, restaurantes, procesadores de alimentos, entre otros) constituye una herramienta de mitigación del riesgo muy valiosa, que puede ayudar a incrementar significativamente el financiamiento privado que se canaliza al campo mexicano.

El propósito de esta documento es precisamente poner en evidencia la utilidad de dichas opciones mediante un ejemplo de valuación de un *put* de salida en un proyecto de producción de tomate en invernadero. Para ello, la siguiente sub-sección describe brevemente la teoría detrás de la técnica de valuación de opciones del modelo CRR. Acto seguido, se explica la forma en que se determinaron los flujos de efectivo que caracterizan al proyecto. Luego se describe la forma en que se realiza la valuación de la opción y la forma en que ésta ayuda a disminuir el riesgo. Por último, se presentan las conclusiones y posibles áreas y direcciones en las que se puede profundizar el análisis.

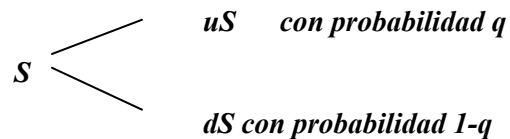
3.2 El Modelo Cox-Ross-Rubinstein (CRR)

La moderna teoría de evaluación de opciones tiene su origen en el trabajo seminal de Black y Scholes (1973). En su artículo, estos autores presentaron por primera vez un modelo matemático que permite obtener satisfactoriamente los precios de equilibrio de las opciones con relativa facilidad y a partir de datos ampliamente disponibles para la comunidad de analistas financieros (el precio y la volatilidad de las acciones subyacentes, la tasa de interés libre de riesgo, el precio de ejercicio de la opción y su periodo de maduración). No obstante, la complejidad del instrumental matemático empleado por Black y Scholes en la derivación de su fórmula tiende a oscurecer los conceptos económicos implícitos en el modelo.

En contraste, la aproximación discreta desarrollada por Cox, Ross y Rubinstein (1979) tiene la ventaja de, además de su simplicidad matemática, presentar explícitamente los principios económicos fundamentales involucrados en el proceso de valuación. En particular, destacan el papel jugado por los supuestos de no existencia de oportunidades de arbitraje en el mercado y la existencia de un portafolio réplica como base de la valoración. Además, el modelo CRR tiene una propiedad muy importante: aunque se trata de una aproximación en tiempo discreto, si acortamos la duración de los periodos temporales se puede demostrar que en el límite la función de valuación converge a la encontrada por Black y Scholes (Cox, Ross y Rubinstein, 1979; Kuria-Kamanu, 2004).

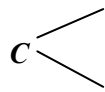
CRR asume que el precio del activo subyacente (S) sigue un proceso binomial multiplicativo a lo largo de periodos de tiempo discreto. En consecuencia, el rendimiento neto sobre el activo puede tener dos valores posibles: $u-1$ con probabilidad q , ó $d-1$ con probabilidad $1-q$. Así, el precio del activo tras el primer periodo de tiempo es el que se presenta de la siguiente forma.

Valores posibles de S



La tasa de interés bruta libre de riesgo (r) se asume constante, además de que satisface la condición de que $u > r > d$, pues de lo contrario existirían oportunidades de arbitraje. Supongamos que se desea valorar una opción tipo Call sobre el activo subyacente. Si denotamos por K el precio de ejercicio, C su valor en el tiempo 0, C_u su valor si S sube a uS y C_d si S baja a dS , entonces se debe cumplir la situación que aparece en la siguiente forma.

Valor Intrínseco de C



$$C_u = \max\{0, uS - K\} \text{ con probabilidad } q$$

$$C_d = \max\{0, dS - K\} \text{ con probabilidad } 1-q$$

Formemos ahora un portafolio que contiene A unidades del activo subyacente y una cantidad B de bonos libres de riesgo. El costo de dicho portafolios en $t = 0$ es igual a $SA + B$. En el periodo $t = 1$ su valor estará dado de la siguiente forma.

Valores posibles del Portafolio



$$uSA + rB \text{ con probabilidad } q$$

$$dSA + rB \text{ con probabilidad } 1-q$$

Como el portafolio puede contener las cantidades A y B que nosotros seleccionemos, podemos escogerlas de forma que igualen el valor del portafolio y la opción Call en el periodo $t = 1$. Para ello se requiere que:

$$uSA + rB = C_u$$

$$dSA + rB = C_d$$

Resolviendo las ecuaciones se tiene que:

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

$$B = \frac{uC_d - dC_u}{r * (u - d)}$$

Los valores así encontrados para A y B definen al llamado “*portafolio de cobertura*” o “*portafolio réplica*”. Dado que dicho portafolio tiene el mismo valor que la opción call en el periodo $t = 1$ (sin importar cuál de los dos estados, u ó d , ocurra) la no existencia de oportunidades de arbitraje implica que el precio de la opción call en el periodo $t = 0$ debe ser igual al precio del portafolio réplica (CRR, 1979).

Como el portafolio réplica cuesta $SA + B$ en $t = 0$, entonces C también debe costar lo mismo en dicho periodo. Usando este hecho se tiene que:

$$C = SA + B = \frac{Cu - Cd}{u - d} + \frac{uCd - dCu}{r * (u - d)} = \frac{1}{r} * \left[\frac{(r - d)}{(u - d)} * Cu + \frac{(u - r)}{(u - d)} * Cd \right]$$

Si se define lo siguiente:

$$p \stackrel{\text{def}}{=} \frac{r - d}{u - d}$$

$$1 - p \stackrel{\text{def}}{=} \frac{u - r}{u - d}$$

Se tiene que:

$$C = \frac{1}{r} * [pCu + (1 - p)Cd]$$

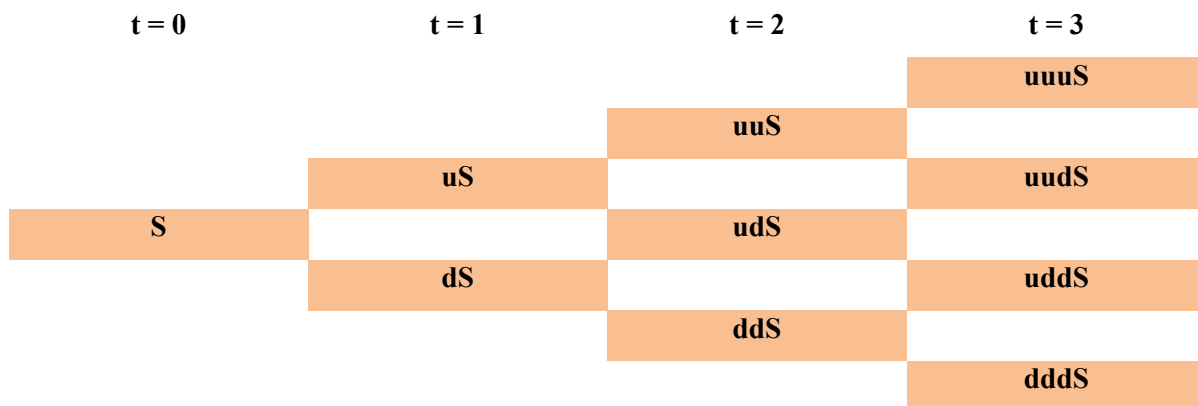
Esta expresión es la fórmula del precio de una opción call con maduración de 1 periodo en tiempo discreto. En el caso de una opción put con el mismo lapso de maduración, la fórmula sigue teniendo la misma forma, sólo que en tal caso Cu y Cd se definen como:

$$Cu^{PUT} = \max[0, K - uS]$$

$$Cd^{PUT} = \max[0, K - dS]$$

Por último, es necesario considerar lo que ocurre cuando el plazo de maduración es mayor a 1 periodo de tiempo. En el caso de las opciones europeas el problema no es serio, pues éstas sólo pueden ejercerse en el momento en que expiran. Gracias a ello y a la naturaleza binomial del proceso, es posible recurrir al llamado *árbol binomial recombinante* (Etheridge, 2002) que aparece en la figura 11 y al proceso de inducción en reversa para determinar el precio de la opción en el periodo $t = 0$.

Figura 11. Árbol Binomial Recombinante



En $t = 3$ se determina el valor intrínseco de la opción en cada uno de los 4 posibles estados (uuuS, uudS, uddS, dddS). En $t = 2$ se obtiene el valor de la opción en el estado uuS a partir de sus posibles valores en $t = 3$ (uuuS ó uudS), usando exactamente la misma fórmula que la presentada en la página anterior. El proceso se repite para cada una de las ramas de $t = 2$, cuyos valores sirven de insumo para los nodos en $t = 1$, y volvemos a repetir la operación hasta llegar a $t = 0$.

En el caso de las opciones americanas la situación es un poco más complicada, pues el inversionista puede ejercer el derecho antes de la fecha de maduración del instrumento financiero. No obstante, el modelo CRR puede adaptarse para valorar esta situación: basta analizar, para cada nodo del árbol binomial, las dos posibles decisiones del inversionista (ejercer o mantener la opción) y elegir aquélla con mayor valor. En el presente ejercicio, sin embargo, se simplificará el análisis al considerar que la opción put de salida del proyecto es similar a una opción europea, por lo que sólo se le puede ejercer en su fecha de maduración.

3.3 Elección de los Parámetros del Proyecto de Inversión

Para la estimación de los parámetros utilizados para la evaluación de la opción real en un proyecto de producción de jitomate en invernadero se recurrió a las fichas técnicas presentadas por distintas empresas, como requisito para solicitar el apoyo en el Programa de Apoyo a la Inversión en Equipamiento e Infraestructura, en su componente Agricultura Protegida de la SAGARPA.

Se encontraron 10 proyectos para producción de tomate en los estados de Baja California Sur, Coahuila, Guanajuato (2), Jalisco (2), Morelos, San Luis Potosí, Tamaulipas y Zacatecas. La inversión para la construcción y equipamiento del invernadero oscila en un rango de entre \$131.45 y \$848.96 pesos por metro cuadrado. El promedio es de \$519.81 pesos por metro cuadrado y la mediana es de \$489.90 pesos por metro cuadrado. En este caso se considera que la mediana es un mejor indicador de tendencia central, por lo que se eligió como representativo al proyecto con un costo de construcción igual a \$489.90 por metro cuadrado.

El proyecto evaluado se supone que consiste en un invernadero equipado de 1 hectárea con alta tecnificación, por lo que el costo total representativo sería de \$4, 899,000 pesos. Aunque es práctica común que parte de la inversión se financie con un crédito bancario, para simplificar el análisis aquí se

supone que dicho costo se cubre con las aportaciones de capital de los socios inversionistas en el periodo $t=0$. A cambio, cada socio recibe una “acción”¹ representativa del capital.

Por simplicidad se asume que cada acción representa el costo de 1 metro cuadrado del invernadero, de forma que su valor en $t=0$ es de \$489.90 pesos. El valor de la acción subirá o bajará de acuerdo al comportamiento de los flujos netos de efectivo que el proyecto genere a lo largo de su vida útil. Se supondrá que no se pagan dividendos a lo largo del periodo de vida útil del proyecto y que las pérdidas o ganancias generadas se reflejan por completo en su estructura de capital social, de forma que nuestra acción representativa gana o pierde valor en la misma proporción en que el proyecto genera flujos netos de efectivo positivos o negativos. Por último, se supone que al final del periodo de análisis no existe problema para que los activos puedan venderse de acuerdo a su valor residual, además que el efecto de la depreciación ya se encuentra incluido dentro del flujo neto de efectivo anual.

A partir del análisis del flujo de efectivo neto contenido en las fichas técnicas es posible conocer la utilidad anual después de impuestos por metro cuadrado para cada uno de los proyectos. Aquí la fluctuación es menor que en el caso de la inversión. La utilidad se mueve en un rango de entre \$47.83 pesos por metro cuadrado y \$105.75 pesos por metro cuadrado. El promedio es de \$67.59 por metro cuadrado y la mediana es de \$63.17 pesos por metro cuadrado. En relación al proyecto considerado como representativo en materia del costo de inversión del proyecto, su utilidad por metro cuadrado es de \$66.43 por metro cuadrado, cifra muy cercana tanto a la media como a la mediana de la muestra. Para darle mayor consistencia a la evaluación, se decidió tomar también esta última como cantidad como la más representativa de este tipo de proyectos.

Todos los proyectos de la muestra consideran un periodo de análisis de 5 años, cosa que también se hará en este estudio. Con un flujo de utilidad neta de \$66.43 por metro cuadrado, el invernadero de 1 hectárea aquí planteado generaría una ganancia neta nominal de \$664,300 pesos al año, es decir, un rendimiento de 13.56% sobre la inversión realizada. No obstante, esto no significa que el rendimiento crezca geométricamente a dicha tasa durante los 5 años de vida del proyecto. En realidad, la mayoría de las fichas técnicas consideran que el flujo neto de efectivo permanece constante a lo largo del tiempo². De ser así, el proyecto representativo generaría una ganancia neta nominal de \$3, 321,500 pesos, equivalentes al 67.8% del valor de la inversión. Con base en este flujo, la participación de los accionistas en el proyecto

¹ No se trata necesariamente de una acción que cotice en los mercados financieros. Simplemente es el instrumento legal que sirve para asignar los derechos de propiedad sobre el proyecto, así como sobre los futuros flujos netos de efectivo que éste genere.

² Con excepción del año 5, en donde se suman los recursos obtenidos por la venta de los activos del proyecto a su valor residual.

se apreciaría anualmente a una tasa geométrica de 10.91%. Esta cifra representa el valor del parámetro $u-I$ para nuestro ejercicio de evaluación.

Todos los proyectos de la muestra poseen una rentabilidad aceptable. Sin embargo, debe considerarse que ello se debe a un problema de selección: únicamente se presentan proyectos rentables para solicitar el apoyo en el Componente de Agricultura Protegida (un proyecto no rentable no calificaría para recibir el subsidio, de forma que existen incentivos para que sólo los proyectos rentables se presenten). En la práctica, la probabilidad de que el proyecto fracase sigue siendo considerable. Así, para el cálculo del escenario pesimista de nuestro proyecto (representado por el parámetro $d-I$) se hará el supuesto de que existe una probabilidad positiva de que la participación accionaria en el proyecto se deprecie en la misma medida en que se aprecia. Así, se tomará que el valor de $d-I$ es igual a -0.1091.

La tasa de interés libre de riesgo que se usará corresponde a la de los Certificados de la Tesorería de la Federación (CETES) a 28 días, cuyo promedio para las 81 subastas semanales comprendidas entre el 6 de enero de 2011 y el 19 de julio de 2012 fue de 4.26% (Banco de México, 2012).

Recapitulando, tenemos un activo subyacente que en el periodo $t = 0$ tiene un valor de \$489.90 pesos, el cual sigue un proceso binomial multiplicativo a lo largo de 5 años, con una tasa simétrica de crecimiento/decrecimiento igual a 10.91% anual y una tasa de interés libre de riesgo de 4.26% anual. Dados estos parámetros, en la siguiente sub-sección se procede a evaluar una opción de retiro en el quinto año tipo put europeo, con un valor de ejercicio de \$450.00 pesos.

3.4 Evaluación de la Opción Real

Los valores de los parámetros a utilizar en el modelo CRR son:

Tasa bruta de interés libre de riesgo = $r = 1.0426$

Tasa geométrica de crecimiento del valor del activo = $u-I = 0.1091$ (por lo tanto, $u=1.1091$)

Tasa geométrica de decrecimiento del valor del activo = $d-I = -0.1091$ (por lo tanto, $d=0.8909$)

Usando las fórmulas expuestas con anterioridad se tiene que:

$$p \stackrel{\text{def}}{=} \frac{r - d}{u - d} = \frac{1.0426 - 0.8909}{1.1091 - 0.8909} = \frac{0.1517}{0.2182} = 0.6952$$
$$1 - p = 1 - 0.6952 = 0.3048$$

La figura 12, por su parte, muestra el árbol binomial con el valor posible del activo subyacente en cada uno de los periodos de tiempo y para todos los posibles escenarios de crecimiento o decrecimiento de su valor. Por ejemplo, el valor superior de la columna $t = 5$ corresponde al escenario más optimista de todos, en donde el proyecto es siempre exitoso y ello se traduce en incrementos anuales de 10.91% en el valor de la participación accionaria en el capital. En ese caso se tiene que el valor futuro del activo es igual a:

$$VF = 489.90 * (1.1091)^5 = 489.90 * 1.6782 = \$822.17$$

Figura 12. Trayectoria temporal del valor del activo subyacente

t = 0	t = 1	t = 2	t = 3	t = 4	t = 5
					\$822.17
				\$741.29	
			\$668.37		\$660.42
		\$602.63		\$595.45	
	\$543.35		\$536.88		\$530.49
\$489.90		\$484.07		\$478.31	
	\$436.45		\$431.26		\$426.12
		\$388.84		\$384.21	
			\$346.41		\$342.29
				\$308.62	
					\$274.95

El valor en la parte media de la columna $t = 2$ puede calcularse a partir de 2 trayectorias distintas:

1. El valor del activo sube 10.91% en el periodo $t = 1$ (llega a \$543.35) y luego baja 10.91% en el periodo $t = 2$ para llegar a \$484.07 ($= 543.35 * 0.8909$).
2. El valor del activo baja 10.91% en el periodo $t = 2$ (llega a \$436.45) y luego sube 10.91% en el periodo $t = 2$ para llegar a \$484.07 ($= 436.45 * 1.1091$).

El resto de los valores de la figura 12 se calcula siguiendo el mismo procedimiento.

El siguiente paso es realizar la evaluación de la opción real de salida del proyecto. Recordemos que la opción le da al poseedor el derecho, pero no la obligación, de vender por \$450.00 pesos por metro

cuadrado su participación en el proyecto de producción de jitomate en invernadero en el año $t = 5$. El árbol binomial de la figura 13 presenta el valor intrínseco asociado con dicha opción real en cada uno de los nodos.

Los números de la columna 5 representan el valor intrínseco de la opción en el momento en que ésta llega a su periodo de maduración. Obviamente, si el proyecto resulta completamente exitoso la opción no tiene valor intrínseco, pues no sería razonable que alguien venda por \$450.00 una participación accionaria que en realidad tiene un valor de \$822.17. Sólo en el caso de los 2 escenarios menos exitosos se ejerce la opción. Así, cuando todo sale mal y el activo se deprecia en todos los años, hasta llegar a valer \$274.95, el put tiene un valor intrínseco de \$175.05 ($= \$450.00 - \274.95).

En el periodo $t = 4$ el valor intrínseco al momento de la maduración sirve como insumo para aplicar la fórmula del modelo de CRR. Por ejemplo, el valor en el extremo inferior de la columna $t=4$ se obtiene así:

$$C = \frac{1}{r} * [pCu + (1 - p)Cd] = \frac{1}{1.0426} * [0.6952 * 107.71 + 0.3048 * 175.05]$$

$$= 0.9591 * (74.88 + 53.36) = 0.9591 * 128.24 = 123.0$$

Figura 13. Evaluación de la Opción Real

t = 0	t = 1	t = 2	t = 3	t = 4	t = 5
					\$0.00
				\$0.00	
			\$0.00		\$0.00
		\$0.60		\$0.00	
	\$2.38		\$2.04		\$0.00
\$5.65		\$6.77		\$6.98	
	\$13.90		\$18.51		\$23.88
		\$32.10		\$47.41	
			\$67.57		\$107.71
				\$123.00	
					\$175.05

El proceso se repite para cada uno de los nodos en cada periodo de tiempo. Cuando se llena la columna de un periodo dado, sus valores sirven como insumos para evaluar la opción en el periodo previo. Se continúa con la inducción hacia atrás hasta llegar al periodo $t = 0$. En nuestro ejercicio, la opción de salida del proyecto con precio de ejercicio de \$450.00 pesos y periodo de maduración de 5 años tiene un precio de \$5.65 pesos. Recordemos que las cantidades están expresadas en términos por metro cuadrado. Así, el precio total de este tipo de acciones para el caso de un invernadero de 1 hectárea sería de \$56,500.00 pesos.

Ahora bien, ¿cómo contribuye la opción real de salida a disminuir el riesgo que enfrentan los inversionistas? Para responder a esta pregunta sólo basta comparar lo que sucede cuando la opción está disponible y cuando no está disponible. Los resultados de esta comparación se muestran en el cuadro 4.

Cuadro 4. Comparación de Resultados con y sin Opción Real de Salida

Situación	Inversión Inicial por metro cuadrado (a valor presente en $t=0$)	Apreciación Máxima Posible por metro cuadrado (a valor futuro en $t=5$)	Depreciación Máxima Posible por metro cuadrado (a valor futuro en $t=5$)	Rango de Resultados =preciación máxima – Depreciación máxima
Con Opción	$\$489.90 + \$5.65 = \$495.55$	$\$822.17 - (\$495.55 * (1.0426)^5) = \$822.17 - \$610.49 = \$211.68$	$\$450.00 - (\$495.55 * (1.0426)^5) = \$450.00 - \$610.49 = -\$160.49$	\$372.17
Sin Opción	\$489.90	$\$822.17 - (\$489.90 * (1.0426)^5) = \$822.17 - \$603.53 = \$218.64$	$\$489.90 * (1.0426)^5 = \$603.53 - \$328.58$	\$547.22

Fuente: Elaboración propia en base a resultados

Gracias a la opción, la máxima depreciación posible de la participación accionaria en el periodo $t = 5$ se reduce de \$328.58 pesos por metro cuadrado a sólo \$160.49 pesos por metro cuadrado, una reducción equivalente a \$168.09 pesos por metro cuadrado. En cambio, la máxima apreciación posible del activo subyacente prácticamente no se ve afectada, pues la opción lo reduce apenas en \$6.96 pesos por metro cuadrado.

Así, lo que el cuadro 4 nos dice es que, a cambio de una inversión de \$6.96 (a valor futuro en $t = 5$) en la opción real, el inversionista adquiere un seguro para que, en el peor de los escenarios posibles, su pérdida máxima se reduzca en \$168.09 pesos (en términos de valor presente en $t = 0$ tales valores son, respectivamente, \$5.65 y \$136.44), mientras que su máxima ganancia se mantiene prácticamente constante.

Obviamente, lo anterior se traduce en una mayor certidumbre respecto a los resultados económicos del proyecto, lo que constituye un fuerte incentivo para la participación de la inversión privada en la actividad analizada.

CONCLUSIONES

El análisis llevado a cabo, pone de manifiesto el potencial de las opciones reales de salida como factor para la mitigación del riesgo en los proyectos de producción de jitomate en invernadero. Esta menor incertidumbre es importante porque constituye un incentivo para canalizar una mayor inversión privada hacia las actividades productivas en las zonas rurales de México.

El modelo aquí presentado puede ampliarse para abarcar otro tipo de proyectos productivos, ya sea nuevos cultivos bajo condiciones de agricultura protegida, o bien hacia otros procesos, como la producción de granos y oleaginosas en agricultura de precisión o la construcción de plantas productoras de biocombustibles.

A MANERA DE REFLEXIÓN

Asimismo, otras direcciones en las que se puede profundizar el análisis son:

1. Mejorar la información sobre los flujos de efectivo de los proyectos analizados, ya sea mediante una ampliación de la muestra o con un tratamiento contable más detallado de los distintos conceptos que determinan la rentabilidad de la inversión.
2. Modificar el modelo de análisis para permitir otro tipo de opciones, como las americanas, más flexibles en cuanto a la fecha en que pueden ejercerse.
3. Modificar el modelo para permitir el pago de dividendos durante la vida útil del proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

- Amram M., Kalatilaka, N. 2000. Opciones Reales: Evaluación de Inversiones en un Mundo Incierto. Primera edición en español. Editorial gestión 2000. España. Romana Valls S.A. p. 129-177
- Bastida-Tapia A, Ramirez- Arias J.A. Los invernaderos en México. Chapingo, México. Universidad Autónoma Chapingo, 2008. 233
- Baca Urbina, Gabriel. (1995). Evaluación de Proyectos. McGRAW-HILL. México.
- Black, F. y M. Scholes (1973). "The pricing of options and corporate liabilities", Journal of Political Economy, 3, 637-654.
- Banco de México (2012). Valores Gubernamentales: Resultados de la Subasta semanal a la fecha de su colocación, consultado en: <http://www.banxico.org.mx/SieInternet/consultarDirectorioInternetAction.do?accion=consultarCuadro&idCuadro=CF107§or=22&locale=es>
- Brambila P, J de J. 2003. Financiamiento Rural: Redes de Valor y Opciones Reales. Banco de México - FIRA.
- Brambila P, J de J. 2006. En el umbral de una agricultura nueva. Primera edición, Universidad Autónoma Chapingo, Colegio de Postgraduados. México. P. 255-280.
- Chávez C., M. 2004. Selección de variedades de pepino bajo condiciones de invernadero en la Costa Hermosillo, México. VII Congreso Internacional en Ciencias Agrícolas. Mexicali, B.C. México. pp. 191-194.
- Cook, R. 2003. Giocollelli, G. 2005. Protected horticulture for tomato production in Mexico productivity based on technology.
- Coss Bu, Raul. (2004). Análisis y evaluación de proyectos de inversión. Editorial Limusa, México.
- Cox, J.C., S. A. Ross y M. Rubinstein (1979). "Option Pricing: A Simplified Approach", Journal of Financial Economics, 7, 229-263.
- CONAGUA (2010), Comisión Nacional de Agua, Atlas Digital del Agua México, SEMARNAT. <http://www.conagua.gob.mx/atlas/#>
- De la Rosa., P.P.; Jiménez S., L.; Ramírez V., B.; Ramírez J., J. y Escalante R., R. 2003. Evaluación productiva y económica del sistema hidropónico en invernaderos rústicos en Nativitas, Tlaxcala. Agricultura Técnica en México 29:145-154.
- Díaz T. H. T. 2002. Futuros y Opciones financieras, una introducción. Tercera edición. Editorial Limusa. México. 192 pp.
- Dixit A y Pindyck R. 1994. Investment under uncertainty. Primera edición. Princeton University Press. Princeton, NY. 476 p.

- Domínguez A. R. 2009. Utilización de Opciones Reales en Proyectos de Inversión Agrícola. Tesis. Doctorado en Economía, Socioeconomía, Estadística e Informática. Colegio de Postgraduados. México.
- Etheridge, A. (2002). A Course in Financial Calculus, Cambridge University Press.
- Giacomelli, 2004. Producción de cultivos en invernadero con ambiente controlado. VII Congreso Internacional de Ciencias Agrícolas, Mexicali, B.C. México. p 54-61.
- Hiram Salomón Guzmán “Evaluación de una inversión irreversible en un escenario de incertidumbre, caso integración vertical de los trece ejidos S.P.R. de R.L. Tesis (maestría en economía) Colegio de Postgraduados, 2010.
- Hochmuth, G J. 2008. Production of Greenhouse Tomatoes-Florida Greenhouse Vegetable Production Handbook, Vol 3, University of Florida, IFAS Extension HS 788, 20 pp.
- Kuria-Kamanu, T. K. (2004). Continuous Time Limit of the Binomial Model, mimeo African Institute for Mathematical Sciences Diploma Program.
- Loren W. T. 2004. When to Get In and Out of Dairy Farming: A Real Option Analysis. Department of Applied Economics and Management Cornell University, Ithaca, New York 14853-7801 USA.
- Mascareñas, Juan (2004). Opciones reales y valoración de activos. España: FT-Prentice Hall.
- Molina R., y Steta G., M. 2004. Situación de la producción y organización en invernadero y casa sombra en México. Primer Simposio Internacional sobre Tecnología de Producción en hortalizas en Invernadero y Casa Sombra. Cd. Obregón, Sonora. México.p.1-11.
- Moreno-Pérez EC. Agricultura protegida para la producción de hortalizas. En: Segunda Reunión Nacional de Innovación Agrícola y Forestal. Guadalajara, México, 2007.
- Muñante Pérez, Domingo. (2004). Apuntes para el curso de: Formulación y Evaluación de proyectos.
- Mascareñas, J. 2007. Opciones Reales en la Valoración de Proyectos de Inversión. Monografías de Juan Mascareñas sobre Finanzas Corporativas. Universidad Complutense de Madrid. España. 36 pp. División de ciencias económico-administrativas. Chapingo, México.
- Mascareñas, J. 2008. Procesos Estocásticos: El proceso de Wiener. Documentos de trabajo de la Universidad Complutense de Madrid. España. 12 p.
- PEF (2012), Presupuesto de Egresos de la Federación para el Ejercicio Fiscal 2012, Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión.
- El Plan Nacional de Desarrollo (2007-2012) en el periodo del Presidente Felipe Calderón Hinojosa <http://pnd.presidencia.gob.mx/>
- SAGARPA (2011), “Acuerdo por el que se dan a conocer las Reglas de Operación de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación”, Diario Oficial de la Federación, 30 de diciembre, Programa de Apoyo a la Inversión en Equipamiento e Infraestructura, Componente Agricultura Protegida.

SAGARPA (2012), Programa de Apoyo a la Inversión en Equipamiento e Infraestructura, Datos del Componente Agricultura Protegida.

Sánchez del Castillo F. (2007). Proyecto Educativo de la Licenciatura Ingeniero Agrónomo en Horticultura Protegida. Chapingo, México. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. 86

Solorzano V, F E. 2001. Valuación de Proyectos de Inversión a través de Opciones Reales. Primera edición. Comisión Nacional de Seguros y Fianzas. México DF. p. 27-69.

T. Jeffrey P, Michael E. W. 1999. Irreversible Investment Decisions in Perennial Crops with Yield and Price Uncertainty. *Journal of Agricultural and Resource Economics* 24(1): 173-185. Western Agricultural Economics Association.