



# **COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

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

**CAMPUS MONTECILLO**

**POSTGRADO DE SOCIOECONOMÍA, ESTADÍSTICA E INFORMATICA**

**ECONOMÍA**

## **“VALORES CRÍTICOS PARA LA EVALUACIÓN DE UNA EMPRESA QUE INICIA (START-UP) CON OPCIONES REALES DE CRECIMIENTO”**

**LIZBETH COBIAN ROMERO**

**T E S I S**

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

**MAESTRA EN CIENCIAS**

**MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO**


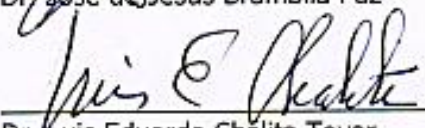
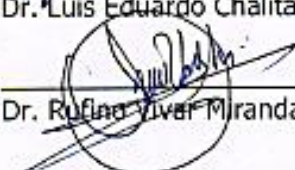
**2012**

La presente tesis titulada: “**VALÓRES CRÍTICOS PARA LA EVALUACIÓN DE UNA EMPRESA QUE INICIA (START-UP) CON OPCIONES REALES DE CRECIMIENTO**” realizada por la alumna: **Lizbeth Cobian Romero** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS  
SOCIOECONOMÍA ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA

**ECONOMÍA**

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO	 _____
ASESOR	 _____
ASESOR	 _____
ASESOR	_____

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Enero de 2012

### AGRADECIMIENTOS ACADÉMICOS.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo económico brindado para poder realizar mis estudios de maestría y la presente investigación.

Al Colegio de Postgraduados, donde me fue posible encontrar profesores y profesionistas comprometidos con el desarrollo nacional a través de la educación.

A mi consejero, Dr. José de Jesús Brambila Paz, por dirigir este trabajo con gran dedicación y por los nuevos conocimientos brindados durante mi formación académica.

A mis asesores, Dr. Rufino Vivar Miranda y Dr. Luis E. Chalita Tovar, por su apoyo y sugerencias constantes para la realización de ésta investigación.

A mis profesores, por la educación de calidad que me brindaron estos años, por formarme en el área de economía y hacer de mi una persona más capaz y comprometida con el crecimiento económico-social de nuestro país.

A mis compañeros de economía, por compartir conmigo experiencias, desvelos, consejos, frustraciones, sufrimientos, alegrías y 2 años de vida.

### AGRADECIMIENTOS PERSONALES

A mi familia Cobian, a mi tita, mi papá y mis tíos por su amor y confianza, por inculcarme valores que han permitido ser una persona de bien y por estar conmigo siempre.

A la familia Mendoza, al Dr. Moisés (Q.E.P.D.), a la Dra. Carmen, a Moy y Gaby por su apoyo y confianza incondicional en todo momento, por inculcarme un gran amor al maíz y al campo mexicano, por permitirme formar parte de ustedes.

A Moy, por su cariño y paciencia, por estar cuando más lo necesito y darme tantos momentos de alegría, por contagiarme con su perseverancia y su pasión por el trabajo.

A mis amigos, en especial a Sam, Violeta y Gaby, por tantos momentos agradables, por sus consejos y por ayudarme a levantar en cada tropiezo.

# ÍNDICE

CAPÍTULO 1	INTRODUCCIÓN .....	1
1.1	Antecedentes .....	1
1.1.1	La era del plástico. ....	1
1.1.2	Problemas Medioambientales.....	4
1.1.3	Plásticos verdes.....	5
1.1.4	El bioplástico en México.....	7
1.2	Planteamiento del Problema .....	10
1.3	Objetivos. ....	13
1.3.1	Objetivo General.....	13
1.4	Hipótesis. ....	13
1.5	Metodología. ....	14
CAPÍTULO 2	LOS BIOPLÁSTICOS.....	16
2.1.	Polímeros naturales, el inicio de los bioplásticos. ....	16
2.2	Los bioplásticos y su fuente de obtención.....	17
2.2.1	Polímeros de base biológica.....	17
2.2.2	Polímeros que son de bases biológicas y biodegradables. ....	18
2.3	Bioplásticos y desarrollo sostenible.....	19
2.4	El mercado de los bioplásticos. ....	22
2.5	Bioplástico mercado emergente en México. ....	23
2.6	El futuro de los bioplásticos y la seguridad alimentaria. ....	27

CAPÍTULO 3	TEORÍA DE LOS PROYECTOS DE INVERSIÓN Y LA EVALUACIÓN TRADICIONAL.	30
3.1.	Proyectos de inversión.....	30
3.2	Métodos de valoración tradicionales.....	33
3.2.1	Valor actual neto.....	34
3.2.2	La tasa interna de rendimiento (TIR).....	39
3.2.3	Tasa de rendimiento contable sobre la inversión.....	40
3.2.4	Análisis Costo Beneficio.....	41
3.2.5	El plazo de recuperación simple.....	42
3.3	Incertidumbre y riesgo.....	42
CAPÍTULO 4	ENFOQUE TEÓRICO METODOLÓGICO.....	46
4.1	Las opciones reales, definiciones y tipos.....	46
4.2	Opciones financieras y opciones reales.....	47
4.2.1	Similitudes entre opciones financieras y opciones reales.....	48
4.2.2	Diferencias Entre Opciones financieras y opciones reales.....	51
4.3	Las opciones reales.....	54
4.3.1	Tipos de Opciones reales.....	55
4.4	Cálculo del valor de las opciones reales.....	57
4.4.1	Soluciones por medio de ecuaciones parciales diferenciales (PDE).....	59
4.4.2	Programación dinámica.....	64
4.4.3	Modelos de simulación.....	69
4.5	Evolución de la metodología tradicional.....	69
4.6	Los proyectos de inversión analizados como opciones reales.....	71
4.7	Opciones reales para Start-Up.....	73
CAPÍTULO 5	VALORES CRÍTICOS.....	75
5.1	Procesos estocásticos.....	76
5.2	Casos particulares de los procesos estocásticos.....	78
5.2.1	Proceso de Markov.....	78
5.2.2	El Proceso de Wiener.....	79
5.2.3	Movimiento Browniano Aritmético.....	81
5.2.4	El proceso de Ito.....	82
5.2.5	Movimiento Browniano Geométrico.....	82
5.2.6	Lema de Ito.....	84
5.2.7	Programación dinámica y la ecuación de Bellman.....	85
5.3	OPORTUNIDADES DE INVERSIÓN Y TIEMPO DE INVERSIÓN.....	86



---

5.3.1 El modelo básico. ....	86
5.3.2 Solución por programación dinámica. ....	87
CAPÍTULO 6 EVALUACIÓN DEL PROYECTO “BIOREFINERÍA INTEGRAL SINALOA”.....	94
6.1 Evaluación tradicional .....	94
6.2 Evaluación de Opciones Reales por el método Black-Scholes. ....	97
6.3 Estimación de valores críticos para el proyecto Biorefinería Sinaloa. ....	100
6.4 Análisis de resultados. ....	105
CAPÍTULO 7 Conclusiones.....	107
BIBLIOGRAFÍA.....	109
ANEXOS.....	114

# ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Porcentaje de utilización de los principales métodos de evaluación actualmente. .	32
Cuadro 2: VAN y la toma de decisiones.....	36
Cuadro 3: Parámetros de Valuación en opciones reales y en opciones financieras.....	49
Cuadro 4: Efecto sobre las opciones de compra (call) y venta (put) si los parámetros de evaluación aumentan .....	51
Cuadro 5: Diferencias entre opciones reales y opciones financieras.....	53
Cuadro 6. Métodos de solución y calculadores de opciones. ....	57
Cuadro 7: Resumen de la importancia de las opciones reales con respecto a la incertidumbre y a la flexibilidad operativa. ....	71
Cuadro 8. Resumen de variables proyectos de inversión y opciones reales. ....	72
Cuadro 9: Clasificación de los procesos estocásticos.....	77
Cuadro 10: Valor agregado del Maíz Amarillo.....	95
Cuadro 11: Costos de producción para la producción de 20 mil ton de PLA .....	96
Cuadro 12. Flujo de efectivo Biorefinería Integral Sinaloa.....	96
Cuadro 13: Relación precios nacionales e internacionales de los insumos contra combustibles fósiles.....	100
Cuadro 14: Estimación de los valores críticos para la Biorefinería Integral Sinaloa. Precios nacionales.....	104
Cuadro 15: Estimación de los valores críticos para la Biorefinería Integral Sinaloa. Precios internacionales. ....	105

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Proceso de producción del biopolietileno.....	17
Figura 2: Factores que impulsan el mercado de los bioplásticos.....	23
Figura 3: Rendimiento del maíz para bioplástico y subproductos.....	29
Gráfica 1. Producción mundial de plásticos.....	4
Gráfica 2: Comparativo de huellas ambientales “Emisiones de CO <sub>2</sub> ”.....	20
Gráfica 3: Comparativo de huellas ambientales “Uso de energía no renovable” .....	21
Gráfica 4: Comparativo de huellas ambientales “Uso de agua total.....	22
Gráfica 5: Ingresos contra Volumen proyección México 2009 a 20 .....	24
Gráfica 6: Precio del petróleo contra precios del maíz .....	25
Gráfica 7: Principales usos del bioplástico en México.....	26
Gráfica 8: Principales usos del bioplástico en México .....	26
Gráfica 9: La incertidumbre aumenta el valor.....	43
Gráfica 10: Riesgo total y valor de la opción. ....	44
Gráfica 11: El valor Delta de una opción.....	64
Gráfica 12: Árbol binomial. ....	67
Gráfica 13: Probabilidad de “x” dado “t” .....	77
Gráfica 14: Disminución de la Tasa de interés libre de riesgo real a partir del año 2000 ...	101
Gráfica 15: Aumento de los precios reales del petróleo a partir del año 2000 en México. 101	
Gráfica 16: Baja de los precios reales durante el periodo (1980 – 2000) y su crecimiento durante el periodo (2000 – 2011) en México.....	102
Gráfica 17: Baja de los precios reales durante el periodo (1980 – 2000) en Estados Unidos. ....	102



## VALORES CRÍTICOS PARA LA EVALUACIÓN DE UNA EMPRESA QUE INICIA (START-UP) CON OPCIONES REALES DE CRECIMIENTO

### RESÚMEN

Una empresa innovadora que inicia en el mercado es conocida en la literatura como Start-Up; este tipo de firmas al ser evaluadas con los métodos tradicionales (tasa interna de retorno, TIR; valor actual neto, VAN y relación beneficio-costos, B/C) son generalmente rechazadas debido a que no cuentan con información económico-financiera suficiente. El objetivo de este trabajo fue determinar si la incorporación de las metodologías *Opciones Reales* y *Valores Críticos* a la evaluación tradicional agregan valor a empresas Start-Up. El caso que se trató fue el de una planta de bioplásticos. Para calcular la opción de compra al aumentar la producción se utilizó el método de Black-Scholes, que consiste en una ecuación y cinco variables. Para calcular el beneficio máximo que debe tener el proyecto con respecto a la inversión, y tomando en cuenta la volatilidad de precios, se utilizaron los valores críticos. Los resultados indican que con la evaluación tradicional el proyecto se rechaza al obtener un VAN negativo, mientras que la opción de expandirse incrementó el valor del proyecto. El análisis de los valores críticos demuestra que para el caso de México, el insumo más favorable para la producción de bioplásticos es el maíz, mientras que para Estados Unidos es la caña. Por lo tanto, para mejorar la toma de decisiones, es necesario integrar a los instrumentos de valoración tradicional, las metodologías de opciones reales y valores críticos, principalmente cuando las empresas son Start-Up y/o se encuentran en escenarios de riesgo e incertidumbre.

Palabras clave: Black-Scholes, evaluación de proyectos, bioplástico, riesgo e incertidumbre.

## **CRITICAL VALUES FOR THE EVALUATION OF A START-UP ENTERPRISE WITH REAL GROWTH OPTIONS**

### **ABSTRACT**

An innovative enterprise that starts in the market is known in the literature as a Start-Up; when this kind of business are evaluated with traditional methods (internal rate of return, IRR, net present value, NPV, and benefit-cost ratio, B / C) they are usually rejected due to the lack of enough economical and financial information. The objective of this research was to determine if the incorporation of methodologies like real options and critical values to the traditional valuation methods, add value to the Start-Up companies. The case that was studied in this research was about a bioplastics tier. To calculate the call option when the production increased, the Black-Sholes method was used and it consisted in an equation and five inputs that were used to characterize the relation between risk and value. To calculate the maximum benefit that the project must have in association with the investment, and considering the price volatility, the critical values were used. The results show that with the traditional evaluation the project was rejected by obtaining a negative NPV, while the option of expanding increased the value of the project. The analysis of the critical values showed that for Mexico, the most prosperous input for the production of bioplastics was the maize while for the United States of America was represented by sugar cane. Therefore, to improve the decision-making, it is required to integrate the tools of traditional valuation, the real options and critical values methodologies, mainly when the enterprises are Start-Up or when they are facing risk and incertitude scenes.

Keywords: Black-Scholes, project evaluation, bioplastic, risk and uncertainty.

# CAPÍTULO 1

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes

#### 1.1.1 La era del plástico.

Los plásticos están por todos lados. Bolsas, tarjetas de banco, botellas e inclusive barcos pueden ser hechos de éste célebre pero maligno material. Sólo basta con mirar alrededor. La enorme versatilidad de los polímeros plásticos, unida a su bajo costo, los hace irremplazables en la vida moderna. Es tan obvio que pasa desapercibido. Es la Era del Plástico.

Los plásticos son materiales sintéticos que, al ser calentados, se ablandan sin perder cohesión, por lo que se les puede dar diversas formas y obtener otras nuevas al ser enfriados.

Para entenderse mejor, la palabra clave es polímeros. La naturaleza los ha producido siempre, en forma de celulosa, molécula de ADN o proteínas. Fueron estos polímeros

naturales los que sirvieron de inspiración. Los plásticos son simplemente polímeros sintéticos, creados por el hombre.

La industria de los plásticos empezó en 1869 cuando los hermanos Hyatt, tratando de fabricar bolas de billar con otro material que no fuera el escaso y costoso marfil, experimentaron con alcanfor y nitrato de celulosa hasta dar, casi casualmente, como suelen ocurrir estas cosas, con el primer plástico oficialmente conocido por el hombre: el celuloide (Sosa 2003)

Hay otros autores, sin embargo, que marcan 1907 como Año Cero de la Era del Plástico. Fue entonces cuando el químico belga Leo Baekeland inventó la baquelita en su laboratorio, buscando un material aislante de la electricidad. Suya es la medalla de haber establecido las bases para la Revolución del Plástico. A partir de él, el nuevo material fue ganando en versatilidad y flexibilidad.

Fue así que no tardó en convertirse en un artículo de gran demanda. No sólo satisfacían una función estética sino también, principalmente, una función práctica. Pronto, estas fibras sintéticas comenzaron a suplir productos agropecuarios.

Estas imitaciones de los milagros de la naturaleza (como fue el rayón respecto a la seda) encontraron pronto acomodo en muchas casas que, hasta entonces, sólo valoraban materiales nobles como el mármol o la caoba. A principios del siglo XX, Nylon y Rayón sustituyeron casi por completo a las fibras naturales como algodón, henequén, lana, cuero, pieles etc.

Los plásticos remplazaron también a vidrios y metales en muchas aplicaciones, y entraron para quedarse tanto en los hogares modernos como en la medicina y en los laboratorios de investigación científica.

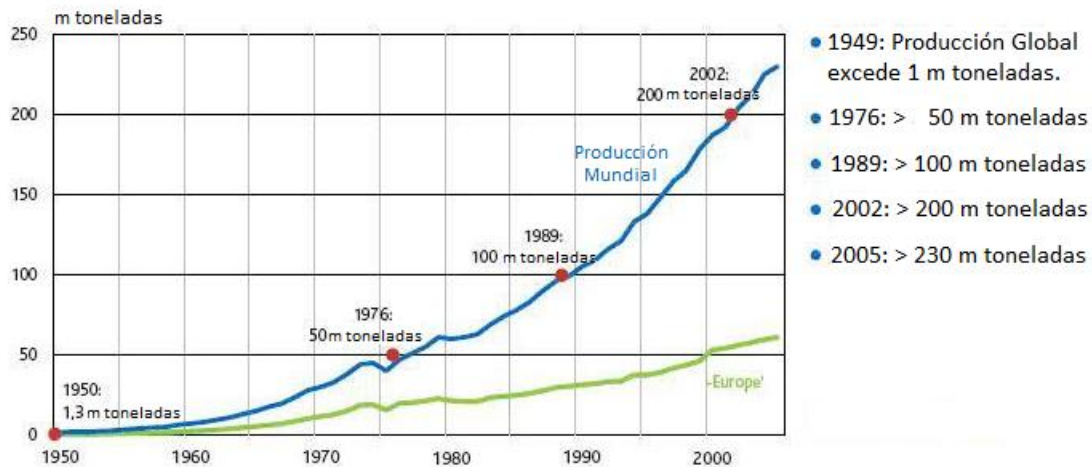
El principio detrás del éxito del plástico es el de sustituir a un material orgánico caro con uno sintético más resistente y barato por lo que el proceso fue repetido una y otra vez durante todo el siglo XX; sin embargo no son únicamente los bajos costos sino las propiedades del plástico lo que lo hacen mejor que muchos materiales naturales.

Resistencia al calor, aislamiento, durabilidad, impermeabilidad, estabilidad química, y la resistencia de no hacerse añicos en caso de una caída, entre otras, son propiedades que incluso han tenido un efecto “salva vidas”; Según Stevens (2002), un ejemplo lo encontramos en zonas propensas a sequías en África, donde los ligeros cubos de plástico para agua, muchas veces, la posesión más importante de la familia, han sustituido a la arcilla y a los recipientes de piedra, brindando la posibilidad de acarrear agua desde los pozos más lejanos en tiempos de grave escasez.

Inclusive un sector de científicos afirma que, sin estos polímeros, nos habríamos estancado en mortandades de Peste Negra. Aducen la importancia de los desechables de plástico, lo que los guantes de látex han representado para la higiene y la asepsia, o lo que las jeringas desechables han contribuido a que pandemias letales como el sida no hayan resultado todavía más devastadoras.

Sus propiedades han permitido un rango sin precedente de aplicaciones. Los principales usos del plástico son para empaques, construcción, productos de consumo, transporte, muebles, electrónica, ropa, entre otros (Stevens 2002). Los plásticos también se encuentran en perfecta combinación con la era de la información moderna, Smartphones, tabletas digitales, lap-tops etc. Son claro ejemplo de ello.

Sin embargo, no todo es tan bueno como parece, el crecimiento acelerado de la producción del plástico ha sido el fenómeno del siglo XX. De entre todos los materiales, los plásticos son los recién llegados y simplemente la humanidad no ha tenido tiempo de prepararse para su arribo.



Gráfica 1. Producción mundial de plásticos.

Fuente: PlasticsEurope, WG Market Research & Statistics.

Ningún material en la tierra ha sido tan altamente valuado por su utilidad pero a la vez tan satanizado como el plástico. Se tienen sentimientos ambivalentes y contrarios acerca de los plásticos y no se ha decidido a final de cuentas cual es el bueno, el malo o el feo. Tendrá cualidades sombrías, pero también virtudes soberanas. Ese es su mayor atractivo, su desconcertante dualidad.

### 1.1.2 Problemas Medioambientales.

Para crear polímeros sintéticos, se requiere un complejo proceso industrial que está esquilmando las reservas mundiales de hidrocarburos. La industria petroquímica utiliza al año 270 millones de toneladas de gas y petróleo en la producción de plásticos (un 4% del consumo total). La escasez del petróleo provoca que se eleven los precios, por lo tanto aumentan también los precios de los petro-plásticos debido a que éstos se encuentran correlacionados.

A pesar de que la durabilidad de los plásticos se consideró en un principio como una de sus cualidades más apreciadas, actualmente es esa misma propiedad la que ha provocado uno de los problemas más graves de contaminación en el ambiente. Sosa (2003) plantea que, al

contrario de lo que muchos creen, los plásticos sí se degradan, pero el periodo de degradación puede ser muy largo, en algunos casos de más de 300 años, por lo que tienden a acumularse. El problema se agrava en la medida en que aumenta el número de artículos desechables elaborados con plásticos; se estima que alrededor de un 30% de los millones de toneladas de residuos sólidos generados son plásticos.

El mar es especialmente sensible a este problema: algunas de las corrientes marinas más importantes están “marcadas” con bolsas y otros artículos de plástico que flotan siguiendo su curso. Peor aún, frecuentemente animales marinos confunden los desechos plásticos con alimentos y los ingieren o quedan inmovilizados en los restos de plásticos y mueren (Sosa, 2003)

Otra gran inquietud, se basa en la materia prima con la que éstos son producidos. Virtualmente, todos los plásticos están hechos de petróleo, gas natural y carbón. Estos son recursos naturales que han tardado millones de años en formarse y no son renovables.

Según Stevens (2002), la creciente preocupación ambiental, ha revivido el interés en desarrollar materiales provenientes de fuentes agrícolas y nuevas tecnologías para la producción de bioplásticos.

### **1.1.3 Plásticos verdes.**

Hoy en día es casi imposible imaginar un mundo sin plásticos. Son parte integral del acontecer humano. Los bioplásticos son materiales sofisticados y altamente complejos que pueden ayudar a hacer de los plásticos, productos más sustentables. Esto se debe, según Stevens (2002), a su capacidad para mejorar el crecimiento económico, para reducir las huellas ambientales y promover una industria plástica sostenible.

Cuando se habla de bioplásticos, por norma general se refiere a polímeros con una parte de su contenido extraído de bases biológicas, biodegradables o ambas.

En el estudio realizado por Frost & Sullivan (2009) se afirma que existen tres grupos en la familia de los bioplásticos, cada uno con características propias:

- Polímeros de base biológica como el Polietileno (Bio-PE), el Polietileno Tereftalato (Bio-PET) y próximamente el cloruro de polivinilo (Bio-PVC) y el Polipropileno (Bio-PP).
- Polímeros que son de bases biológicas y biodegradables, incluyen a los ácidos polilácticos. (PLA's), a las celulosas y los Polihidroalkonatos (PHA's).
- Polímeros cuya base depende de recursos fósiles y son biodegradables como el Polibutileno succinato (PBS)

La creciente utilización de biomasa en aplicaciones plásticas tiene dos ventajas decisivas: renovabilidad y disponibilidad. Recientes análisis al ciclo de vida han demostrado que los bioplásticos pueden reducir las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) de 30% a 80%<sup>1</sup> en comparación con los plásticos convencionales (European Bioplásticos, 2011). Asimismo se pueden ahorrar reservas de petróleo y reducir las cantidades de importación de combustibles fósiles.

Los bioplásticos pueden ser procesados en un número vasto de productos utilizando tecnologías de producción de plásticos convencionales. Simplemente los parámetros de los equipos, se ajustan a las especificaciones individuales de cada polímero.

Impulsado por una creciente demanda de soluciones sostenibles, el rango de bioplásticos disponibles (desechables, semi-durables y durables) está creciendo constantemente. Hoy en día los bioplásticos pueden ser encontrados en los segmentos de: embalaje, alimentación, agricultura, horticultura, industria automotriz, electrónica de consumo, textiles, fibras, juguetes y deportes. Cada día, nuevos materiales bioplásticos son creados y su producción constante, mantiene las instalaciones en funcionamiento.

---

<sup>1</sup> Dependiendo de los materiales y las aplicaciones.

<sup>2</sup> Tenga en cuenta que no se está hablando del aumento de la volatilidad, sino de niveles de volatilidad. A lo largo de ésta tesis se argumentará que la volatilidad es relativamente estable y sus estimaciones bastante



En el estudio realizado por Frost & Sullivan (2009) se demuestra que la demanda de los bioplásticos se encuentra en constante crecimiento y el mercado es caracterizado por altas tasas de crecimiento sostenido de un 20% anual, por lo tanto, mientras las facilidades de producción y las capacidades de crecimiento se multipliquen, las opciones de suministro de los bioplásticos, aumentarán considerablemente en los próximos años.

Para alcanzar éstos objetivos, el apoyo gubernamental juega un rol decisivo. Un fuerte marco regulatorio que no contraiga la industria es una condición previa para una bioeconomía próspera y dinámica para el exitoso desarrollo del sector bioplástico.

Europa es un importante centro de distribución para ésta industria; ocupa los primeros puestos en el campo de la investigación y desarrollo; es el mercado más grande para la importación de bioplásticos mundialmente (European Bioplásticos, 2011)

#### **1.1.4 El bioplástico en México.**

México como uno de los principales productores de granos y cultivos a nivel mundial, puede ser un prometedor fabricante de bioplásticos con bajos costos. Ésta ventaja competitiva en materias primas, puede probablemente desarrollar una demanda local importante para los bioplásticos.

Según el estudio de Frost & Sullivan (2009), el mercado convencional del plástico en México, representaba un aproximado de 4.6 millones de toneladas. Por otro lado, el mercado de bioplásticos era igual a 1,200 toneladas en 2009, actualmente se encuentra en su período de crecimiento, el cual se espera supere el 20% anual. La creciente concientización medioambiental en Latinoamérica es un claro factor de crecimiento para este mercado.

El mercado se compone en su totalidad de PLA, con otros productos de diferentes compañías en período de pruebas. Actualmente el PLA se importa de Estados Unidos.

El recurso más conocido en México para producir bioplástico es el maíz. El país es el cuarto productor mundial de maíz, pero aun así necesita importar parte de éste cultivo para cubrir

la demanda alimenticia local, lo cual supone un grave problema para la producción de bioplásticos. Esto significa que los bioplásticos podrían competir directamente con un recurso alimenticio y su imagen podría verse dañada si los precios de la comida suben debido al uso industrial del maíz. Existen varias iniciativas llevadas a cabo por institutos de investigación para encontrar otras fuentes para producir bioplásticos y evitar así el problema.

Sin embargo, Mustieles (2010) asevera que no se puede pensar que con la fabricación de biomateriales a partir del maíz se competirá con los alimentos, esto debido que sólo se pedirá prestado al maíz parte de los almidones y se concentrarían proteínas que podrían ser utilizadas en otro tipo de alimentos para el ser humano.

En México se vive el inicio del fin de la era del petróleo, por ello, producir bioplásticos con maíz es una alternativa y una forma también de dar valor agregado al producto y de dar sostenibilidad a la industria del plástico local.

Éste tipo de industrias “verdes” comprenden el desarrollo de economías rurales y de las regulaciones legislativas; sin embargo debido a que son empresas que van surgiendo y cuentan con un alto grado de innovación, se transforman en compañías más riesgosas e inciertas para el mercado. Aún más, los negocios tradicionales de genéricos (commodities) también se vuelven más inciertos porque los nuevos productos los impactan de diferentes maneras.

Así la forma que conocimos y usamos para hacer análisis económico y valorar proyectos (valor presente neto, tasa interna de retorno, relación beneficio-costos) tiene también que evolucionar para adecuarse a los nuevos escenarios económicos y sociales que conllevan un mayor riesgo e incertidumbre (Brambila, 2011)

En la siguiente investigación se mostrará cómo darle un valor dentro del mercado a este tipo de empresas que van iniciando, en específico a la valuación de una empresa de bioplásticos en México.

## 1.2 Planteamiento del Problema

La valuación correcta de una empresa es imprescindible para tomar decisiones de inversión. La mayoría de las firmas que se evalúan son empresas comerciales con operaciones establecidas, pero ¿Qué hay acerca de las empresas jóvenes e innovadoras que apenas van comenzando operaciones y no cuentan con la información suficiente para ser evaluadas con los métodos tradicionales?

Una Firma Start-Up, es un negocio con una historia de funcionamiento limitada o que incluso, aún no se ha puesto en marcha, pero que cuenta con grandes posibilidades de crecimiento; generalmente son empresas asociadas a los nuevos avances tecnológicos y que provienen del mundo del emprendimiento.

Frecuentemente son confundidas con pymes o mipymes; sin embargo estas compañías tienen un factor diferenciador respecto a las clásicas empresas del mercado y por ende caen en una categorización distinta asociada a la nueva economía. Las Start-Up por lo general comienzan como una idea de negocio creativa, paso inmediato es agregar diferenciación a dicha idea a través de innovación, para finalmente emprender el negocio.

Las Start-Up se distinguen por su riesgo y grandes recompensas gracias a la escalabilidad exponencial de su negocio. Es decir, tienen un bajo costo de implementación, un riesgo más alto y una retroalimentación de la inversión potencial más atractiva.

Muchos analistas argumentan que estas empresas no pueden ser valuadas debido a que no tienen historia y en la mayoría de los casos no cuentan aún con productos o servicios para vender.

Tradicionalmente, el valor de una empresa establecida es el valor presente de los flujos de efectivo esperados de sus operaciones. En una Start-Up, éste valor es negativo ya que al encontrarse al inicio en su ciclo de vida, a menudo tiene que ser valuada antes de contar con un mercado establecido para su producto, de hecho, en muchos casos, las empresas que están siendo valuadas cuentan con una idea interesante que puede ser comercial pero

aún no ha sido probada. Tales fueron los casos a los que se enfrentaron empresas como Amazon, Ebay, Google etc.

Valuar una Start-Up requiere ir más allá de las fuentes normales de información, éstas incluyen la historia financiera y la evaluación de empresas comparables.

Damoradan (2009) explica que cuando se valúa una empresa se obtiene información de tres fuentes:

La primera es acerca de los actuales estados financieros; estos se usan para determinar qué tan rentable para los inversionistas de la firma es o ha sido, que tanto ésta inversión regresa para generar crecimiento futuro y en general proporciona los datos que son requeridos en cualquier evaluación.

La segunda es la historia pasada de la empresa en términos de ingresos y precios del mercado; Los ingresos y las ganancias de la empresa, a través del tiempo, nos permite hacer un juicio de qué tan cíclica es la firma y cuanto crecimiento ha mostrado, mientras que el historial de los precios ayuda a medir el riesgo.

Finalmente se puede observar a la competencia para tener una medida de qué tan buena o mala es una firma con respecto a otras, además de que permite también estimar riesgo, crecimiento y flujos de efectivo.

En el caso de una empresa Start-up, podemos caer en problemas de información. Primero, este tipo de empresas no tienen más de uno o dos años de existencia, o inclusive aún no han sido establecidas (como es el caso de la planta de bioplásticos en México), lo que nos brinda una historia demasiado limitada o nula. Segundo, sus estados financieros actuales, revelan muy poco acerca de los componentes de los activos que contribuyen mayoritariamente a la valuación. Tercero, éste tipo de firmas a menudo son “la primera en su tipo” es por eso que no cuentan con competidores contra los cuales puedan medirse; por lo tanto, existe una gran carencia de información para poder realizar una evaluación tradicional.

El valor de una Empresa en el mercado se basa más allá de su capacidad para generar flujos de efectivo. Tradicionalmente hablando, las empresas más rentables tienen un valor más alto que aquellas menos rentables. Sin embargo, empresas Start Up (Braskem, NatureWorks, Facebook) han demostrado que aun siendo evaluadas por los métodos tradicionales de forma negativa, pueden generar grandes ganancias. Esto parece contradecir la proposición de que el valor y la rentabilidad van mano a mano.

Es una realidad que la actividad económica en general se ha vuelto más incierta y riesgosa, por ello, han surgido instrumentos y metodologías que permiten administrar el riesgo. Las prácticas actuales de evaluación funcionan para algunos proyectos pero no para aquellos que cuentan con un grado mayor de incertidumbre.

Muchas oportunidades de inversión se rechazan por que los instrumentos tradicionales de valoración –los directivos buscan la certidumbre- ignoran que cuentan con opciones. Las opciones reales, también llamada “Teoría de la inversión bajo riesgo”, se basa en reconocer que todo proyecto tiene un conjunto de opciones que agregan valor.

El método de las opciones reales ayuda a los directivos a identificar oportunidades de inversión y sus efectos para la empresa en su conjunto. Opciones de aplazar, de cerrar la empresa temporalmente, de abandonar y de volver a redactar planes de inversión en medio del proceso pueden incrementar significativamente el valor de la inversión.

Por lo tanto, se utilizarán los ingresos negativos y la presencia de activos intangibles como una justificación razonada para evolucionar modelos de valuación tradicional y utilizar nuevos caminos, como lo son las opciones reales, que puedan ser utilizados para decidir si conviene o no invertir actualmente en una planta para la producción de Bioplásticos en México.

### **1.3 Objetivos.**

#### **1.3.1 Objetivo General**

Determinar si la integración de las metodologías Opciones Reales y Valores Críticos a los métodos de valoración tradicionales, agregan valor a las empresas que van iniciando en el mercado y se enfrentan a escenarios de riesgo e incertidumbre, pero que cuentan con opciones de crecimiento, como es el caso de la Biorefinería Integral Sinaloa.

Objetivos específicos.

Evaluar la factibilidad de la puesta en marcha de una Biorefinería Integral en México al día de hoy.

Demostrar que se pueden aceptar proyectos con valor actual negativo si el valor de la opción asociada a la flexibilidad futura supera el valor actual de los flujos esperados del proyecto.

### **1.4 Hipótesis.**

Evaluar las empresas Start-up con las metodologías de opciones reales y valores críticos, nos permite aceptar proyectos que evaluados de manera tradicional, se rechazarían.

La valoración de la empresa de bioplásticos o de un proyecto que proporcione algún tipo de flexibilidad futura no puede realizarse correctamente con las técnicas tradicionales de actualización de flujos de efectivo; no obstante, con la integración de opciones reales a dicha técnica permite tomar decisiones más correctas y racionales con respecto a las inversiones.

La no consideración de las opciones que contiene un proyecto puede llevarnos a subvalorarlo y, en general, a desechar proyectos que podrían ser aceptados.

## 1.5 Metodología.

Se utilizarán las metodologías de opciones reales y valores críticos para demostrar la hipótesis y los objetivos planteados con respecto a la evaluación de una planta de producción de bioplásticos.

Brambila (2010) plantea que los métodos tradicionales funcionaron bien durante la segunda mitad del siglo XX, pero el mundo cambió y ahora es necesario adecuarlos. Actualmente se reconoce que no toman en cuenta que a lo largo de la vida del proyecto, el gerente del mismo tiene la posibilidad de tomar decisiones según se le presenten las circunstancias.

Por lo tanto, se expondrán primero los indicadores más importantes del método tradicional (TIR, VAN, relación B/C) y sus principales limitaciones para evaluar proyectos con riesgo e incertidumbre. Después se hablará de las opciones reales y sus métodos de solución, (ecuaciones diferenciales parciales (PDE), programación dinámica, simulación de opciones y valores críticos). Estas metodologías agregan valor al proyecto ya que utilizan la flexibilidad operativa que los indicadores tradicionales no toman en cuenta.

Las nuevas técnicas de evaluación (opciones reales y valores críticos) son importantes debido a que:

- Consideran la incertidumbre, la cual revela por sí misma algún tipo de oportunidad de crecimiento, diversificación o riesgo para la empresa. Entonces un valor importante de la metodología está dado por la posibilidad de adecuar capacidades administrativas que desde la perspectiva tradicional del método de valuación de VPN es imposible de evaluar (Smith y Triantis, 1998)
- Las opciones reales integran consideraciones tecnológicas y estratégicas dentro de un modelo de valuación más general (McGrath y MacMillan, 2000)
- Desde el punto de vista metodológico, un proceso de decisión basado en opciones reales y/o valores críticos, ofrecen una aproximación sistemática para invertir y

evaluar en un ambiente de alta incertidumbre y competencia, creando subsecuentes oportunidades de inversión, evaluadas como flujos de efectivo más un conjunto de opciones (Amram y Kulatilaka 1999)

Finalmente, ambos métodos (tradicionales y nuevos) se utilizarán en forma de modelo matemático (VAN, PDE y Valores críticos) para evaluar el establecimiento de una empresa de bioplásticos en México, dicho comparativo servirá para determinar si la hipótesis se acepta o se rechaza.



# CAPÍTULO 2

## LOS BIOPLÁSTICOS

### **2.1. Polímeros naturales, el inicio de los bioplásticos.**

Los plásticos que se producen hoy en día, salvo algunas pocas excepciones, son creados a partir de polímeros sintéticos, pero los polímeros también existen en la naturaleza. Éstos son producidos por plantas, animales y microorganismos a través de reacciones bioquímicas. Éstos son los biopolímeros.

Proteínas y carbohidratos son biopolímeros que se encuentran presentes abundantemente en la biomasa. Los poliésteres hechos a partir de microorganismos, son otro tipo de biopolímeros. Los ácidos nucleicos se encuentran también dentro de ésta clasificación, sin embargo se encuentran de manera menos abundante que los anteriores (Stevens, 2002)

Los polímeros biológicos son inherentemente biodegradables, ya que son parte de la naturaleza y de su ciclo de renovación.

La biodegradabilidad se refiere al material que se degrada o rompe totalmente bajo la acción de microorganismos para convertirse en dióxido de carbono, agua y biomasa.

## 2.2 Los bioplásticos y su fuente de obtención.

La abundancia de los biopolímeros, la variedad de sus estructuras químicas, su no toxicidad y su biodegradabilidad son la combinación perfecta para convertirlos en una gran fuente potencial de materias primas para los plásticos biodegradables.

Bioplástico es el nombre conciso –y adecuado- para los plásticos biodegradables, cuyos componentes se derivan entera o casi enteramente de materia renovable.

Los 2 grupos en la familia de los bioplásticos son los siguientes:

### 2.2.1 Polímeros de base biológica.

El principal producto de base biológica actualmente es el bio-polietileno (bio-PE). Se obtiene a partir del etanol. Éste tipo de plásticos son probablemente la competencia directa con los petro-plásticos correspondientes.

Su proceso de producción es el siguiente:



Figura 1. Proceso de producción del biopolietileno

Fuente: Braskem (2011)

### **2.2.2 Polímeros que son de bases biológicas y biodegradables.**

i. Ácidos polilácticos. (PLA's): El PLA es un plástico transparente hecho de fuentes naturales que se deriva de la glucosa, por lo tanto la materia prima por excelencia a nivel mundiales es el maíz, no obstante, otras fuentes, como la caña de azúcar, también pueden ser utilizadas.

Es utilizado en la producción de películas, botellas, bandejas y fibras. Sin embargo, el PLA sólo puede resistir temperaturas de hasta 60°C. Por lo que es inapropiado para la producción de productos resistentes al calor (Frost & Sullivan 2009)

ii. Bioplásticos basados en almidón: El almidón es el principal carbohidrato almacenado en las plantas. Está disponible en abundancia en la naturaleza. El almidón es único entre los carbohidratos ya que se produce naturalmente en forma de gránulos. Generalmente hablando, los plásticos basados en almidón son los materiales más importantes dentro de los bioplásticos provienen de diversas fuentes (el maíz, las papas, el arroz, el camote, entre otros) y constituyen aproximadamente un 80% del mercado global de los bioplásticos.

Actualmente, sus aplicaciones se encuentran mayoritariamente en empaquetados y en plásticos para sectores agrícolas. Son utilizados para bolsas, botes de yogurt, macetas, vasos para agua, cubiertos, pañales, papel recubierto y cartón (Frost & Sullivan 2009)

iii. Polihidroxi-alcanoatos. (PHA's): los PHA's son derivados de la fermentación del azúcar. Mediante condiciones controladas durante la fermentación, se pueden obtener diferentes copolímeros. Se han encontrado bacterias, como la *Ralstonia eutropha*, que convierten directamente azúcares en un tipo de biopolímeros llamados PHA (polihidroxi-alcanoatos). El PHA se acumula en la bacteria y llega a constituir hasta el 90% del peso de ésta.

Una vez que la bacteria se llena de gránulos de plástico, éstos se extraen para obtener el material. La principal ventaja de estos biopolímeros es que se biodegradan muy rápido, ¡hasta un 80% en sólo siete semanas! La desventaja es que el proceso de elaboración es muy costoso: se calcula que producir por fermentación bacteriana un kilogramo de PHA

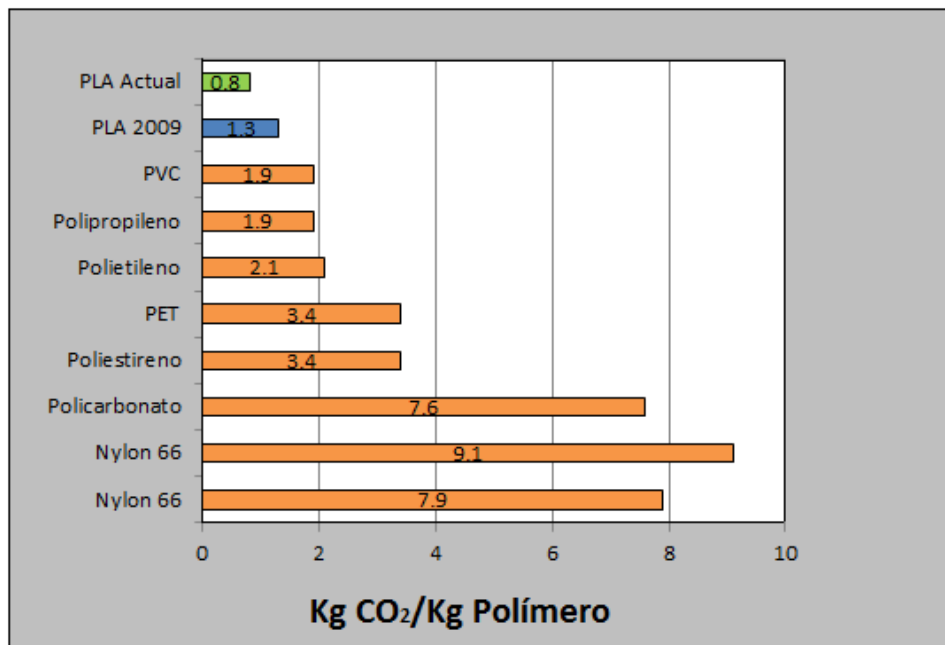
cuesta 15 dólares, mientras que hacer un kilogramo de plástico convencional cuesta sólo un dólar. Esto se debe a que las bacterias requieren fuentes externas de alimento, como la celulosa (Medina 2005)

### **2.3 Bioplásticos y desarrollo sostenible.**

La sostenibilidad se refiere a aquellas acciones o productos que cubren nuestras necesidades actuales sin poner en peligro las de generaciones futuras. Sostenible es, al igual que bioplástico, un concepto poco definido en la industria y puede aplicarse a casi cualquier producto que mejore lo existente. Puede ser sostenible porque reduce emisiones de dióxido de carbono, porque es de fuentes renovables o porque se generan pocos residuos en su producción.

Cuando se usa para fabricar plástico, la biomasa sustituye a los derivados del petróleo como componente principal, por lo que se reduce la demanda de combustibles fósiles que emiten dióxido de carbono. Además, debido a que muchos bioplásticos son biodegradables, su uso pretende reducir la cantidad de desechos que acaban en los vertederos y océanos.

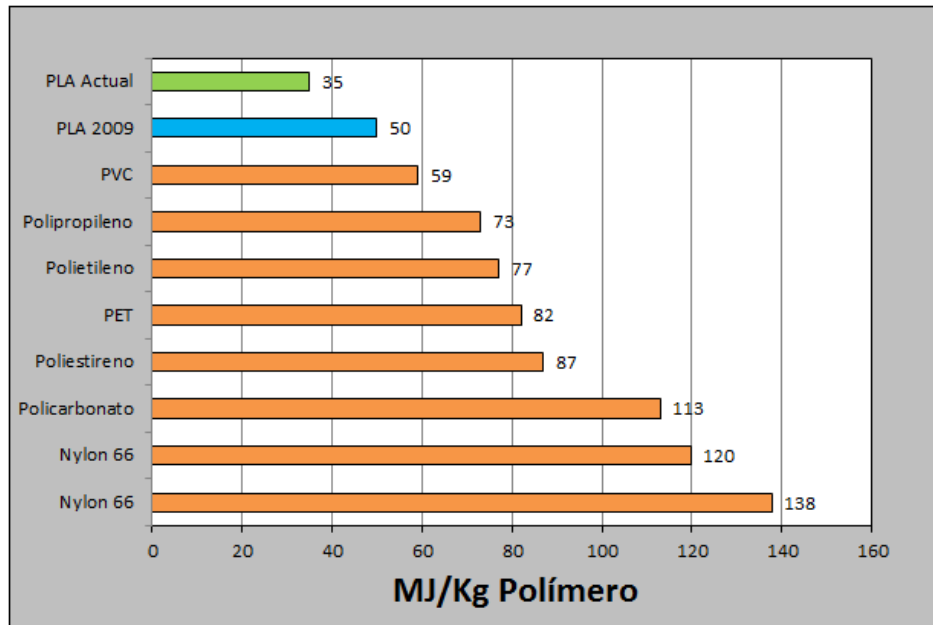
Según NatureWorks (2011), los plásticos de base biológica, como el PLA, son sostenibles debido a que la huella ambiental que dejan es mucho menor en comparación a la de plásticos comunes.



Gráfica 2: Comparativo de huellas ambientales “Emisiones de CO<sub>2</sub>”

Fuente: NatureWorks 2011.

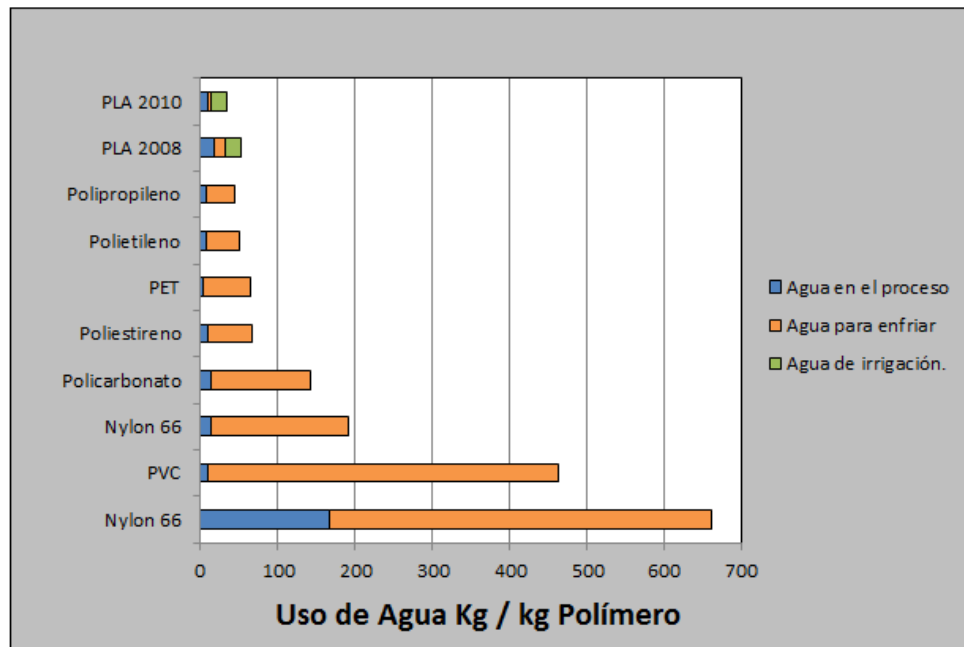
En la gráfica 2, se puede observar la cantidad de CO<sub>2</sub> por kilogramo emitido para la elaboración de los petro-plásticos más comunes (en naranja) y su comparación con las emisiones para producir el bioplástico PLA. En el 2009 se generaban 1.3 kg de CO<sub>2</sub> por kilogramo de PLA, (en azul), cifra que disminuyó a .8 kg (en naranja) en 2 años.



Gráfica 3: Comparativo de huellas ambientales “Uso de energía no renovable”

Fuente: NatureWorks 2011

La gráfica 3 es un comparativo de la cantidad de energía -expresada en mega joules, (MJ)- utilizada para generar un kilogramo de polímero. Para la elaboración de plásticos comunes (naranja), se necesita más energía que para la elaboración de bioplásticos. Se puede apreciar como el PLA ha ido mejorando desde el año 2009 (azul) a la fecha (verde) para reducir la cantidad de MJ necesarios para la producción. Empresas como NatureWorks (2011), tienen como meta a mediano plazo utilizar fuentes de energía renovables para continuar reduciendo el impacto ambiental.



Gráfica 4: Comparativo de huellas ambientales “Uso de agua total”

Fuente: NatureWorks 2011

La gráfica 4 es un comparativo del uso total de agua necesaria por kilo de plástico. Incluye las variables de agua en el proceso (azul), agua para enfriar, (naranja) y agua de irrigación, (verde). Esta última es exclusiva para el caso de bioplásticos. En el 2008, polipropileno y polietileno eran los polímeros que menos cantidad de agua necesitaban para su elaboración. Sin embargo debido a los avances tecnológicos, en el 2010, el PLA se convirtió en el plástico más sostenible.

#### 2.4 El mercado de los bioplásticos.

Competir con los combustibles fósiles baratos es uno de los desafíos principales para los bioplásticos, que pueden costar entre 30% y 50% más que los plásticos tradicionales, dependiendo del grado y tipo del componente químico que se esté produciendo, según ejecutivos de la industria.

Los diversos factores que impulsan el mercado de los bioplásticos, son los siguientes:

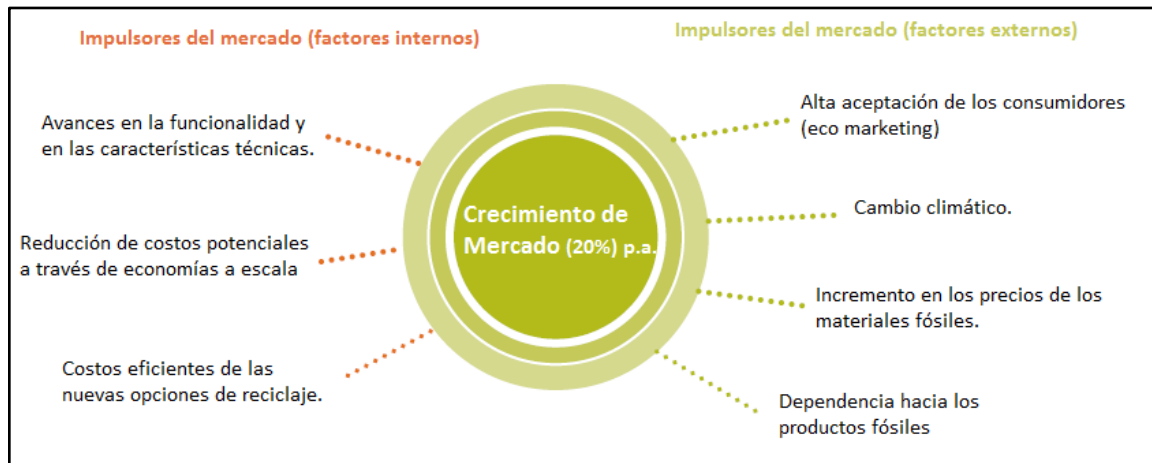


Figura 2: Factores que impulsan el mercado de los bioplásticos.

Fuente: European Bioplásticos (2011).

La promotora empresarial Frost & Sullivan anticipa que los plásticos de origen biológico y petroquímico coexistirán por unos años en el mercado. En el corto y mediano plazos los bioplásticos no serán una amenaza comercial para los petroquímicos, ya que sus volúmenes corresponderán a menos de 5% de la demanda total de plásticos.

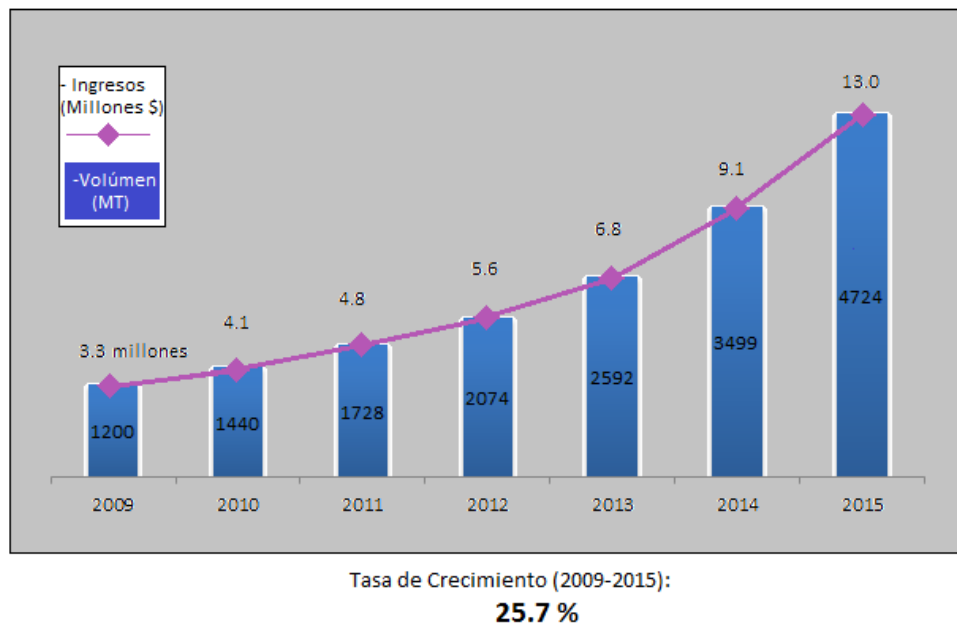
## 2.5 Bioplástico mercado emergente en México.

México, como importante productor mundial agropecuario, es un promisorio fabricante de plásticos elaborados a partir de una base biológica y con costos competitivos.

Actualmente, el mercado mexicano se compone en un 100% por PLA. Éste material actualmente es importado de los E.U. de América, pero se espera que las futuras investigaciones encuentren nuevos recursos localmente producidos en exceso.



Éste mercado está en la etapa de crecimiento, con una tasa de expansión anual promedio mayor a 20%. La creciente preocupación por el medio ambiente en Latinoamérica es un fuerte motor para su continuo desarrollo.



Gráfica 5: Ingresos contra Volumen proyección México 2009 a 2015.

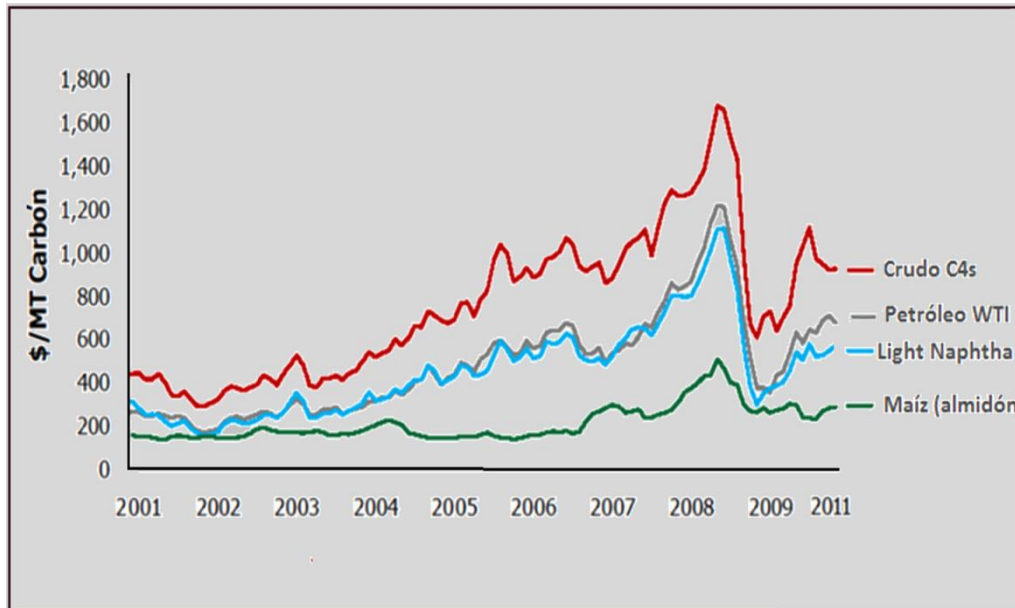
Fuente: Frost & Sullivan 2009.

El plástico fabricado a partir del maíz es el recurso más conocido en México, pero existen problemas importantes porque aún necesita importar de 5% a 10% de éste cultivo para satisfacer la demanda local de alimentos. El consumo total de maíz en México es de aproximadamente 30 millones de toneladas. Sin embargo, la Secretaría de Agricultura se encuentra trabajando para mejorar los rendimientos en los cultivos para reducir la dependencia de las importaciones.

Los bioplásticos en México, son importados, sin embargo el volumen de importación continúa siendo bajo y los costos de logística considerablemente altos. Los precios

actuales de bioplásticos en México van de los 20 a los 50 pesos por kilo. (Frost & Sullivan, 2009)

Debido a que se espera que el mercado de biopolímeros alcance tasas de más de 20%, los precios irán eventualmente a la baja, alentados también por las nuevas tecnologías y nuevas fuentes de producción que se espera sean encontradas pronto.

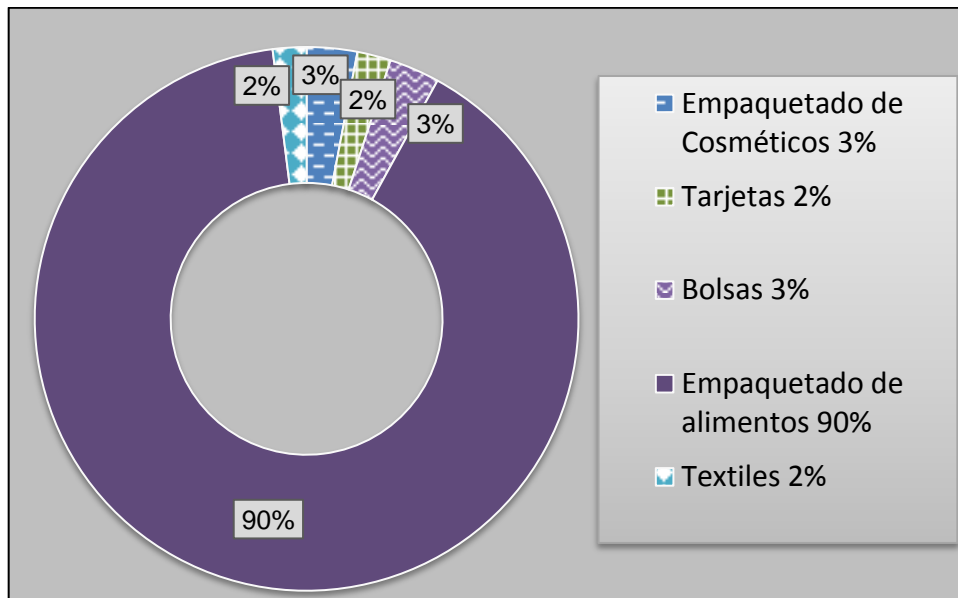


Gráfica 6: Precio del petróleo contra precios del maíz

Fuente: Jim Lunt & Associates (2010).

Como consecuencia, se espera que en el largo plazo, los bioplásticos compitan en precio con los polímeros tradicionales, debido a que, tal como se muestra en la gráfica 5, la materia prima de base biológica ha tenido comúnmente un costo y una volatilidad más bajos que las materias primas procedentes del petróleo,.

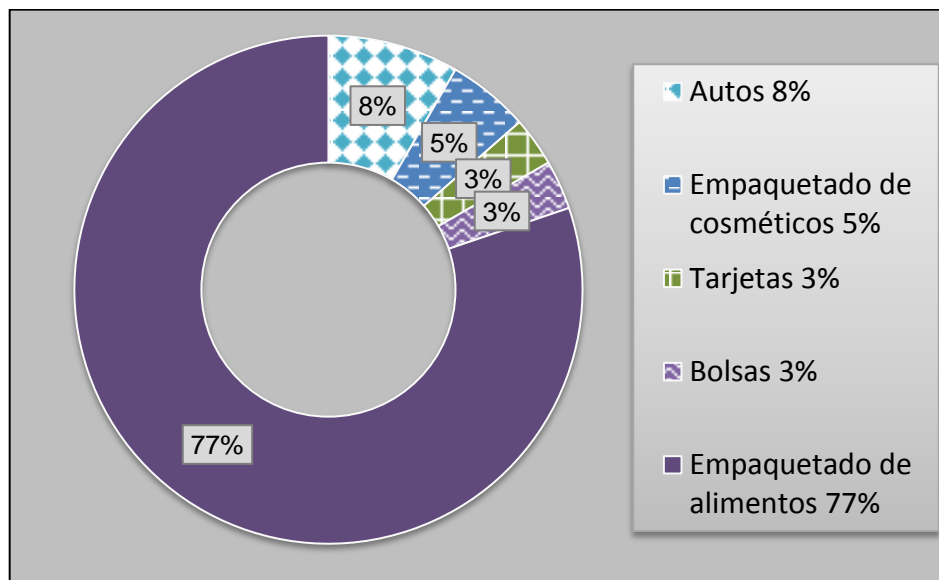
Los principales productos que actualmente se producen en México hechos con bioplástico según Frost & Sullivan (2009) son:



Gráfica 7: Principales usos del bioplástico en México

Fuente: Frost & Sullivan (2009)

Sin embargo, se espera que el mercado continúe creciendo y que para el 2015, los destinos principales del bioplástico, sean los siguientes:



Gráfica 8: Principales usos del bioplástico en México

Fuente: Frost & Sullivan (2009)

Especialmente en los siguientes 5 -10 años, las exportaciones jugarán un rol importante para los bioplásticos mexicanos, debido a que la demanda local no es muy alta. Europa es actualmente un mercado importante. En éstos momentos, la demanda global de bioplásticos es de aproximadamente 400,000 toneladas. Contra 260 millones de plásticos convencionales, así que una vez que las compañías encuentren la forma de producir a mayor escala sin interferir con la seguridad alimentaria, los productores de petro-plásticos, invertirán en éste mercado.

### **2.6 El futuro de los bioplásticos y la seguridad alimentaria.**

Los bioplásticos ya han entrado en el mercado, han sido probados en numerosas aplicaciones y se producen a nivel industrial. A pesar de ello su penetración en las aplicaciones durables sigue siendo una asignatura pendiente. En los próximos años los productores de bioplásticos ya establecidos deberán centrarse en mejorar el rendimiento de sus productos. Para ello pueden centrarse en algunos de los siguientes factores:

- Aumento del contenido renovable en el producto final, mediante el uso de aditivos, pinturas y adhesivos también renovables.
- Obtención de certificaciones relacionadas con el contenido renovable o compostabilidad del material.
- Mejora de las propiedades empleando mezclas con plásticos provenientes del petróleo.
- Penetración de mercados de bienes durables, como el de productos electrónicos o automoción (Castro, 2011)

Una de las tendencias claras dentro del mercado de los biocombustibles es la búsqueda de nuevas materias primas que sustituyan o complementen las ya existentes. Algunos de los motivos son:

- La percepción de que los biocombustibles, u otros productos químicos, derivados de las mismas fuentes que los alimentos hace que los precios de éstos suban y por

lo tanto suponen un peligro para el consumidor final. Esta es una cuestión de difícil debate. Sin embargo, lo que está claro es que puede hacer daño a la imagen de estos productos.

- Abaratar costos: Aunque la producción de bioplásticos se haya abaratado en los últimos años, esto es principalmente debido al paso a producción industrial. El uso de materias primas más baratas será una forma estable de reducir el coste final de los productos.
- El problema de la escala: Si realmente se quiere substituir una parte importante de consumo de productos derivados del petróleo, se necesitará mucha materia prima. Esto puede llevar a una agricultura intensiva que puede ser dañina.

Sin embargo hay quienes afirman que el riesgo alimentario no existe, tal es el caso a nivel mundial de NatureWorks (2011), “Se utiliza menos de 1/20 del 1% de la producción global actual de maíz para satisfacer la demanda actual de bioplásticos, por lo tanto se puede decir que no hay impacto en el precio de los alimentos o de su suministro”.

En el caso de México, Mustieles (2010), asegura que no se puede pensar que con la fabricación de biomateriales a partir del maíz se competirá con los alimentos. La propuesta es tecnificar al maíz para que algunos excedentes de esa producción se utilicen para generar valor agregado.

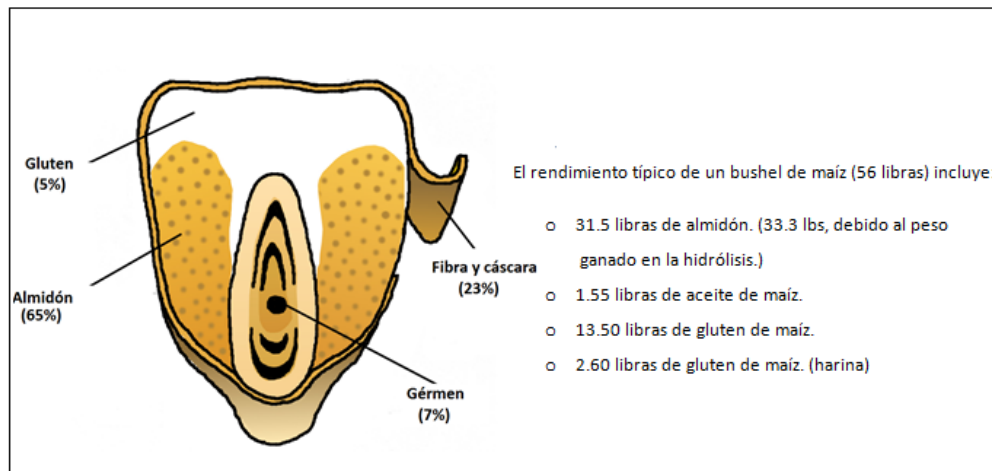


Figura 3: Rendimiento del maíz para bioplástico y subproductos.

Fuente: Jim Lunt & Associates (2010).

Detalló que una planta para producir 50 mil toneladas de bioplásticos en un mercado que demanda 2 millones de toneladas y se producen sólo 200 mil en el planeta, sólo se requieren 120 mil toneladas de maíz. De esas 120 mil toneladas se generan también 70 mil de subproductos que pueden ir a la alimentación humana.

El debate de la seguridad alimentaria, para la producción de bioplásticos, es una cuestión delicada y difícil de tratar, sin embargo, recordando que el proceso de producción de bioplástico no requiere maíz, sino únicamente el azúcar, se pretende que en el futuro, estos polímeros sean obtenidos de fuentes celulósicas, desperdicios de la agricultura y plantas no comestibles. Además permitiría la producción de etanol, y sus derivados químicos, a partir de nuevos cultivos no relacionados con la comida, como la hierba o incluso la basura, esto sería realmente el “desarrollo sostenible”.

Por tanto, se puede concluir que los bioplásticos son una importante opción de inversión, sin embargo, al encontrarse dentro de la clasificación “empresa Start-Up” para poder realizar una correcta valuación, es necesario revisar la teoría de evaluación de proyectos.

# CAPÍTULO 3

## TEORÍA DE LOS PROYECTOS DE INVERSIÓN Y LA EVALUACIÓN TRADICIONAL.

### 3.1. Proyectos de inversión.

Cuando una persona, o una empresa, tiene en su poder dinero líquido puede dedicarlo a consumir con lo que obtendrá una satisfacción inmediata y cierta, o bien, puede renunciar a ella invirtiendo dicho dinero a la espera de que, en el futuro, pueda recoger los frutos de una ganancia que, en todo caso, es incierta.

Por tanto, una *inversión* consiste en la renuncia a una satisfacción inmediata y cierta a cambio de la esperanza de una ganancia futura, de la que el bien o el derecho adquirido es el soporte de dicha esperanza.

Según Suarez (2006), la inversión, básicamente, es un proceso de acumulación de capital con la esperanza de obtener unos beneficios futuros. La condición necesaria para realizar una inversión es la existencia de una demanda insatisfecha, mientras que la condición suficiente es que su rendimiento supere al costo de acometerla.

En virtud de la naturaleza del capital adquirido es posible diferenciar entre inversiones *productivas* e inversiones *financieras*.

Así una *inversión productiva* consistirá en la adquisición de bienes con vocación productiva -activos productivos-, esto es, bienes cuya utilidad es la producción de otros bienes. Por su parte, una *inversión financiera* supone la adquisición de activos financieros, o dicho de otro modo, la colocación de recursos en el mercado financiero en forma de acciones, obligaciones, cuentas financieras, etcétera.

El objeto del presupuesto de capital es encontrar proyectos de inversión cuya rentabilidad supere el costo de llevarlos a cabo, es decir, proyectos que aporten valor a la empresa. El principal problema, dejando a un lado el de la determinación del costo de oportunidad del capital del proyecto, es el de la valoración del activo que se creará al realizar la inversión (una fábrica, un barco, una refinería, etcétera). Así, cuando se valora un proyecto de inversión es necesario realizar una previsión de los flujos de caja que promete generar en el futuro y se procede a calcular su valor actual con objeto de poder comparar, en un momento determinado de tiempo (el actual), el valor global de dichos flujos de caja con respecto al desembolso inicial que implica la realización de dicho proyecto.

Los diferentes criterios de valoración de proyectos de inversión se basan en la corriente de flujos, su número y tamaño, por ello el proyecto pasa a ser interesante cuando el valor actual de la suma de dichos flujos de caja es superior al desembolso necesario -la inversión- para poder obtenerlos.

La mayoría de los proyectos de inversión implican un gran pago inicial, que puede estar repartido en un par de años, y una generación de flujos de caja positivos que suelen comenzar a recibirse entre uno y tres años después del momento en el que se acomete la



inversión. De un modo u otro, el factor discriminante a la hora de decidir si un proyecto de inversión se lleva a cabo o no, es en qué medida se espera recuperar la inversión inicial necesaria.

Graham y Harvey (2001) realizaron un estudio del uso de las diferentes técnicas y modelos enunciados en la “teoría financiera de la empresa” por parte de 392 directivos de un amplio espectro de empresas norteamericanas. En el cuadro 1 se muestran los resultados de la parte de dicho estudio que atañe al uso de los modelos de valoración de proyectos de inversión.

Cuadro 1: Porcentaje de utilización de los principales métodos de evaluación actualmente.

MÉTODOS	UTILIZACIÓN.
Tasa interna de rendimiento (TIR)	75.61%
Valor actual neto (VAN)	74.93%
Tasa de rendimiento requerida	56.94%
Plazo de recuperación	56.74%
Análisis de sensibilidad	51.54%
Múltiplo de beneficios	38.92%
Plazo de recuperación descontado	29.45%
Opciones reales	26.59%
Tasa de rendimiento contable	20.29%
Simulación/Valor en riesgo (VAR)	13.66%
Índice de rentabilidad	11.87%
Valor actual ajustado	10.78%

Fuente: Graham y Harvey (2001) p. 198-9.

Como se aprecia el criterio de la *tasa interna de rendimiento* y el del *valor actual neto* son los más utilizados (si las empresas son grandes ambos son utilizados un 85%, si son pequeñas un 71%); el *plazo de recuperación* es prácticamente el siguiente de los métodos más utilizados en especial en las pequeñas empresas donde se utiliza un 68%, sin embargo el *plazo de recuperación descontado* se utiliza casi la mitad de las veces que el anterior.

Por otro lado, es interesante destacar el cada vez mayor uso que se hace de la metodología de las *opciones reales* por parte de los directivos.

En todo caso, los métodos clásicos de valoración de proyectos, que son idóneos cuando se trata de evaluar decisiones de inversión que no admiten demora (realizar el proyecto ahora o nunca), subvaloran el proyecto si éste posee una flexibilidad operativa (se puede hacer ahora, o más adelante, o no hacerlo) u oportunidades de crecimiento contingentes. Lo que sucede cuando la directiva puede sacar el máximo partido del riesgo de los flujos de caja. Por tanto, “la posibilidad de retrasar un desembolso inicial irreversible puede afectar profundamente la decisión de invertir” (Dixit y Pindyck 1994)

### **3.2 Métodos de valoración tradicionales.**

Los métodos tradicionales de valoración se encuentran actualmente en crisis debido a que no han evolucionado al ritmo que lo ha hecho el mercado. Las empresas se encuentran en un mundo incierto y cambiante, donde la mayoría de los instrumentos con que se dispone, a la hora de evaluar decisiones, no recogen totalmente esa incertidumbre, es decir, el análisis tradicional tiene un grado de certidumbre irreal.

Dentro de la práctica actual hay dos rasgos que destacan como dificultades significativas. El primer problema es que algunos instrumentos requieren una previsión de flujos de caja futuros. Como en el análisis solo se utiliza un pronóstico, éste es muy aleatorio. ¿Se tratará de una proyección excesivamente optimista del defensor de un proyecto?

Frecuentemente, los directivos consideran los pronósticos como una realidad, creando la ilusión de certeza en relación a los números. Para compensarlo, algunas compañías tratan de ampliar el análisis a una serie de escenarios. Estos esfuerzos parecen rigurosos para sus autores pero arbitrarios para otros. Tanto en el caso de un solo escenario como en el de varios, la elaboración de flujos de caja se convierte en un aporte subjetivo.

El segundo problema de los instrumentos más utilizados es que las decisiones futuras de inversión están determinadas desde un principio. Los directivos actualizan y revisan los

planes de inversión, pero el análisis, tal como está estructurado por la mayoría de los instrumentos sólo incluye el plan inicial. El mundo cambia, pero sus modelos no. A medida que la brecha entre los instrumentos y la realidad se van haciendo más grande, los instrumentos se van descartando y las decisiones más importantes se toman en función de “consideraciones estratégicas y carisma directivo” (Amram y Kulatilaka 1999)

Otra consideración importante es que no existe ningún tipo de descuento capaz de actualizar todos estos arriesgados flujos de caja hasta el presente, y el problema no tiene solución dentro del marco del análisis tradicional del flujo de caja descontado.

Aunque los directivos se puedan sentir tentados a ignorar el problema del tipo de descuento, esto no serviría de nada porque en realidad el problema es aún mayor. Los instrumentos de valoración tradicional han perdido funcionalidad debido a que no tienen en cuenta que el proceso de toma de decisiones de los directivos puede modificar los resultados.

Sin embargo, la propuesta no es la de descartar los métodos de valoración clásicos, sino la de integrarlos con nuevas técnicas para obtener resultados más certeros sin dejar de utilizarlos.

El valor actual neto (VAN), la tasa interna de rendimiento (TIR), la tasa de rendimiento contable sobre la inversión y el análisis costo/beneficio son los indicadores clásicos de valoración de proyectos idóneos cuando se trata de evaluar decisiones de inversión que no admiten demora (o se realiza ahora o nunca)

### **3.2.1 Valor actual neto.**

El método de valor presente es uno de los criterios económicos más ampliamente utilizados en la evaluación de proyectos de inversión. Es un procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión. La metodología consiste en descontar al momento actual (es decir, actualizar mediante una tasa) todos los flujos de caja futuros del proyecto. A este valor se

le resta la inversión inicial, de tal modo que el valor obtenido es el valor actual neto del proyecto.

Su ecuación general es la siguiente:

$$VAN = -A + \sum_{j=1}^{j=n} \frac{FC_j}{(1+k)^j}$$

Donde:

A: es el desembolso inicial del proyecto

FC<sub>j</sub>: son los diversos flujos netos de caja esperados

n: es el horizonte temporal del proyecto por n

k: es la tasa de descuento (el costo de oportunidad del capital) adecuado al riesgo del proyecto.

El Valor Actual (VA) consiste en actualizar todos los flujos de caja esperados (FC<sub>i</sub>) para lo que se utiliza un tipo de descuento de  $(k+1)$ , que es el costo de oportunidad del capital empleado en el proyecto de inversión. Una vez actualizados todos los flujos de caja (es decir, calculado el Valor Actual) se le resta el valor del desembolso inicial (A) de ahí el nombre de Valor Actual Neto.

El VAN indica cuánto valor se creará o destruirá al utilizar la empresa los recursos financieros de los inversores. Proporciona al directivo un elemento de comparación entre las oportunidades de inversión de la compañía y las oportunidades de riesgo similar de que dispone el inversor en el mercado financiero.

Por tanto, el VAN lo que realmente mide es si el proyecto crea o destruye valor. Al referirse al valor actual del proyecto se habla de lo que vale en el mercado financiero dicho proyecto (es decir, los flujos de caja que promete generar); es, pues, lo que pagaría un

inversor en el mercado financiero por conseguir una corriente de flujos de caja del mismo tamaño, vencimiento y riesgo que los prometidos por el proyecto.

Este criterio considera viable un proyecto de inversión cuando el VAN es positivo, es decir, cuando la totalidad de los flujos netos de caja esperados descontados a una tasa apropiada al riesgo del proyecto supera al coste de realizarlo. Por el contrario, si el VAN fuese negativo, sería aconsejable rechazar el proyecto (Véase tabla 2)

Cuadro 2: VAN y la toma de decisiones.

Valor	Significado	Decisión a tomar
$VAN > 0$	La inversión produciría ganancias por encima de la rentabilidad exigida ( $r$ )	El proyecto puede aceptarse
$VAN < 0$	La inversión producirá ganancias por debajo de la rentabilidad exigida ( $r$ )	El proyecto debería rechazarse
$VAN = 0$	La inversión no producirá ni ganancias ni pérdidas	Dado que el proyecto no agrega valor monetario por encima de la rentabilidad exigida ( $r$ ), la decisión debería basarse en otros criterios, como la obtención de un mejor posicionamiento en el mercado u otros factores.

Fuente: Mascareñas (2007)

Sin embargo, es necesario tener en cuenta que cuando se analiza un proyecto de inversión bajo la óptica del criterio de valoración VAN por lo general el analista realiza una serie de supuestos que afectan al resultado obtenido. Mascareñas (2007) explica que éstos son:

1. 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 método VAN, por ejemplo, es incapaz de reflejar.

2. La tasa de descuento es conocida y constante, dependiendo únicamente del riesgo del proyecto. 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 tanto, la tasa de descuento varía con el tiempo y, por tanto, es incierta.
3. La necesidad de proyectar los precios esperados a lo largo de todo el horizonte temporal del proyecto es algo imposible o temerario en algunos sectores, porque la gran variabilidad de aquéllos 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.
4. Se supone que los VAN de los proyectos son aditivos, lo que no es del todo cierto porque no pueden valorar la serie de activos intangibles (la flexibilidad operativa y las interacciones entre proyectos, por ejemplo) que llevan incorporados aquéllos.

Es importante señalar que las carencias anteriormente señaladas no lo son del método, que adecuadamente empleado, puede perfectamente soslayarlas, sino del uso que habitualmente se hace de dicho método en el día a día.

Limitaciones del criterio.

El VAN es un método desarrollado inicialmente para la valoración de bonos sin riesgo, y cuya utilización se extendió también a la valoración de proyectos de inversión reales (se hace una analogía entre los cupones de un bono y los flujos de caja de un proyecto). Sin embargo, la analogía apropiada dependerá del tipo de proyecto analizado, así en el caso de los recursos naturales, en los proyectos de I+D y en otros tipos de proyectos reales las opciones financieras resultan ser una mejor analogía que los bonos.

El criterio del VAN a pesar de ser el más idóneo de cara a la valoración de los proyectos de inversión adolece de algunas limitaciones que es conveniente conocer.

La primera de ellas es que es incapaz de valorar correctamente aquellos proyectos de inversión que son flexibles a lo largo del tiempo, es decir, que incorporan *opciones reales* (de crecimiento, abandono, diferimiento, aprendizaje, reducción e intercambio.) lo que implica que el valor obtenido a través del simple descuento de los flujos de caja infravalore el verdadero valor del proyecto. Es decir, el criterio VAN supone, o bien que el proyecto es totalmente reversible (se puede abandonar anticipadamente recuperando toda la inversión efectuada), o que es irreversible (o el proyecto se acomete ahora o no se podrá realizar nunca más).

Por ello, la posibilidad de retrasar la decisión de invertir socava la validez del VAN, de hecho la espera para conseguir más información tiene un valor que este criterio no incorpora. Por tanto, ante este tipo de proyectos *dinámicos* es necesario recurrir al análisis de opciones reales para poder obtener el denominado VAN *total* del proyecto, del cual se hablará más adelante.

La forma de calcular el VAN de un proyecto de inversión supone, implícitamente, que los flujos de caja, que se espera proporcione a lo largo de su vida, deberán ser reinvertidos hasta el final de la misma a una tasa idéntica a la de su costo de oportunidad del capital. Esto no sería un problema si dichos flujos de caja fuesen reinvertidos en proyectos del mismo riesgo que el actual (y suponiendo que el costo de oportunidad del capital se mantenga constante, lo que es mucho suponer); pero sí ello no se cumple, el VAN realmente conseguido diferirá del calculado previamente, siendo mayor si la tasa de reinversión supera al costo del capital o menor en caso contrario. Es decir, el VAN supone implícitamente que la estructura temporal de los tipos de interés es plana e invariable.

Otra limitante de la metodología tradicional es que el VAN se basa en precios promedios, sin tener en cuenta la volatilidad de los mismos. Esto es, la evaluación tradicional no toma en cuenta el riesgo salvo en puntos que agrega de riesgo la tasa de descuento. Recuérdese

que la metodología del VAN tradicional nace de valorar un bono del tesoro americano que no tiene riesgo. Lo más que se hace en la evaluación tradicional es estimar la “resistencia” del VAN con precios bajos. Pero esto no toma en cuenta las probabilidades de que ocurran precios altos y bajos (Brambila, 2011)

### 3.2.2 La tasa interna de rendimiento (TIR).

Se denomina *tasa interna de rendimiento* (TIR) a la tasa de descuento para la que un proyecto de inversión tendría un VAN igual a cero. La TIR es, pues, una medida de la rentabilidad relativa de una inversión. Matemáticamente su expresión vendrá dada por la ecuación siguiente.

$$\text{VAN} = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1 + \text{TIR})^t} - I = 0$$

donde:

$F_t$  es el Flujo de Caja en el periodo  $t$ .

$n$  es el número de periodos.

$I$  es el valor de la inversión inicial.

En concreto, la TIR es la tasa de interés compuesto al que se iguala el flujo con la inversión.

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



La evaluación de los proyectos de inversión cuando se hace con base en la Tasa Interna de Retorno, toman como referencia la tasa de descuento. Si la Tasa Interna de Retorno es mayor que la tasa de descuento, el proyecto se debe aceptar pues estima un rendimiento mayor al mínimo requerido, siempre y cuando se reinviertan los flujos netos de efectivo. Por el contrario, si la Tasa Interna de Retorno es menor que la tasa de descuento, el proyecto se debe rechazar pues estima un rendimiento menor al mínimo requerido.

#### LIMITACIONES DE CRITERIO.

Al igual que ocurría en el caso del VAN, el propio cálculo de la tasa interna de rendimiento está suponiendo que los flujos intermedios de caja se van a reinvertir a la propia tasa de rendimiento interna. Por ejemplo, si la TIR de un proyecto toma un valor del 18,39%, ello será cierto siempre que se puedan reinvertir los flujos de caja a dicha tasa de rendimiento.

La TIR asume que los flujos de caja deben ser reinvertidos a la propia TIR, descartando la premisa de que los flujos intermedios de caja deben reinvertirse al costo de oportunidad del capital del proyecto al que se destinan, por lo tanto la TIR propone una tasa de reinversión que en nada tiene que ver con dicho costo de oportunidad.

#### 3.2.3 Tasa de rendimiento contable sobre la inversión.

El índice de retorno sobre la inversión (ROI por sus siglas en inglés) es un indicador financiero que mide la rentabilidad de una inversión. Su fórmula es:

$$ROI = \left( \frac{\text{Utilidades} - \text{Inversión}}{\text{Inversión}} \right) 100$$

El porcentaje que resulta muestra el poder de generar ganancias que tiene la inversión de los accionistas, de acuerdo con su valor en libros.

El ROI se usa principalmente al momento de evaluar un proyecto de inversión: si el ROI es menor o igual que cero, significa que el proyecto o futuro negocio no es rentable

(factible); mientras mayor sea el ROI, significa que un mayor porcentaje del capital se va a recuperar al ser invertido en el proyecto.

Debido sobre todo a su simplicidad, es uno de los principales indicadores utilizados en la evaluación de un proyecto de inversión; sin embargo, debemos tener en cuenta que este indicador no toma en cuenta el valor del dinero en el tiempo, por lo que al momento de evaluar un proyecto, siempre es recomendable utilizarlo junto a otros indicadores financieros, tales como el VAN y el TIR.

#### LIMITACIONES.

Entre las características de este método cabe destacar que no tiene en cuenta el valor temporal del dinero y que trabaja con flujos de renta (beneficios) en lugar de con flujos de caja, por lo que al momento de evaluar un proyecto, siempre es recomendable utilizarlo junto a otros indicadores financieros, tales como el VAN y la TIR.

Además, debido a que el sistema de amortización va reduciendo el valor contable de la inversión, el ROI tiende a ir aumentando a lo largo del tiempo, por lo que el uso del valor contable de los activos del proyecto puede resultar inadecuado para medir el rendimiento.

#### **3.2.4 Análisis Costo Beneficio.**

La técnica de Análisis de Costo/Beneficio, tiene como objetivo fundamental proporcionar una medida de la rentabilidad de un proyecto, mediante la comparación de los costos previstos a valor presente,  $C$ , con los beneficios esperados a valor presente,  $B$ , en la realización del mismo.

Si el beneficio  $B$ , dividido entre el costo  $C$ , resulta mayor que uno  $\frac{B}{C} > 1$ , entonces se acepta el proyecto, de lo contrario se rechaza.

Limitaciones.

Un análisis costo/beneficio por sí solo no es una guía clara para tomar una buena decisión, ya que no considera la volatilidad ni la tendencia de los precios reales o flujos de efectivo real.

La relación B/C sólo entrega un índice de relación y no un valor concreto, además no permite decidir entre proyectos alternativos.

### **3.2.5 El plazo de recuperación simple.**

El plazo de recuperación simple es un método de valoración de proyectos de inversión de tipo estático debido a que no tiene en cuenta el momento del tiempo en el que vencen sus flujos de caja. Se define como el tiempo que se tarda en recuperar el desembolso inicial realizado en una inversión.

Según este método de valoración, los proyectos de inversión serán efectuables siempre que su plazo de recuperación sea inferior a un plazo máximo establecido por la dirección de la empresa; y entre dichos proyectos efectuables serán preferibles aquéllos cuyo plazo sea más bajo, esto es, los que tengan la recuperación del desembolso más rápida.

Es muy fácil de calcular, fácil de comprender (esto es muy importante para los empresarios que carecen de conocimientos financieros), y para las empresas con problemas de liquidez es muy apropiado.

#### LIMITACIONES

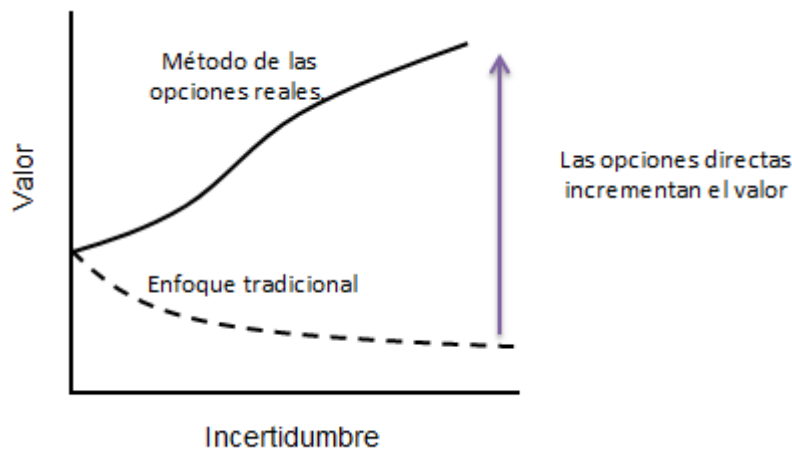
Las dos grandes limitaciones de este criterio son: a) la no consideración de todos los flujos de caja del proyecto, y b) el no tener en cuenta el momento del horizonte temporal en el que tienen lugar los flujos de caja por lo que no opera con su valor actualizado.

### **3.3 Incertidumbre y riesgo.**

A lo largo de ésta tesis, y para el análisis de las opciones reales y de los valores críticos, se utilizarán los términos “incertidumbre y riesgo”, pero no alternativamente. Según Amram y

Kulatilaka (2000) La incertidumbre es la aleatoriedad o casualidad del entorno externo. Los directivos no pueden cambiar su nivel. La incertidumbre es un insumo (input, en inglés) dentro del análisis de las opciones reales. La consecuencia económica adversa a lo que se expone a una empresa es el riesgo.

Desde el punto de vista tradicional, cuanto mayor es el nivel de incertidumbre, menor es el valor del activo. El punto de vista de las opciones reales, demostrará más adelante que una mayor incertidumbre puede provocar un valor superior del activo si los directivos logran identificar y utilizar sus opciones para responder con flexibilidad al desarrollo de los acontecimientos.



Gráfica 9: La incertidumbre aumenta el valor

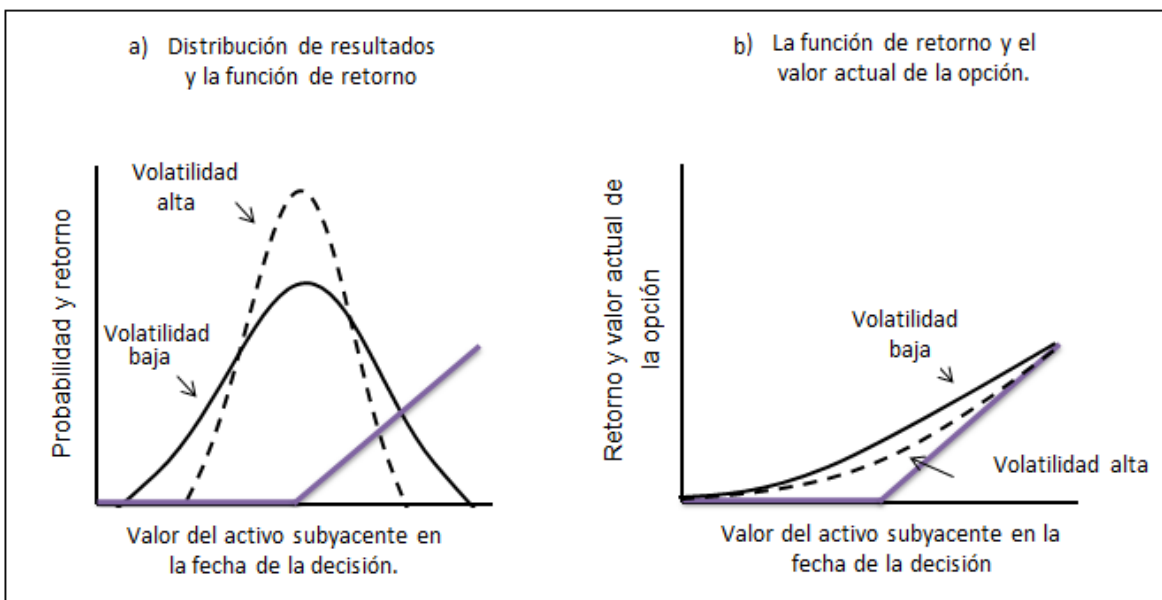
Fuente: Amram y Kulatilaka (2000).

Los directivos se anticipan y responden a la incertidumbre cuando realizan modificaciones a la mitad de un proceso, cuando abandonan proyectos, o cuando incorporan infinidad de revisiones en los proyectos. En el lenguaje de las opciones reales, los directivos están tomando decisiones contingentes- decisiones para invertir o desinvertir que dependen del curso de los acontecimientos. La toma de éste tipo de decisiones disminuye la posibilidad o probabilidad de obtener un mal resultado, de tal modo que el mayor nivel de incertidumbre sólo tiene el efecto unilateral de incrementar el potencial ascendente.

En economía y finanzas se analiza y mide el riesgo partiendo del supuesto que el precio de un bien o servicio resume la información que hay en el mercado. Por lo que la variable que se usa frecuentemente para medir el riesgo de un bien es el comportamiento del precio real. Más precisamente, el riesgo se mide por los cambios de precio, la tasa de movimiento del precio real.

El riesgo es la probabilidad de que las cosas no salgan como se espera y la estimación de cuanto se puede perder (Brambila 2010)

Existen dos tipos de riesgos, el privado y el total o de mercado. En algunas aplicaciones lo que más destaca en el marco de un problema es el riesgo privado. Los ejemplos incluyen el éxito o el fracaso de una tecnología, el riesgo científico del desarrollo de un fármaco, y la geología de la exploración de crudo. No habría que ignorar el riesgo de mercado, porque en la toma de decisiones influye la interacción que existe entre el riesgo privado y el riesgo de mercado.



Gráfica 10: Riesgo total y valor de la opción.

Fuente: Amram y Kulatilaka (2000).

La gráfica 10 muestra cómo un incremento en el riesgo total aumenta el valor de una opción, permaneciendo el resto constante. En la figura 10 (a), la función de retorno se superpone a dos distribuciones de resultados. Cuando la volatilidad es elevada, la distribución de resultados es más amplia. Un nivel de volatilidad superior se traduce en un valor de la opción superior, tal como lo ilustra la figura 10 (b). La función de retorno truncada crea un efecto unilateral hacia la volatilidad. Una mayor volatilidad hace que aumente la probabilidad de obtener un mal resultado -pero limitando las pérdidas-. Ó de obtener un buen resultado -creando valor-.

La volatilidad<sup>2</sup>, o lo que es lo mismo, el riesgo total, es un determinante extremadamente importante para el valor de la opción.

El método de las opciones reales se centra en el riesgo total de la inversión, que es exactamente lo que preocupa a los directivos y en función del cual actúan de una manera u otra.

---

<sup>2</sup> Tenga en cuenta que no se está hablando del aumento de la volatilidad, sino de niveles de volatilidad. A lo largo de ésta tesis se argumentará que la volatilidad es relativamente estable y sus estimaciones bastante consistentes.

# CAPÍTULO 4

## ENFOQUE TEÓRICO METODOLÓGICO.

### 4.1 Las opciones reales, definiciones y tipos.

Amram y Kulatilaka (1999) definen una opción como el derecho, pero no la obligación de tomar una determinada decisión en el futuro, estas opciones tienen valor en situaciones de incertidumbre.

El activo sobre el que se extiende el derecho se denomina activo subyacente. El precio de compra (o de venta) que da derecho a adquirirlo (o a venderlo) durante el periodo en el que la opción está vigente se denomina precio de ejercicio (*strike Price*, en inglés) (Copeland y Antikarov, 2001)

A la opción que da el derecho, pero no la obligación, de comprar, invertir, posponer, expandir, contraer o abandonar un activo a un precio prefijado y durante un tiempo determinado se le denomina opción de compra (*call option*, en inglés). Mientras que a la

opción que da derecho pero no la obligación a vender un activo a un precio prefijado y durante un tiempo determinado se la denomina opción de venta (*put option*, en inglés).

A la fecha en la que termina el derecho de opción se le denomina fecha de vencimiento (*expiration date*, en inglés).

Como una opción es un derecho y no una obligación tiene un costo, éste recibe el nombre de prima (*Premium*, en inglés).

Mascareñas (1999) explica cuando el derecho, al que hace mención la opción, se puede ejercer

1. Sólo en la fecha de vencimiento de la opción. En cuyo caso la opción recibe el nombre de europea.
2. En cualquier momento hasta la fecha de vencimiento. La opción que tiene esta característica se denomina americana.
3. En algunos instantes predeterminados a lo largo de su vida. Es el caso intermedio entre los dos anteriores y a las opciones que tienen esa característica se le denomina bermuda.

El valor de una opción depende directamente de los retornos en relación a la decisión contingente, del intervalo de tiempo hasta la fecha de la decisión y de la volatilidad.

#### **4.2 Opciones financieras y opciones reales.**

La teoría de valuación de opciones financieras se escribió en los años setentas por Black - Sholes y Merton (1973) quienes analizaron una solución cerrada para el precio de equilibrio de una opción de compra (*call*). Desde entonces cientos de trabajos teóricos y empíricos se han escrito en esta dirección y se han vinculado al estudio de las opciones reales.



Myers (1977) argumentó que los activos corporativos pueden ser vistos como *opciones de crecimiento* (como una opción *call*) y con ello aplica los conceptos de opciones financieras a los activos reales. Brabazon (1999), entre otros señala que el concepto de opciones reales proviene de las investigaciones sobre opciones financieras.

Se denominan opciones financieras a aquellas cuyo activo subyacente es un activo financiero como, por ejemplo, una acción, un índice bursátil, una obligación, una divisa, etcétera.

Como parece lógico, las opciones reales son aquellas cuyo activo subyacente es un activo real (Myers, 1984) como, por ejemplo, un inmueble, un proyecto de inversión, una empresa, una patente, etcétera.

El valor de ambos tipos de opciones, financieras y reales, es en función de seis variables: el precio del activo subyacente ( $S$ ), el precio del ejercicio ( $X$ ), el tiempo hasta el vencimiento ( $t$ ), el riesgo de volatilidad ( $\sigma$ ) y el tipo de interés sin riesgo ( $r_f$ ) y los dividendos ( $D$ ).

#### **4.2.1 Similitudes entre opciones financieras y opciones reales.**

En el entendido de que las opciones reales toman su base de la teoría de las opciones financieras, aplicada a la valuación de activos reales no financieros, es decir, a la inversión de capital, (Amram y Kulatilaka, 1999), entonces, se encuentran adaptaciones en los parámetros a considerar en la valuación.

Cuadro 3: Parámetros de Valuación en opciones reales y en opciones financieras.

Opción de compra real	Variable	Opción de compra financiera
Valor actual del activo real subyacente: el valor actual de los flujos de caja que se espera genere dicho activo a lo largo de su vida futura, se conoce sólo de manera aproximada.	S	Precio actual del activo financiero subyacente: VA de los flujos de caja que genere el activo financiero, éste se conoce con certeza.
Precio a pagar por hacerse con el activo real subyacente, con sus flujos de caja (en un proyecto de inversión, será el desembolso inicial); o el precio al que el propietario del activo subyacente tiene derecho a venderlo, si la opción es de venta.	X	Precio que debe pagar para comprar el activo financiero subyacente ( <i>call</i> ), o el precio que le pagarán por venderlo ( <i>put</i> ).
Longitud del tiempo que se puede demorar la decisión de realizar el proyecto de inversión.	T	Tiempo hasta el vencimiento de la opción de compra.
Riesgo del activo operativo subyacente: Volatilidad del VA de los flujos de caja.	$\sigma^2$	Varianza de los rendimientos del activo financiero cuyo precio medio es S pero que oscilará en el futuro.
Valor temporal del dinero	$r_t$	Tasa de interés sin riesgo.
El dinero que genera el activo subyacente (o al que se renuncia) mientras el propietario de aquélla no la ejerza.	D	Dinero líquido generado por el activo subyacente durante el tiempo que el propietario de la opción posee y no la ejerce. Si la opción es de compra, este dinero lo pierde el propietario de la opción (dividendos)

Fuente: Elaboración propia con información de Mascareñas (2008).

Como se observa, en general, los parámetros de valuación son los contenidos en el Cuadro (3), y éstos se adaptan a la nomenclatura que cada autor decida desarrollar. Ahora bien, estas variables tienen un impacto diferente sobre el valor de las opciones.

Si el precio del activo subyacente aumenta (o disminuye) el valor de la opción de compra también aumentará (o disminuirá). Lo contrario ocurrirá con la opción de venta.

Si el precio del ejercicio aumenta (o disminuye) el valor de la opción de compra descenderá (o aumentará). El valor de la opción de venta se mueve en el mismo sentido que el precio del ejercicio.

Si el tiempo aumenta el valor de las opciones de compra o de venta aumentan; ocurriendo lo contrario si aquél disminuye. Así, en el caso de las opciones reales, cuanto mayor sea el intervalo de tiempo, que se tiene de margen para demorar la decisión final, mayor será la posibilidad de que los acontecimientos se desarrollen de forma favorable aumentando la rentabilidad del proyecto. Es evidente, que si dichos acontecimientos fuesen contrarios a los intereses del inversor o directivo, éste renunciaría a realizar el proyecto evitando así una pérdida innecesaria.

En cuanto al riesgo asociado al activo subyacente ( $\sigma$ ), es preciso señalar que cuanto más grande sea más valiosa será la opción (tanto si es de compra como de venta) esto es así debido a la asimetría existente entre pérdidas y ganancias.

Un aumento del tipo de interés sin riesgo ( $r_f$ ) produce un descenso del valor del activo subyacente (al penalizar el valor actual de los flujos de caja esperados) y, al mismo tiempo, reduce el valor actual del precio de ejercicio. Por lo general, el efecto neto resultante induce a pensar que un aumento del tipo de interés sin riesgo provoca un aumento del valor de la opción de compra (y un descenso en el valor de la opción de venta).

Los dividendos repartidos por el activo subyacente también afectan al valor de la opción. Como sabemos, el valor de una acción desciende en el momento de repartirse los dividendos. Si el valor de la acción subyacente desciende, también lo hará el valor de la

opción de compra (a la de venta le pasará lo contrario). Por tanto, el reparto de dividendos o flujos de caja por parte del activo subyacente hace descender el valor de las opciones de compra y aumentar el de las de venta.

En resumen el efecto del signo de dichas variables sobre los dos tipos de opciones se expone en el cuadro 5, donde el signo “+” indica que si la variable aumenta, el valor de la opción también lo hace, y el signo “-“indica lo contrario.

Cuadro 4: Efecto sobre las opciones de compra (call) y venta (put) si los parámetros de evaluación aumentan.

Aumento del parámetro	Opción de compra (call option)	Opción de venta (put option)
Precio del activo subyacente	+	-
Precio del ejercicio	-	+
Tiempo	+	+
Riesgo	+	+
Tipo de interés	+	-
Dividendos	-	+

Fuente: Elaboración propia con información de Mascareñas 2008.

Excepciones.

El tiempo hasta el vencimiento no siempre aumenta el valor de la opción real a causa del valor temporal de la corriente de flujos a los que se renuncia (los dividendos) y a la amenaza de la competencia.

Pueden existir diferentes fuentes de incertidumbre o volatilidad que influyen en el valor de la opción y que tomadas en conjunto no siempre aumentan.

#### 4.2.2 Diferencias Entre Opciones financieras y opciones reales

Es de principal importancia mencionar las diferencias entre las opciones ya que cambian la estructura matemática de los modelos de opciones reales. Mun (2002) describe las diferencias más significativas:

Las opciones financieras se han utilizado por épocas, en tanto que las opciones reales tienen un desarrollo reciente. Las opciones reales tienen un periodo de vida largo,  $t =$  años, y las opciones financieras tienen un periodo de vida corto, usualmente  $t =$  meses.

El activo subyacente en opciones financieras es el precio de la acción, mientras que en opciones reales existen una infinidad de variables, como son los Flujos Netos de Efectivo (FNE). Como el análisis de opciones reales considera activos físicos (reales) y/o intangibles, (como los negocios de internet) debe tenerse cuidado en la selección de la variable subyacente, ya que la volatilidad modelada se refiere a dicho activo subyacente.

Las opciones financieras están reguladas, aunque en teoría los accionistas manipulan el precio de las acciones para su beneficio. Las opciones reales son creadas por la empresa y sus decisiones pueden incrementar el valor del proyecto.

Las opciones financieras tienen relativamente menos valor (cientos o miles de pesos por opción), mientras las opciones reales valen miles o millones de pesos por proyecto (opción estratégica).

Ambos tipos de opciones pueden resolverse usando aproximaciones similares; soluciones cerradas, diferencias finitas, ecuaciones parciales diferenciales, árboles binomiales y multinomiales y simulación; Trigeorgis (1991), Hull y White (1988), y Boyle (1976), quienes incluyen simulación Monte Carlo.

Por último, los modelos de opciones financieras están basados en un mercado formal, lo que hace que los precios de los activos sean transparentes; por lo tanto, la construcción del modelo es más objetiva. Las opciones reales no se negocian en un mercado formal y la información financiera está disponible sólo para la administración, por lo que el diseño del modelo se vuelve subjetivo.

Entonces, la empresa asume que la clave es valorar opciones reales y no opciones financieras. Dado un proyecto en particular, la empresa puede crear estrategias que

podrían proveer por sí mismas opciones en el futuro, cuyo valor pueda cambiar dependiendo de cómo están construidas (Mun 2002)

A manera de resumen, se presenta en el Cuadro 6 las características y diferencias fundamentales de las opciones reales y financieras.

Cuadro 5: Diferencias entre opciones reales y opciones financieras.

<b>OPCIONES REALES</b>	<b>OPCIONES FINANCIERAS</b>
Reciente desarrollo en finanzas corporativas (últimas 2 décadas)	Han existido por más de 5 décadas.
Madurez de largo plazo (años)	Madurez de corto plazo (meses)
Las decisiones de inversión son de millones de pesos.	Las decisiones de inversión son de cientos y miles de pesos.
El precio del activo subyacente son los flujos de efectivo esperados del proyecto.	El precio del activo subyacente es el precio de la acción.
Se resuelven usando ecuaciones y árboles binomiales con simulación de la variable subyacente.	Se resuelven por ecuaciones parciales diferenciales y simulación de técnicas de reducción de varianza para opciones exóticas.
El valor de la opción puede incrementarse por las decisiones administrativas y la flexibilidad de tomar nuevas decisiones en cualquier momento.	El valor de la opción tiene un valor fijo, no puede manipularse por el precio de las opciones.
Deben ser identificadas por los administradores.	Basadas en un mercado formal.

Fuente: Elaboración propia con información de Mun (2002)

### 4.3 Las opciones reales.

En un sentido estricto, el método de las opciones reales es la extensión de la teoría de las opciones financieras. Mientras que las opciones financieras se detallan en el contrato, las opciones reales objeto de inversiones estratégicas deben ser identificadas y especificadas. El paso de las opciones financieras a las opciones reales requiere una filosofía determinada, una forma de ver las cosas que introduzca la disciplina de los mercados financieros en las decisiones internas de la inversión estratégica.

Los orígenes cuantitativos de opciones reales se derivan de los trabajos de Black - Scholes (1973) y Merton (1973) acerca de las opciones financieras. Cox, Ross y Rubinstein (1979) hicieron posible la aproximación binomial para evaluar opciones en tiempo discreto. Kulatilaka y Trigeorgis (1994) presentan un modelo en tiempo discreto para intercambiar opciones. Pindyck (1988) muestra en un modelo continuo el valor de esperar usando programación dinámica. Dixit y Pindyck (1994) estudian la función y la implicación de los costos como procesos de difusión, entre otros. Como se observa hay un número importante de trabajos seminales en la literatura de opciones reales que se enfocan a la valuación cuantitativa, los mencionados son importantes para esta investigación.

El método de las opciones reales proporciona el marco de trabajo que introduce los efectos del tiempo y de la incertidumbre en el proceso de valoración y de toma de decisiones, por lo que naturalmente se concentra en la volatilidad y el grado de incertidumbre en relación a las tasas de crecimiento; funciona debido a que brinda a los directivos un instrumento para la toma de decisiones y para la valoración que refleja la gestión de un buen proyecto garantizando que estas decisiones conducen a la máxima valoración del mercado de la estrategia empresarial.

Myers (1984), ideó el término “Opciones Reales” para llenar el vacío existente entre la planificación estratégica y las finanzas.

Según Amram y Kulatilaka (1999) las situaciones en las que es preciso aplicar un análisis de opciones reales son las siguientes:

En el caso de una decisión de inversión contingente. Ningún otro método puede valorar correctamente este tipo de oportunidad.

Cuando la incertidumbre es lo suficientemente importante como para que merezca la pena esperar a tener más información, evitando el tener que lamentarse por haber realizado inversiones irreversibles.

Cuando parece que el valor se basa más en posibilidades de opciones de crecimiento en el futuro que en el flujo de caja del momento.

Cuando la incertidumbre es lo suficientemente importante como para tener en cuenta la flexibilidad. Sólo el método de las opciones reales puede valorar correctamente inversiones en flexibilidad.

Cuando se vayan a realizar actualizaciones de proyectos y correcciones de estrategias en el propio proceso de desarrollo de las mismas.

Cuando hay la posibilidad de cambiar o ajustar el proyecto, agrandarlo o reducirlo.

El método de las opciones reales, es una filosofía o una manera de ver las cosas y formar parte de una oleada de cambios en los mercados financieros y de productos, cambios que exigen que los ejecutivos creen valor mediante la gestión de inversiones estratégicas en un mundo con incertidumbre.

#### **4.3.1 Tipos de Opciones reales.**

Mascareñas (1999) basado en Trigeorgis (1995) explica que los tipos de opciones reales se pueden clasificar en tres grupos que pueden estar interrelacionados:

##### **1. Diferir / Aprender**

- a) La *opción de diferir* (*option to defer*) un proyecto proporciona a su propietario el derecho a posponer su realización durante un plazo de tiempo determinado. Esto le



permite aprovecharse de la reducción de la incertidumbre lo que en sí puede ser valioso.

- b) La *opción de aprendizaje (learning option)* proporciona a su propietario la posibilidad de obtener información a cambio de un costo determinado.

## 2. Inversión / Crecimiento

- a) La *opción de ampliar (scale up option)* un proyecto de inversión proporciona a su propietario el derecho a adquirir una parte adicional del mismo a cambio de un coste adicional y de esta manera el proyecto resultante tendrá un tamaño mayor al inicial.
- b) La *opción de intercambio (switch up option)* proporciona a su propietario el derecho a intercambiar productos, procesos o plantas, dada una alteración favorable en el precio subyacente o en la demanda de factores o productos.
- c) La *opción de ampliación del alcance (scope up option)* permite apalancar un proyecto realizado en un sector determinado para que pueda ser utilizado además en otro sector relacionado

## 3. Desinvertir / Reducir

- a) La *opción de reducir (scale down option)* un proyecto de inversión proporciona a su propietario el derecho a renunciar a una parte del mismo a cambio de un ahorro adicional de costes.
- b) La *opción de intercambio (switch down option)* permite adaptarse a una estructura de costes más liviana y a unos activos más flexibles para responder a un cambio adverso en la demanda.
- c) La *opción de reducción del alcance (scope down option)* permite reducir, e incluso abandonar, el alcance de las operaciones en un sector relacionado cuando el potencial de negocio se reduce o desaparece.

- i. La *opción de abandono* (*option to abandon*) proporciona a su propietario la posibilidad de vender, liquidar o abandonar un proyecto determinado.
- ii. La *opción de cierre temporal* (*option to temporarily shut down*) que proporciona a su propietario el derecho a abandonar de forma temporal la explotación de un proyecto de inversión.

Generalizando, se puede decir que las opciones reales pueden serlo de crecimiento, de diferimiento y de abandono.

#### **4.4 Cálculo del valor de las opciones reales.**

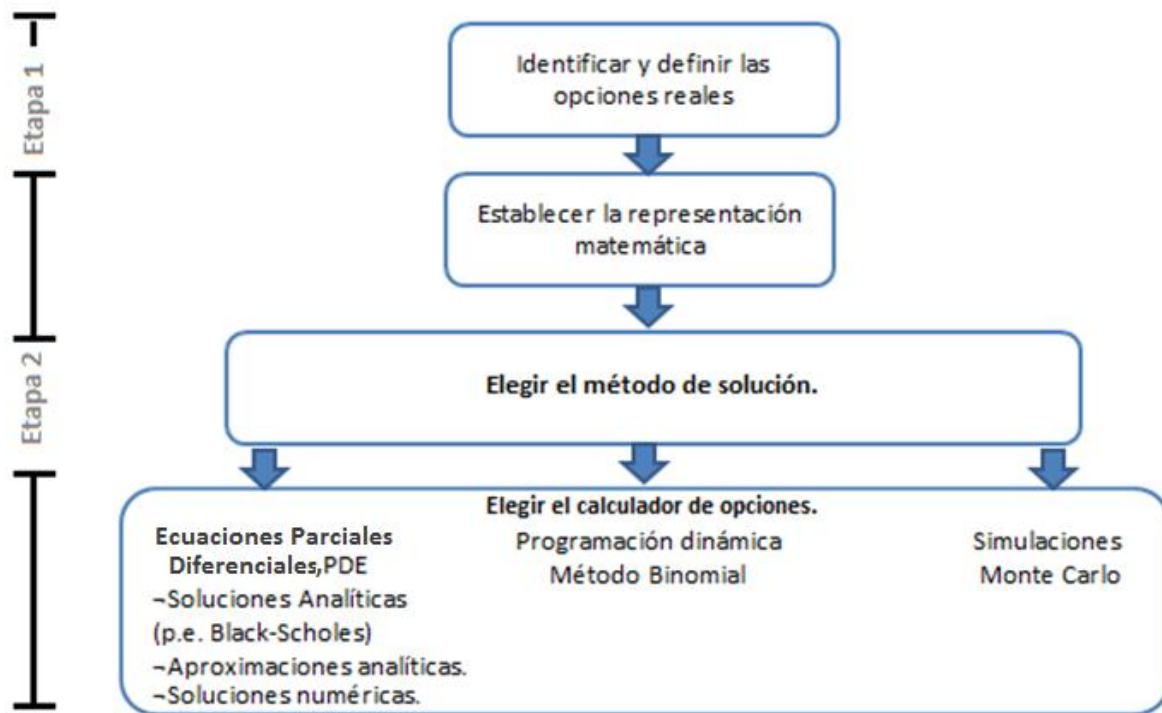
En este apartado se explican de manera breve los métodos de solución disponibles para el cálculo del valor de las opciones. Estos métodos utilizan técnicas matemáticas desarrolladas en otros campos. Aunque los métodos de solución difieren en cuanto a enfoque, en muchos casos, si los inputs y el marco de aplicación se estructuran correctamente, darán lugar a un mismo valor de opción.

Amram y Kulatilaka, (2000) han llamado a estas técnicas calculadoras de opciones. Dos de ellas, el modelo binomial de valoración de opciones y la ecuación de Black Scholes (BS), se tratan con más detalles a continuación.

El modelo de valoración binomial tiene una gran flexibilidad y puede utilizarse para una gran variedad de aplicaciones. Además es transparente y permite que el usuario comprenda mejor las etapas básicas en la valoración de opciones y las complicaciones que pueden surgir a partir de los activos reales.

La solución de BS es apropiada en menos aplicaciones de opciones reales, pero cuando es apropiada, proporciona una solución simple y una respuesta rápida.

Cuadro 6. Métodos de solución y calculadores de opciones.



Fuente: Amram y Kulatilaka (2000)

El cuadro 6 sintetiza el proceso de implementación y los instrumentos utilizados para valorar opciones.

Existen 2 etapas para la valoración de opciones, la primera de ellas, es en la que se define el marco de aplicación a nivel directivo. La segunda etapa consiste en establecer el marco matemático, elegir un método de solución y el calculador de la opción.

Según Amram y Kulatilaka (2000), hay 3 métodos de solución generales.

1. El método de ecuaciones parciales diferenciales, PDE, (por sus siglas en inglés partial differential equation), resuelve una ecuación diferencial parcial que iguala el cambio en el valor de la opción al cambio en el valor de la cartera de referencia.
2. El método de programación dinámica define posibles resultados futuros y actualiza el valor de la estrategia futura óptima.

3. El método de simulación, calcula la media del valor de la estrategia óptima en la fecha de decisión para miles de resultados posibles.

#### **4.4.1 Soluciones por medio de ecuaciones parciales diferenciales (PDE).**

Este método de valoración de una opción real se basa en una expresión matemática del valor de la opción y en su dinámica, mediante una ecuación diferencial parcial (PDE) y unas condiciones particulares. Estas ecuaciones constituyen el núcleo de la valoración de las opciones, sus condiciones particulares especifican la opción que se va a valorar, su valor en determinados dos tiempos, inicio y final.

En una solución analítica a la PDE, el valor de la opción aparece en una ecuación como una función directa de los insumos. Si está disponible, la solución analítica es la manera más fácil y rápida de obtener el valor de la opción. La solución analítica más típica a una PDE junto al conjunto de las condiciones articulares que define una opción de compra europea es la ecuación de Black-Scholes

Una ecuación diferencial parcial del valor de una opción describe las condiciones que el valor del activo subyacente y el valor de la opción deben satisfacer a lo largo del tiempo con respecto a cada una de las variables input.

En el caso de las opciones financieras, la derivación de las PDE más importantes comenzó con la definición detallada de la naturaleza de la incertidumbre en relación a los precios de las acciones. Éstos se perfilaban como si cambiaran constantemente.

La valoración de las opciones requiere la PDE (ecuación que describe los cambios en los valores de las opciones debidos a los cambios en el valor del activo subyacente) y una serie de condiciones específicas (ecuaciones que reflejan la regla de decisión y que determinan los valores extremos que podría tomar el valor de la opción) si la ecuación diferencial parcial es lo suficientemente sencilla, se pueden utilizar modelos matemáticos (álgebra,

cálculos o teoría de la probabilidad) para obtener el valor exacto de la opción; esto se denomina solución analítica.

Por ejemplo, para cualquier activo subyacente  $A$  que sigue un proceso log-normal, el valor de la opción  $V$  debe satisfacer la ecuación diferencial formulada por Black & Scholes.

$$\frac{\partial V}{\partial t} + \frac{\partial V}{\partial A} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 V}{\partial A^2} \sigma^2 A^2 = rV$$

Para obtener el valor actual de la opción, la ecuación diferencial parcial debe estar “sujeta” a ciertos puntos que la delimiten. Por ejemplo, una de las condiciones específicas o limitaciones de una opción de compra europea es que el valor de la opción en la fecha de la decisión final,  $T$ , es igual a  $\max[A_T - X, 0]$ . ( $A_T$  es el valor del activo subyacente en la fecha  $T$ .) La ecuación de BS es la solución analítica a la ecuación diferencial parcial planteada por ellos y a las condiciones específicas antes mencionadas.

Las soluciones numéricas se utilizan para resolver la PDE cuando no es posible obtener una solución analítica y se basan en la transformación de ésta en una serie de ecuaciones que se deben mantener durante unos breves intervalos de tiempo. Los algoritmos de cálculo se utilizan para buscar aquel valor de la opción que resuelve las ecuaciones simultáneamente. Los métodos de diferencias finitas son las soluciones numéricas más utilizadas por la PDE.

En este método se define una cuadrícula que cubre todo el abanico de posibles valores del activo subyacente a lo largo de la vida de la opción. Para cada uno de los puntos de la cuadrícula, se obtiene el valor de la opción, resolviendo el conjunto de ecuaciones.

Una ventaja de las soluciones numéricas a la PDE es que hay mucho software disponible y que los algoritmos son bastante rápidos. Una desventaja es que la complejidad del cálculo aumenta a medida que se van incorporando más fuentes de incertidumbre. Una segunda

desventaja es que la estructura de la decisión en una solución numérica es opaca, dificultando su seguimiento a través de las consecuencias de la toma de decisiones contingentes.

#### **4.4.1.1 Modelo de Black-Scholes (BS)**

Como se ha mencionado anteriormente, para la evaluación de proyectos, no existe ningún tipo de descuento objetivo capaz de actualizar los arriesgados flujos de caja hasta el presente y el problema no tiene solución dentro del marco del análisis tradicional del flujo de caja descontado.

El dilema del tipo de descuento desconcertó a muchos teóricos. Algunos académicos, incluido el destacado economista Paul Samuelson, reconocieron la función de retorno truncada de las inversiones contingentes y la necesidad de actualizar el valor de los retornos inciertos. Sin embargo, el trabajo que publicó en 1965 y los trabajos previos de otros investigadores en el mismo campo no consiguieron resolver el dilema del tipo de descuento.

La solución desarrollada por Fischer Black, Robert Merton y Myron Scholes fue una desviación radical del análisis de flujo de caja descontado.

Los tres se basaban en los factores que podrían cambiar el valor de una opción a lo largo del tiempo. ¿Cuál es el valor de una opción en el momento de su compra? ¿Cuál es el valor de la opción un poco más tarde, cuando queda menos tiempo y ha cambiado el valor del activo subyacente? (Amram y Kulatilaka, 2000)

La dinámica de la relación entre el valor de la opción y el precio de la acción se recoge en una ecuación diferencial parcial. Ésta ecuación define matemáticamente la evolución del valor de la opción en términos del valor del activo subyacente, de su volatilidad y de la tasa de rentabilidad libre de riesgo.

Se especifican ecuaciones diferenciales parciales diferentes para reflejar las características específicas de cada opción y no todas las ecuaciones diferenciales parciales tienen una

solución analítica. La ecuación de BS es muy útil para las opciones reales simples, aquellas que tienen una sola fuente de incertidumbre y una única fecha de decisión.

El modelo considera que el precio del activo subyacente se distribuye según una normal-logarítmica para la que su varianza es proporcional al tiempo. Los supuestos de los que parte son los siguientes (Black & Scholes 1981):

1. En el mercado no existen costos de transacción (como los impuestos), y los subyacentes son perfectamente divisibles.
2. Los inversores pueden invertir y endeudarse a una misma tasa de interés libre de riesgo a corto plazo  $r$ , expresada como tasa instantánea y constante en el horizonte de valoración de la operación.
3. Las transacciones son continuas y existe plena capacidad para realizar compras y ventas a crédito sin restricciones ni costos particulares.
4. Las opciones son del tipo europeas y el activo subyacente no paga dividendos en el horizonte de valoración.
5. El precio del subyacente sigue un proceso continuo estocástico (*random walk*) de evolución de tipo *Gauss-Wiener*.
6. Para Black y Scholes un inversor racional nunca ejercería una opción de compra antes de su caducidad y, por lo tanto, el valor de la opción de compra americana coincidirá con la europea.

Como es claro de acuerdo con los supuestos no hay oportunidades de arbitraje libres de riesgo, el precio del subyacente sigue un proceso continuo estocástico (Browniano geométrico), la tasa  $r$  es una tasa constante, no se pagan dividendos, y no existen costos de transacción.

La ecuación de Black & Scholes es fácil de utilizar; todo lo que hace falta para calcular el valor de la opción de compra es una ecuación y 5 inputs

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

Dónde:

C: Precio actual de una opción de compra.

S: Precio actual del activo subyacente.

X: Precio al ejercer la opción.

r: tasa de interés libre de riesgo en tiempo continuo.

T: tiempo para la expiración.

$\sigma$ : Volatilidad del activo subyacente.

$N(d_1)$  y  $N(d_2)$  son los valores de distribución normal en  $(d_1)$  y  $(d_2)$ .

$$d_1 = \frac{\ln\frac{S}{X} + (r + \frac{1}{2}\sigma^2)(T)}{\sigma(\sqrt{T})} \quad d_2 = d_1 - \sigma(\sqrt{T})$$

Éste modelo resuelve el problema fundamental de la valoración de las mismas que consiste en que dados el tiempo que falta hasta su vencimiento (t), la tasa libre de riesgo ( $r_f$ ), el precio de ejercicio de la opción (X) y la varianza de la tasa de rentabilidad instantánea ( $\sigma^2$ ), habrá que determinar la relación existente entre el costo de la opción de compra europea (c) y el precio de la acción sobre la que recae (S).

De igual manera, la ecuación de BS puede ser dividida en tres partes, las cuales se pueden interpretar de la siguiente manera:

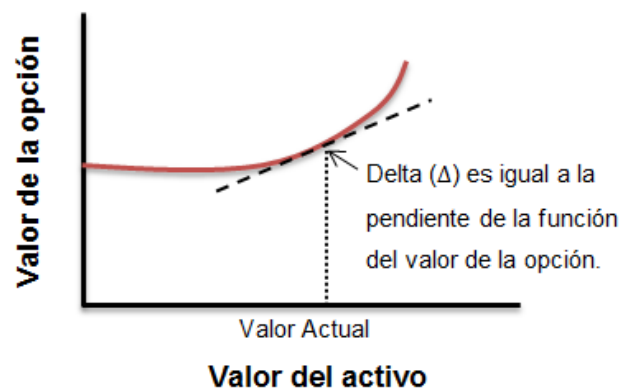
$SN(d_1)$  = Valor esperado de S si  $S > X$  en el momento de expiración de la expectativas.

$N(d_2)$  = Probabilidad de neutralidad frente al riesgo de  $S > X$  en la fecha de expiración.



$Xe^{-r(T)}$  = Precio del activo para comprar en el tiempo  $t$ .

En los modelos de valoración de opciones, el cambio en el valor de la opción debido a un pequeño cambio en el valor del activo subyacente se conoce como delta  $\Delta$ . Cuando el valor de la opción se manifiesta en términos del valor del activo subyacente como en la gráfica 11, delta es la inclinación o pendiente de la función del valor de la opción al valor actual del activo subyacente.



Gráfica 11: El valor Delta de una opción.

Fuente: Amram y Kulatilaka (2000)

Delta mide la sensibilidad del valor de la opción frente a las fluctuaciones en el valor del activo subyacente. Es la inclinación de la función del valor de la opción al valor actual del activo subyacente. En la ecuación de BS para una opción de compra es  $N(d_1)$ .

El poder de la teoría de BS se reconoce fácilmente. Es una manera simple y objetiva de caracterizar la relación entre riesgo y valor.

#### 4.4.2 Programación dinámica.

La programación dinámica resuelve el problema de cómo tomar decisiones óptimas cuando la decisión actual afecta a retornos futuros. Éste método de solución recoge

valores posibles del activo subyacente a lo largo de la vida de la opción y después actualiza el valor futuro de la decisión óptima. Se utiliza el método de la neutralidad frente al riesgo para la valoración.

El núcleo de la programación dinámica es el principio de Bellman, que define una estrategia óptima del siguiente modo: una vez elegida la estrategia inicial, la estrategia óptima en el periodo siguiente es aquella estrategia que se elegirá si todo el análisis fuera a comenzar en dicho periodo.

La solución resuelve el problema de la estrategia óptima retrocediendo en el tiempo de una forma recursiva, actualizando los valores y los flujos de caja futuros y considerándolos en la decisión actual. Resolviendo el problema de la optimización de un periodo y retrocediendo después se garantiza la resolución óptima del problema.

Un ejemplo sería el clásico problema de la tala de árboles: ¿Cuándo cortar un árbol? Suponiendo que hay incertidumbre en relación a los precios de la madera y en consecuencia incertidumbre en relación al árbol cortado.

Para utilizar el método de solución de programación dinámica hay que definir los posibles precios futuros de la madera y determinar la estrategia contingente óptima (cortar o esperar) para cada uno de esos precios. Obtener el valor de las estrategias futuras, considerando las expectativas y actualizando. En cada periodo habrá un valor mínimo para el precio de la madera, por encima del cual se cortará el árbol. Con cada actualización, el valor mínimo aumentará por que incluirá el valor de esperar para obtener precios más elevados de la madera.

La programación dinámica es un método de solución para la valoración de opciones de mucha utilidad por que maneja varias especificaciones de los activos reales y de las opciones reales de un modo transparente. Los valores y las decisiones intermedias son visibles, lo cual permite al usuario desarrollar una intuición más firme en relación a las fuentes de valor de las opciones.

Este método, puede manejar estructuras de decisión complejas, relaciones complejas incluyendo restricciones entre el valor de la opción y el valor del activo subyacente y formas de pérdida complicadas, como las que varían con el tiempo y con el valor del activo subyacente.

Éstas ventajas están presentes en el modelo binomial de valoración de opciones, un calculador de opciones que utiliza el método de la programación dinámica.

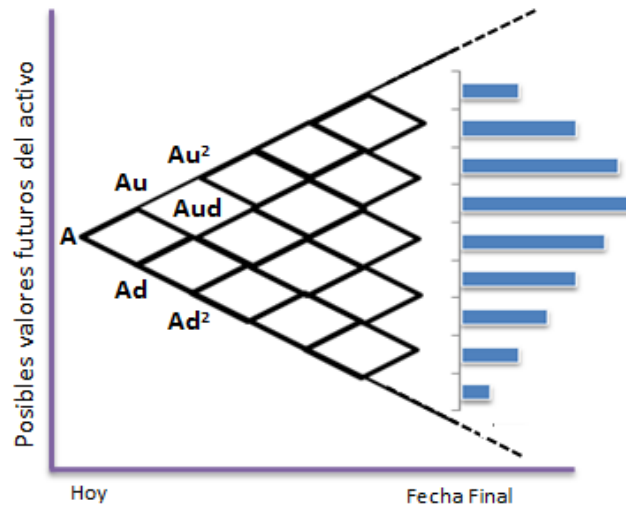
#### 4.4.2.1 Modelo binomial

Amram y Kulatilaka (2000), explican que el modelo binomial de valoración de opciones, se basa en una simple representación de la evolución del valor del activo subyacente. En cada periodo de tiempo, el activo subyacente sólo puede tomar uno o dos valores posibles. Tal como muestra la gráfica 12, sus movimientos hacia arriba o hacia abajo definen las posibles trayectorias.

En la versión más generalizada, el modelo binomial multiplicativo de la incertidumbre, el activo tiene un valor inicial,  $A$ . Si se introduce el riesgo de los precios, dentro de un breve periodo de tiempo bien se mueve hacia arriba hacia  $Au$  que viene de up, cuando los precios suben o bien se mueve hacia abajo hasta  $Ad$  que viene de down, cuando los precios bajan. En el periodo siguiente, los posibles valores del activo son  $Au^2$ ,  $Aud$  o  $Ad^2$ .

$$u = e^{\sigma}; d = e^{-\sigma}$$

La medida de riesgo es la desviación estándar de los cambios en los precios reales medidos con logaritmos naturales.



Gráfica 12: Árbol binomial.  
Fuente: Amram y Kulatilaka (2000)

La gráfica 12 representa el árbol binomial y su transformación en una distribución de resultados en la fecha final. Cada barra de la distribución se sitúa en un único resultado posible, la altura de barra es la frecuencia con la que se puede obtener ese resultado entre todas las posibles trayectorias del árbol binomial.

La representación binomial de la incertidumbre es muy flexible. A medida que el intervalo de tiempo entre los cambios de valor se hace más corto, la distribución final de resultados se hace más uniforme.

Se eligen los valores específicos de los parámetros de manera que la distribución final resultante se corresponda con la realidad empírica. Por ejemplo, cuando se aplica el método de la neutralidad frente al riesgo al modelo binomial, la rentabilidad esperada del activo subyacente es el tipo de interés libre de riesgo,  $r$ , pero su volatilidad,  $v$ , será la misma que la observada en la economía real.

Con tasa compuesta continua, la rentabilidad esperada durante cada periodo es:

$$\frac{pAu + (1 - p)Ad}{(1 + r)} = A$$

La probabilidad, ( $p$ ), mide los resultados de obtener una tasa de rentabilidad libre de riesgo y se denomina probabilidad de neutralidad frente al riesgo.

Del mismo modo, igualando la varianza de la rentabilidad del modelo binomial a la varianza de la distribución normal observada se tiene:

$$pu^2 + (1 - p)d^2 - (pu + (1 - p)d)^2 = \sigma^2$$

Una solución a las ecuaciones anteriores que asume que el activo subyacente tiene movimientos simétricos hacia arriba y hacia abajo se obtiene mediante:

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

Actualizar los valores.

La última etapa en la valoración binomial de opciones consiste en actualizar los valores del futuro al presente. La actualización de los valores empieza en el periodo final. En cada nodo se elige la estrategia óptima y el valor de dicha estrategia es actualizado con respecto al periodo previo utilizando el tipo de descuento libre de riesgo y las probabilidades de neutralidad frente al riesgo,  $p$ .

El modelo binomial de valoración de opciones tiene 3 ventajas:

La primera, es que puede desencadenar una gran cantidad de aplicaciones de las opciones reales, incluidas todas aquellas que tienen cierta complejidad.

En segundo lugar, el modelo es práctico para muchos usuarios porque, aunque es consistente con la teoría de valoración de las opciones, mantiene la apariencia del análisis del flujo de caja descontado.

La tercera es que la incertidumbre y las consecuencias de las decisiones contingentes se describen de una forma natural; el modelo binomial genera buenas imágenes visuales.

#### **4.4.3 Modelos de simulación.**

Los modelos de simulación comprenden miles de posibles trayectorias de evolución del activo subyacente de la opción, desde el momento presente hasta la fecha de decisión final. En el comúnmente utilizado método de simulación Monte Carlo, al final de cada trayectoria se determina la estrategia de inversión óptima y se calcula el retorno. El valor actual de la opción se calcula a partir de la media de dichos retornos y actualizando después el valor de esa media al momento presente.

Los modelos de simulación no son muy adecuados en el caso de las opciones americanas, opciones reservadas o series de opciones, porque con cada decisión posible se inicia una nueva trayectoria.

#### **4.5 Evolución de la metodología tradicional.**

Cuando valoramos un proyecto de inversión, realizamos una previsión de todos los flujos de caja que promete generar en el futuro y procedemos a calcular su valor actual con objeto de poder compararlo con el desembolso inicial que implica la realización de dicho proyecto. Como se mencionó anteriormente, uno de los criterios de comparación más comúnmente empleados es el del valor actual neto (VAN).

Se puede redefinir la regla de decisión del VAN que, recomienda aceptar un proyecto cuando el valor de una unidad de capital es superior a su costo de adquisición e instalación. Esta regla es incorrecta por que ignora el costo de oportunidad de realizar la inversión ahora, renunciando a la opción de esperar para obtener nueva información. Por tanto,

para que un proyecto de inversión sea efectuable el valor de los flujos de caja esperados deberá ser superior a su costo de adquisición e instalación, al menos, en una cantidad igual al valor de mantener viva la opción de inversión.

Dicho de otro modo, el valor global de un proyecto de inversión en la actualidad, llámese VAN total (mientras que denominaremos VAN básico al clásico valor actual neto), será igual a:

$$\text{VAN total} = \text{VAN básico} + \text{VA (opciones implícitas)}$$

Como se puede observar el cálculo del VAN básico es un dato necesario para poder valorar las opciones reales implícitas; de hecho, ambos juegan un papel esencial en el presupuesto de capital. Es así que las limitantes del VAN (no tomar en cuenta las opciones y nula flexibilidad) se reducen. Sin embargo, la limitante de la información para evaluar una empresa Start-Up, continúa.

La valoración de proyectos de inversión a través de la metodología de las opciones reales se basa en que la decisión de invertir puede ser alterada fuertemente por: el grado de irreversibilidad, la incertidumbre asociada y el margen de maniobra del decisor.

En concreto, la valoración de las opciones reales es más importante cuando:

Existe una gran incertidumbre donde el equipo directivo puede responder flexiblemente a la nueva información. Si la incertidumbre fuese pequeña o no existiese (una inversión en bonos sin riesgo, por ejemplo) las opciones reales carecerían de valor puesto que serían inútiles.

El valor del proyecto está próximo a su umbral de rentabilidad (si el VAN es muy grande casi con toda seguridad el proyecto se realizará sea cuál sea su flexibilidad; por otro lado si el VAN es muy negativo el proyecto será desechado sin hacer caso del valor de la flexibilidad).

La flexibilidad afecta a las decisiones relacionadas con la producción, inversiones en capacidad, marketing, I+D, etc. En la valoración de empresas es especialmente importante en el caso de empresas con un único producto, empresas de extracción o relacionadas con “commodities”, o con graves problemas financieros.

Cuadro 7: Resumen de la importancia de las opciones reales con respecto a la incertidumbre y a la flexibilidad operativa.

		<b>Incetidumbre</b>	
		<b>Probabilidad de recibir nueva información</b>	
<b>Espacio para la flexibilidad operativa.</b> <b>Possibilidad para responder</b>		<i>Baja</i>	<i>Alta</i>
		<i>Alta</i>	Valor de la flexibilidad <b>Moderado</b>
<i>Baja</i>	Valor de la flexibilidad <b>Bajo</b>	Valor de la flexibilidad <b>Moderado</b>	

Fuente: Mascareñas (2008).

En el cuadro 7 se observa que cuando existe más probabilidad para responder a la incertidumbre y se tiene una alta posibilidad de recibir nueva información, mayor será la importancia de las opciones reales. En el caso contrario, las opciones carecerían de valor.

#### 4.6 Los proyectos de inversión analizados como opciones reales.

La posibilidad de realizar un proyecto de inversión tiene un gran parecido con una opción para comprar una acción. Ambos implican el derecho, pero no la obligación, de adquirir un activo pagando una cierta suma de dinero en cierto momento o, incluso, antes. El derecho a comprar una acción recibe el nombre de opción de compra y su sistema de valoración a través de la fórmula desarrollada por Black y Scholes para las opciones de tipo europeo (las que sólo se pueden ejercer en la fecha de vencimiento) que no pagan dividendos, se basa en cinco variables: el precio de la acción (S), el precio de ejercicio (E), el tiempo hasta



el vencimiento ( $t$ ), la tasa de interés sin riesgo ( $r$ ) y la desviación típica de los rendimientos de la acción ( $s$ ).

Por su parte, la mayoría de los proyectos de inversión implican la realización de un desembolso para comprar o realizar un activo; lo que es análogo a ejercer una opción. Así (véase el cuadro 8), la cantidad invertida es el precio de ejercicio ( $E$ ) y el valor del activo comprado o producido es el precio de la acción ( $S$ ), el tiempo que la empresa puede esperar sin perder la oportunidad de invertir es el tiempo hasta el vencimiento ( $t$ ), y el valor del riesgo del proyecto viene reflejado por la desviación típica de los rendimientos de la acción ( $s$ ). El valor temporal viene dado por la tasa de interés sin riesgo ( $r$ ).

Cuadro 8. Resumen de variables proyectos de inversión y opciones reales.

Proyecto de inversión	Variable	Opción de compra
Desembolsos requeridos para adquirir el activo	$x$	Precio del ejercicio
Valor de los activos operativos que se van a adquirir.	$s$	Precio de la acción
Longitud del tiempo que se puede demorar la decisión de inversión.	$t$	Tiempo hasta el vencimiento
Riesgo del activo operativo subyacente	$\sigma^2$	Varianza de los rendimientos
Valor temporal del dinero	$r$	Tasa de interés sin riesgo.

Fuente: Mascareñas (2008)

La posibilidad de posponer una inversión proporciona a la empresa un tiempo adicional para examinar la tendencia de los acontecimientos futuros reduciendo, al mismo tiempo, la posibilidad de incurrir en costosos errores debido a que los acontecimientos se han desarrollado en contra de lo previsto. Cuanto mayor sea el intervalo de tiempo ( $t$ ), que se

tiene de margen para demorar la decisión final, mayor será la posibilidad de que los acontecimientos se desarrollen de forma favorable aumentando la rentabilidad del proyecto. Es evidente, que si dichos acontecimientos fuesen contrarios a los intereses del inversionista, éste renunciaría a realizar el proyecto evitando así una pérdida innecesaria.

En cuanto al riesgo asociado al proyecto ( $\sigma^2$ ), es preciso señalar que cuanto más grande sea, más valiosa será la opción sobre la inversión. Ello se debe a la asimetría existente entre pérdidas y ganancias; así, un aumento de las operaciones hará aumentar la positividad del VAN mientras que un gran descenso de aquéllas no necesariamente hará que el VAN sea negativo (porque, en este caso, se pueden eliminar las pérdidas al no ejercer la opción de inversión).

Claro que hay que tener en cuenta que aunque un aumento del riesgo del proyecto puede aumentar el valor de la opción, en el contexto del presupuesto de capital, podría aumentar el coeficiente de volatilidad *beta* del activo y reducir el valor actual neto del escenario base a través del incremento de la tasa de descuento.

Por ello, habrá casos en que el aumento de valor de la opción supere al descenso del VAN básico pero existirán otros en que ocurra exactamente lo contrario. Concretando, un aumento del valor de la opción de invertir no significa que aumente el deseo de hacerlo, puesto que el aumento del riesgo reduce el deseo de invertir (o retrasa la decisión de inversión) debido a que el incremento en el valor de la oportunidad de inversión se debe, precisamente, al valor de la espera.

Por tanto, el aumento del valor de la opción de inversión refleja exactamente la necesidad de esperar todo lo que se pueda antes de proceder a realizar el proyecto de inversión.

#### **4.7 Opciones reales para Start-Up**

La fuente de valor de las empresas Start-Up, consiste en que a futuro pueden ser un gran proyecto, pero en el presente aún no se sabe, es decir, existe un alto grado de

incertidumbre. Las opciones reales dotan de habilidad a la empresa para responder a estos cuestionamientos.

Generalmente el crecimiento se produce en un entorno bastante incierto y las inversiones estratégicas tienen más valor cuando van acompañadas de opciones. Por ejemplo, las pérdidas se pueden evitar utilizando la opción de posponer la inversión o la opción de abandonar el proyecto.

Muchas oportunidades de crecimiento derivan su valor de decisiones de inversión contingentes futuras y son prácticamente imposibles de valorar mediante el análisis de flujo de caja descontado u otros instrumentos tradicionales de valoración.

El caso de la Biorefinería Integral Sinaloa, pretende demostrar cómo el valor de un negocio que se va a montar depende de sus opciones de crecimiento. Éste simple modelo de una opción de crecimiento cubre un amplio rango de aplicaciones, tales como la I+D, nuevas iniciativas empresariales desarrolladas por los miembros de la propia empresa y proyectos plataforma.

El método de las opciones reales demuestra que utilizando inputs realistas, las inversiones que llevan implícitas las opciones de crecimiento tendrán unas rentabilidades esperadas más elevadas que el activo subyacente, siempre y cuando se cumplan. Esto permite explicar las diferencias en el rendimiento de empresas dentro del mismo sector industrial.

# CAPÍTULO 5

## VALORES CRÍTICOS.

El análisis Beneficio/Costo, es el instrumento de valoración preferido de los analistas financieros para decidir si se invierte o no en un proyecto. Recuérdese que si el beneficio  $B$ , dividido entre el costo  $C$ , (ambos a valor presente), si resulta mayor que uno  $\frac{B}{C} > 1$ , entonces se acepta el proyecto, de lo contrario se rechaza. Pero si se toma en cuenta el comportamiento volátil de los precios, ¿cuál sería el valor que debe tener un proyecto con respecto a su inversión?

Según Brambila (2011), 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 más costos tomando en cuenta la volatilidad,  $\sigma^2$  (varianza) y la tendencia (media),  $\bar{x}$ , de los precios reales o flujo de efectivo real.

Esto es, si el valor crítico resulta en 1.4, ésta será la medida mínima de beneficio para decidir si el proyecto se acepta o no; difiere del parámetro 1 con respecto de la relación  $B/C$  debido a que éste considera la volatilidad de los precios reales.

Para calcular el valor crítico de un proyecto, se necesitan los conceptos de procesos estocásticos y sus casos particulares: movimiento Browniano, ecuación de Bellman y lema de Ito.

### 5.1 Procesos estocásticos.

Dixit y Pindyck (1994) explican que se denomina *proceso estocástico* a toda variable que evoluciona a lo largo del tiempo de forma total o parcialmente aleatoria.

Un ejemplo de proceso estocástico es la temperatura en México, aumenta durante el día y disminuye durante la noche; aumenta en el verano y desciende en invierno; su variación es parcialmente determinística y parcialmente aleatoria. Otro ejemplo, es la variación del precio de las acciones de Vitro, que evoluciona de forma aleatoria, pero a largo plazo tiene una tasa de crecimiento esperada positiva, que compensa a los inversores por el riesgo que corren al poseer el activo financiero.

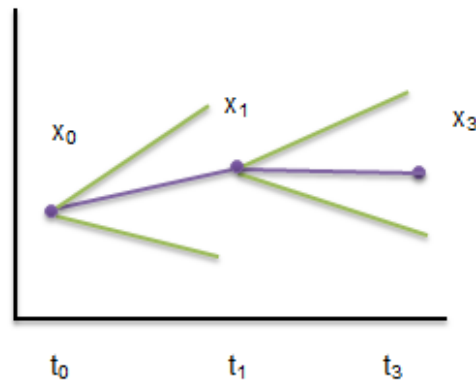
Es decir, un proceso estocástico se define por una ley de probabilidad que gobierna la evolución de una variable  $x$  (temperaturas, rendimientos, variación de los tipos de interés etc.) a lo largo de un horizonte temporal  $t$ . De tal manera que para diferentes momentos del tiempo  $t_1 < t_2 < t_3 \dots$  podemos obtener la probabilidad de que los valores correspondientes  $x_1, x_2, x_3 \dots$  se sitúen dentro de un rango específico como por ejemplo:

$$Prob [a_1 < x_1 \leq b_1]$$

$$Prob [a_2 < x_2 \leq b_2]$$

$$Prob [a_3 < x_3 \leq b_3]$$

Cuando se llegue al momento  $t_i$  y se observe el valor correspondiente de  $x_i$ , se puede condicionar la probabilidad de futuros sucesos a la luz de esta información, tal como se puede apreciar en la gráfica 13.



Gráfica 13: Probabilidad de “ $x$ ” dado “ $t$ ”.

Fuente: Mascareñas 2008

Los procesos estocásticos pueden ser clasificados de acuerdo al tiempo y a las variables.

Cuadro 9: Clasificación de los procesos estocásticos.

TIEMPO	<i>Tiempo discreto</i>	Cuando el valor de la variable sólo puede cambiar en una serie de momentos determinados del tiempo (por ejemplo, los sorteos de la lotería tienen lugar en determinadas fechas).
	<i>Tiempo continuo</i>	Cuando el valor de la variable puede cambiar en cualquier momento del tiempo (la temperatura, por ejemplo).
VARIABLE	<i>Variable continua</i>	La variable puede tomar cualquier valor comprendido en un rango (la temperatura, por ejemplo)
	<i>Variable discreta</i>	La variable sólo puede tomar determinados valores o estados discretos (los mercados financieros cotizan sus activos con unos precios que oscilan: de peso en peso o de punto en punto.).

Fuente: Elaboración propia con información de Dixit y Pindyck 1999.

La temperatura en México es un *proceso estocástico estacionario*, es decir, que las propiedades estadísticas de esta variable son constantes durante largos períodos de tiempo. De tal manera que, aunque la temperatura esperada para mañana pueda depender en parte de la de hoy, la temperatura media esperada el 1 de Enero del próximo

año y su varianza, no depende de la temperatura actual; su valor es similar al de la temperatura del 1 de Enero del año pasado y a su varianza.

Por otra parte, las acciones de Vitro son un ejemplo de un *proceso estocástico no estacionario*, porque el valor esperado de las mismas puede crecer sin límites, lo que implica también que la varianza del precio en el año  $T$  va aumentando conforme aumente  $T$ .

Tanto la temperatura en México como el rendimiento de las acciones de Vitro son *procesos estocásticos continuos en el tiempo*, porque el índice del tiempo  $t$  es una variable continua (dado que las variables varían continuamente a los largo del tiempo). Por el contrario, los *procesos estocásticos discretos en el tiempo*, son aquellos en los que los valores de las variables sólo varían en momentos determinados (discretos) del tiempo.

## 5.2 Casos particulares de los procesos estocásticos.

### 5.2.1 Proceso de Markov

Mascareñas (2008) habla acerca de los casos especiales de los procesos estocásticos, uno de ellos es el proceso de Markov, un tipo particular de proceso estocástico en el que únicamente el estado actual es relevante a la hora de predecir el estado futuro. Es decir, la historia pasada del proceso y la forma en que el presente ha emergido del pasado son irrelevantes.

Más formalmente, el valor esperado de una variable aleatoria  $x_t$  en el instante  $t$ , depende únicamente del valor previo,  $x_{t-1}$ .

Gracias a dicha propiedad se puede simplificar mucho el análisis de los procesos estocásticos.

Se supone habitualmente que los precios de las acciones siguen un proceso de Markov. Esta propiedad de Markov de los precios de las acciones se corresponde con la denominada “eficiencia débil del mercado”. Dicha eficiencia débil establece que el precio

actual de la acción encierra toda la información contenida en el registro de los precios del pasado.

Así, por ejemplo, si el precio de las acciones de Vitro sigue un proceso de Markov y su valor actual es de 10 pesos, las predicciones no se verán afectadas por el precio de Vitro de hace una semana, un mes, etcétera (estos datos pasados sí son importantes para calcular la varianza o desviación típica que permitan definir las propiedades estadísticas del precio de Vitro – su volatilidad– pero lo que es irrelevante es el sendero que dichos precios siguió en el pasado). La propiedad de Markov implica que la distribución de probabilidad del precio en cualquier momento futuro del tiempo no depende del sendero concreto que dicho precio siguió en el pasado.

### 5.2.2 El Proceso de Wiener

El *proceso de Wiener* es un *proceso estocástico de tiempo continuo*. Una variable  $x_t$  se dice que sigue un proceso de Wiener si cumple la siguiente ecuación:

$$x_t = x_{t-1} + \varepsilon_t \sqrt{\Delta t} \dots \dots \dots (1)$$

Donde

$X_0$  = es conocido

$T = t - 1 + \Delta t$

$\varepsilon_t$  = sigue una distribución de probabilidad  $N(0,1)$

$\varepsilon_t$  = es independiente de  $\varepsilon_s$  para todo  $t \neq s$

Para un intervalo temporal  $\Delta t$  dado, el incremento de la variable aleatoria  $\Delta x$  se distribuye según una normal de media 0 y varianza  $\Delta t$ .

$$\Delta x \sim N(0, \Delta t)$$



Según Mascareñas 2008 el proceso de Wiener cuenta con 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. El proceso de Wiener no es estacionario por que a largo plazo su varianza tenderá a infinito. Si  $\Delta t$  tiende a ser infinitamente pequeño ( $\Delta t \rightarrow 0$ ), el incremento en el proceso de Wiener,  $dz$ , en tiempo continuo es igual a:

$$dz = \varepsilon_t \sqrt{dt} \dots\dots\dots (2)$$

Como  $\varepsilon_t$  tiene una media nula y una desviación típica unitaria, entonces  $E[dz]$  será igual a cero y su varianza será  $\sigma^2[dz] = dt$ . El proceso de Wiener no tiene una derivada convencional con respecto al tiempo:  $\frac{dz}{dt} = \varepsilon_t (\Delta t)^{-\frac{1}{2}}$ , que tiende a infinito conforme  $dt$  se aproxime a cero. En resumen, la relación entre  $dz$  y  $dt$  viene dada por:  $dz = \varepsilon_t \sqrt{dt}$  donde  $\varepsilon_t$  es una variable aleatoria normalmente distribuida con una media nula y una desviación típica igual a la unidad.

3. 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 ( $dz$ ) para cualesquiera dos pequeños intervalos de tiempo ( $dt$ ) son independientes.

Por lo tanto el proceso de Wiener se puede considerar como una versión en tiempo continuo de un recorrido aleatorio.

Al hablar de acciones es lógico suponer que los precios no varían de acuerdo a una distribución normal, entre otras cosas, porque éste nunca podrá ser menor a cero. Por el contrario, es más lógico conjeturar que los cambios en los precios (los rendimientos) siguen una distribución logarítmico-normal o *lognormal*, es decir, que los cambios en los logaritmos naturales de los precios se distribuyen según una normal.

Lo que significa modelar el logaritmo natural del cambio del precio como un proceso de Wiener en lugar del propio precio. De aquí surge la importancia del proceso de Wiener ya sirve para modelar un gran número de variables que varían continuamente o estocásticamente a través del tiempo.

### 5.2.3 Movimiento Browniano Aritmético.

Un movimiento Browniano aritmético (MBA) es un proceso estocástico definido en términos de un proceso generalizado de Wiener del modo siguiente:

$$x_t - x_{t-1} = dx = adt + bdz \dots\dots\dots(3)$$

donde:

$a$  y  $b$  son constantes

$dz = \varepsilon_t \sqrt{\Delta t}$  es un proceso de Wiener.

La constante  $a$  representa la tasa esperada de cambio de la variable  $x$  por unidad de tiempo. En efecto, si se eliminara el segundo sumando se tendría que:

$$x_t - x_{t-1} = dx = adt$$

El término  $bdz$  “perturba” la tendencia marcada por  $adt$ . Dicha perturbación es  $b$  veces un proceso de Wiener  $dz$ . Un proceso de éste tipo tiene una desviación típica igual a la unidad, por lo que  $b$  veces un proceso de Wiener tendrá una desviación típica igual a  $b$ .

Como  $dz$  es un proceso de Wiener, sigue una distribución de probabilidad normal de media 0 y varianza  $dt$ . Entonces  $dx$  seguirá también una distribución normal. Para un intervalo temporal  $dt$  dado, el incremento de la variable aleatoria  $dx$  se distribuye según una normal de media  $adt$  y varianza de  $b^2dt$ .

$$dx \sim N(adt, b^2dt)$$

Por tanto, el movimiento Browniano aritmético mostrado en la ecuación (3) tiene una tendencia por unidad de tiempo de  $a$  y una varianza por unidad de tiempo de  $b^2$ .

#### 5.2.4 El proceso de Ito

Es un proceso de Wiener generalizado en el que los parámetros  $a$  y  $b$  son, a su vez, funciones del valor de la propia variable y del tiempo, es decir, de  $x$  y de  $t$ .

$$dx = a(x, t)dt + b(x, t) \varepsilon_t \sqrt{dt} \dots\dots\dots (4)$$

Donde nuevamente aparece el incremento de Wiener y  $a(x, t)dt$  y  $b(x, t)$  son funciones conocidas. La diferencia radica en que, la tendencia esperada y la varianza del proceso de Ito varían a lo largo del tiempo.

El proceso estocástico continuo en el tiempo  $x(t)$  representado en la ecuación (4) es el denominado “proceso de Ito”.

#### 5.2.5 Movimiento Browniano Geométrico.

Un caso importante de la ecuación (4) es el movimiento Browniano geométrico con tendencia. Se tiene  $a(x, t) = \alpha x$  y  $b(x, t) = \sigma x$ , donde  $\alpha$  y  $\sigma$  son constantes.

En este caso la ecuación (4) se transforma en:

$$dV = \alpha V dt + \sigma V dz \dots\dots\dots (5)$$

Donde

$\alpha$  y  $\sigma$  constantes

$dz = \varepsilon_t \sqrt{dt}$  es un proceso de Wiener.

La variable  $dV$  indica la variación en el precio del activo  $V$  en un intervalo de tiempo  $dt$  y  $\varepsilon$  es una variable aleatoria que se distribuye según una normal (0,1). La tasa de rendimiento esperada por unidad de tiempo del activo es  $\alpha$  y la volatilidad del activo viene representada por  $\sigma$ . Se supone que estos dos últimos parámetros son constantes.

El lado izquierdo de la ecuación muestra el rendimiento proporcionado por el activo en un corto intervalo temporal  $dt$ . El término  $\alpha dt$  indica el valor esperado de este rendimiento, y el término  $\sigma \varepsilon_t \sqrt{dt}$  es el componente estocástico de dicho rendimiento. La varianza del componente estocástico (y, por ende, del rendimiento) es  $\sigma^2 dt$ ; y  $\sigma \sqrt{dt}$  es la desviación típica del rendimiento en un corto plazo de tiempo  $dt$ . Por lo tanto  $dV$  está normalmente distribuido con una media  $\alpha dt$  y una desviación típica  $\sigma \sqrt{dt}$ :

$$dV \sim N(\alpha dt; \sigma \sqrt{dt})$$

Desde el punto de vista aplicado, la ecuación (5) implica que el valor actual del proyecto es conocido, pero los valores futuros son distribuidos lognormalmente con una varianza que crece de manera lineal con el horizonte del tiempo.

Dixit y Pindyck interpretan esto para una evaluación empresarial diciendo que aunque la información llega a través del tiempo (la firma observa cambios en  $V$ ), el valor futuro del proyecto es siempre incierto, por lo tanto recalcan que la ecuación (5) es claramente una abstracción de muchos proyectos reales. Por ejemplo, suponga que el proyecto es de una fábrica de plásticos con alguna capacidad. Si los costos variables son positivos y los directivos tienen la versión de cerrar temporalmente la empresa cuando el precio de salida es menor a los costos variables, y/o la opción de abandonar completamente el proyecto,  $V$

no seguirá un movimiento Browniano geométrico aunque el precio de los plásticos si lo haga.

Si el costo variable es positivo y los directivos no tienen la opción de cerrar,  $V$  Se puede volver negativo, lo cual se encuentra en conflicto nuevamente con el supuesto de la lognormalidad.

### 5.2.6 Lema de Ito.

Hablando en términos generales, el Lema de Ito se puede considerar la regla de cadena del cálculo estocástico. Se ha visto que el proceso Ito en la ecuación (4) es continua en el tiempo, pero no es diferenciable. Sin embargo, a menudo se necesitará trabajar con funciones del proceso Ito y se buscará tomar los diferenciales de tales funciones.

El lema de Ito es fácil de entender como una serie de expansión de Taylor. Suponga que  $x(t)$  sigue el proceso de la ecuación (4), y considera una función  $F(x, t)$  que es al menos diferenciable una vez en  $x$  y dos veces en  $t$ . Se busca encontrar el diferencial total de esta solución,  $dF$ . Las reglas usuales de cálculo definen este diferencial en términos de cambios de primer orden en  $x$  y en  $t$ :

$$dF = \frac{\partial F}{\partial x} dx + \frac{\partial F}{\partial t} dt.$$

Pero suponiendo que también se incluyen términos de orden superior para cambios en  $x$ :

$$dF = \frac{\partial F}{\partial x} dx + \frac{\partial F}{\partial t} dt + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} dx^2 + \frac{1}{6} \frac{\partial^3 F}{\partial x^3} dx^3 + \dots (6)$$

En cálculo ordinario, todos estos términos de orden superior desaparecen en el límite. Para ver si eso también es el caso aquí, se expande el tercero y el cuarto término de la parte derecha de la ecuación (6). Primero, se sustituye la ecuación (4) por  $dx$  para determinar  $(dx)^2$ :

$$(dx)^2 = a^2(x, t)(dt)^2 + 2a(x, t)b(x, t)(dt)^{3/2} + b^2(x, t)dt. (7)$$

Términos en  $(dt)^{\frac{3}{2}}$  y  $(dt)^2$  se convierten en cero tan rápido como  $dt$  se vuelve infinitésimamente pequeño, así que es posible ignorar estos términos y escribir

$$(dx)^2 = b^2(x,t)dt.$$

De igual manera que con el cuarto término de la ecuación (6), cada término en la expansión de  $(dx)^3$  incluirá un  $dt$  elevado a una potencia mayor que uno, lo cual se convertirá en cero más rápido que  $dt$  en el límite. Éste es también el caso para cualquier término de orden superior, tal como  $(dx)^4$ , etc. Por lo tanto el lema de Ito da el diferencial  $dF$  como:

$$dF = \frac{\partial F}{\partial t} dt + dt \frac{\partial F}{\partial x} dx + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} dx^2 \dots (8)$$

Se puede también escribir esto en su forma expandida sustituyendo la ecuación (4) por  $dx$ :

$$dF = \left[ \frac{\partial F}{\partial t} dt + a(x,t) \frac{\partial F}{\partial x} + \frac{1}{2} b^2(x,t) \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} \right] dt + b(x,t) \frac{\partial F}{\partial x} dz \dots (9)$$

En resumen el lema de Ito dice como se mueve el precio de la opción cuando cambia el precio de la acción por lo tanto es utilizado en muchos modelos incluido Black-Scholes.

### 5.2.7 Programación dinámica y la ecuación de Bellman

La programación dinámica es una metodología para resolver problemas intertemporales, muy utilizado en problemas que incluyen incertidumbre acerca de valores futuros (Obstfeld y Rogoff 1998)

La programación dinámica supone que existe una ecuación de valor  $V$  (que puede asumirse diferenciable bajo ciertas condiciones) comúnmente llamada ecuación de Bellman, la cual, es el principio básico de la programación dinámica, llamado el principio de optimalidad de Bellman, el cual expresa que. *“Una política óptima tiene la propiedad de que, cualesquiera que sean el estado y las decisiones iniciales tomadas, las restantes decisiones deben constituir una política óptima con independencia del estado de la primera decisión”*; este principio

señala que. “El rendimiento  $\lambda$  de la inversión  $F$  en un intervalo de tiempo  $dt$ , esto es  $\lambda F dt$ , debe ser igual a su valor esperado (Domínguez, 2009)

$$\lambda F dt = \epsilon(dF) \dots\dots\dots (10)$$

Note que la partición que surge a partir del planteo de la ecuación de Bellman facilita la solución y la intuición en modelos que incluyen incertidumbre, ya que en tal caso la incertidumbre estará restringida a la función de valor correspondiente al período  $t + 1$  (claramente no hay incertidumbre en  $t$ ) y el problema se vuelve lineal y puede llegar a simplificarse. No obstante, la solución de un problema utilizando ecuación de Bellman es más un arte que una ciencia, en muchos casos problemas simples se pueden resolver de forma recursiva empezando desde el  $T$  final, en otros casos la función de valor no puede ser determinada unívocamente. No obstante, para nuestro objetivo, la resolución del modelo básico, nos permite captar la idea intuitiva detrás del método de resolución de programación de Bellman.

### 5.3 OPORTUNIDADES DE INVERSIÓN Y TIEMPO DE INVERSIÓN.

#### 5.3.1 El modelo básico.

Dixit y Pindyck (1994) hacen un análisis tomando como base el modelo de MacDonal y Siegel (1986), los cuales consideraron el siguiente problema: en qué punto es óptimo realizar una inversión irreversible  $I$ , en un proyecto cuyo valor es  $V$ , dado que  $V$  evoluciona de acuerdo al siguiente movimiento geométrico Browniano:

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

donde:

$V$  = valor del proyecto

$dV$  = movimiento del valor del proyecto

$\alpha$  = promedio de las tasas continuas de movimiento de los precios reales

$\sigma^2$  = varianza del valor del proyecto.

$dz$  = incremento de un proceso de Wiener, con las condiciones siguientes:

$$\varepsilon(dz) = 0,$$

$$dz = \varepsilon\sqrt{t},$$

$$dt^2 = 0,$$

$$E(\varepsilon_t \varepsilon_{t-1}) = 0.$$

El valor esperado de  $dz$  es cero,  $dz$  es un valor aleatorio en el tiempo y los incrementos de tiempo,  $dt$ , al cuadrado o elevados a números mayores son cero. La variable  $\varepsilon$  tiene un comportamiento al azar con media cero, varianza cero y no está correlacionada en los periodos. Si la desviación estándar es cero, entonces  $\frac{dv}{v}$  es la tasa de crecimiento  $\alpha$ .

Es el caso general donde la incertidumbre  $\sigma > 0$ . El problema es determinar cuál es el punto óptimo para invertir  $I$  a cambio de un valor de activos  $V$ . Ya que  $V$  evoluciona estocásticamente, no se va a poder determinar un tiempo  $T$ . En vez de eso la regla de inversión tomará la forma de un valor crítico  $V^*$  en el cual es óptimo invertir una vez que  $V \geq V^*$ . Como se puede apreciar, un valor más grande de  $\sigma$ , resultará en un valor más grande de  $V^*$ .

### 5.3.2 Solución por programación dinámica.

Se tiene un problema de parada óptima en el tiempo continuo, porque la oportunidad de invertir,  $F(V)$ , no produce flujos de efectivo hasta el tiempo  $T$  en que la inversión se ha llevado a cabo, la única ganancia por mantenerse firme es su plusvalía de capital.

Definiendo a  $F$  como el valor de la inversión y  $\lambda$  como la tasa de descuento, entonces la ecuación de Bellman para la programación dinámica será:



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

En la ecuación (2) se puede observar que a través de un intervalo de tiempo  $dt$ , el valor del incremento de la inversión,  $\lambda F dt$ , es igual al valor esperado,  $\varepsilon$ , del incremento del valor de la inversión.

El valor de la inversión,  $F$ , está en función del valor del proyecto, así;

$$F(V)$$

Las primeras y segundas derivadas:

$$F'(V) \frac{dF}{dV} \qquad F''(V) \frac{d^2F}{dV^2}$$

Se expande  $dF$  de la ecuación (2) usando el lema de Ito.

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

Substituyendo la ecuación (1) para  $dV$  en ésta expresión y teniendo en cuenta que

$$\varepsilon(dz) = 0, \text{ entonces,}$$

$$\varepsilon[dF] = \alpha VF'(V)dt + \frac{1}{2}\sigma^2V^2F''(V)dt.$$

Por lo tanto la ecuación de Bellman (después de dividirla a través de  $dt$ ) se convierte en:

$$\frac{1}{2}\sigma^2V^2F''(V) + \alpha VF'(V) - \lambda F(V) = 0 \dots\dots\dots (3)$$

Se asume que  $\alpha < \lambda$  ó  $\delta > 0$ . Con ésta notación, la ecuación de Bellman se transforma en la siguiente ecuación diferencial que debe ser satisfecha por  $F(V)$ :

$$\frac{1}{2}\sigma^2V^2F''(V) + (\lambda - \delta)V F'(V) - \lambda F(V) = 0 \dots\dots\dots (4)$$

Además,  $F(V)$  debe satisfacer las siguientes restricciones:

$$F(0) = 0 \dots\dots\dots (5)$$

$$F(V^*) = V^* - I \dots\dots\dots (6)$$

$$F'(V^*) = 1 \dots\dots\dots (7)$$

La condición (5) surge de la observación de que si el valor del proyecto  $V$ , es cero, seguirá siendo cero (ésta es una implicación del proceso estocástico (1) para  $V$  por lo tanto la inversión debe ser cero.

Las otras 2 condiciones, surgen de la consideración de inversión óptima.  $V^*$  es el precio al cual es óptimo invertir;

La restricción (6) donde la inversión óptima  $F(V^*)$ , debe ser igual al valor óptimo del proyecto menos inversión  $V^* - I$ , se refiere a que, el valor crítico es lo mínimo que debe valer el proyecto con respecto a la inversión tomando en cuenta la volatilidad de los precios.

Finalmente la restricción (7) es la condición de cambios suaves, si  $F(V)$  no fuera continuo y suave en el punto de ejercicio crítico  $V^*$ , se podría ejercer mejor en un punto diferente. Es decir, no existen “brincos” en la función.

Para encontrar  $F(V)$ , se debe resolver la ecuación (4) sujeto a las restricciones (5)-(7). En este caso la solución es fácil de encontrar; se puede adivinar una forma funcional y determinar por sustitución si esta funciona.

Para satisfacer la condición 5, la solución toma la forma

$$F(V) = AV^{*\beta} \dots\dots\dots (8)$$

Donde  $A$  es la constante a determinar y  $\beta I > 1$  es una constante conocida cuyo valor depende de los parámetros  $\sigma, \rho$  y  $\delta$  de la ecuación diferencial.

Las restricciones restantes, (6) y (7), pueden ser utilizadas para resolver las variables desconocidas, la constante  $A$  y el valor crítico  $V^*$  de modo que:

Sustituyendo  $F(V)$  en la restricción (6) se tiene:

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

Despejando  $A$

$$A = \frac{V^* - I}{V^{*\beta}} \dots\dots\dots (9)$$

Derivando la ecuación (8) y utilizando en la (7) resulta:

$$F'(V^*) = 1 = \beta AV^{*\beta-1} \dots\dots\dots (10)$$

Sustituyendo  $A$  de la ecuación (9) en (10) y reordenando términos, se obtiene:

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

Despejando el valor crítico:

$$V^* = \frac{\beta}{\beta-1} I \dots\dots\dots (11)$$

Si  $\beta > 1$ , entonces  $\frac{\beta}{\beta-1} > 1$ , de cumplirse ésta condición, el proyecto se considera rentable.

Dado que  $\frac{V^*}{I} = \frac{\beta}{\beta-1} > 1$ , se puede deducir que si existe riesgo o incertidumbre el proyecto debe de tener un valor mínimo de  $\frac{\beta}{\beta-1}$  veces superior a la inversión.

Sustituyendo  $V^*$  en la ecuación (11) se tiene:

$$A = \frac{\beta-1\beta^{-1}}{\beta\beta I\beta^{-1}} \dots\dots\dots (12)$$

Ahora, para obtener el valor de  $\beta$  se despeja de la ecuación (3)

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

Dado que

$$F(V) = AV^\beta$$

Su primera y segunda derivada

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

Sustituyendo en la ecuación (3)

$$\frac{1}{2}\sigma^2 V^2 (A\beta(\beta - 1)V^{\beta-2}) + \alpha V(A\beta V^{\beta-1}) - \rho(AV^\beta) = 0$$

Operando

$$\frac{1}{2}A\beta(\beta - 1)\frac{V^\beta}{V^2}\sigma^2 V^2 + A\beta\frac{V}{V^2}(\alpha V) - \rho AV^\beta = 0$$

$$\frac{1}{2}\sigma^2\beta^2 + \left(\alpha - \frac{1}{2}\sigma^2\right)\beta - \rho = 0$$

Nótese que es una ecuación de segundo grado donde

$$a: \frac{1}{2}\sigma^2$$

$$b: \alpha - \frac{1}{2}\sigma^2$$

$$c: -\rho$$

Resolviendo por fórmula general

$$\beta = \frac{-\left(\alpha - \frac{1}{2}\sigma^2\right) \pm \sqrt{\left[\alpha - \frac{1}{2}\sigma^2\right]^2 - \left[4\frac{1}{2}\sigma^2(-\rho)\right]}}{2\left(\frac{1}{2}\sigma^2\right)}$$

$$\beta = \frac{\left(-\alpha + \frac{1}{2}\sigma^2\right) \pm \sqrt{\left[\alpha - \frac{1}{2}\sigma^2\right]^2 + [2\sigma^2\rho]}}{\sigma^2} \dots\dots\dots (13)$$

Para obtener el valor crítico, se utiliza la  $\beta$  que tenga mayor valor positivo.

Concluyendo:

Con las ecuaciones (11)-(13) se obtiene el valor crítico al cual es óptimo invertir en un escenario de volatilidad de precios.

Las variables que son necesarias para resolver  $\beta$  son:

$\alpha$  = el promedio de las tasas continuas de movimiento de los precios reales

$\sigma^2$  = la varianza de las tasas continuas de los movimientos de los precios reales.

$\lambda$  = la tasa de descuento

$I$  = la inversión a valor presente

Un punto importante a considerar es que como  $\beta > 1$ , se tiene  $\beta 1/(\beta 1 - 1) > 1$  y  $V^\circ > I$ , por lo tanto la regla simple del valor presente neto es incorrecta; incertidumbre e irreversibilidad, abren una brecha entre el valor crítico  $V^*$  e  $I$ .

El tamaño de la brecha es el factor  $\beta 1/(\beta 1 - 1)$ , y ésta se vuelve importante para examinar la magnitud para los valores realísticos de los parámetros subyacentes además de la respuesta a los cambios en dichos parámetros.

# CAPÍTULO 6

## EVALUACIÓN DEL PROYECTO

### “BIOREFINERÍA INTEGRAL SINALOA”.

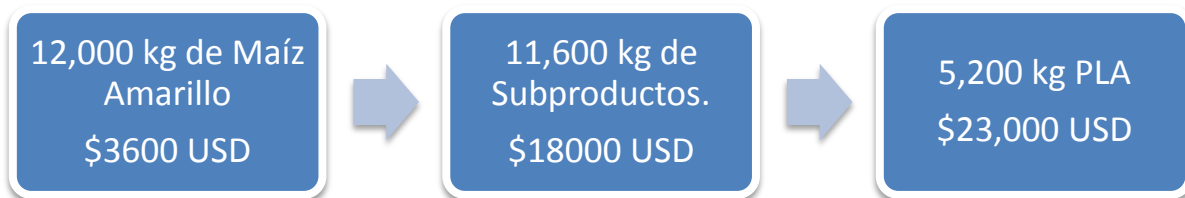
#### 6.1 Evaluación tradicional

Una Biorefinería es una instalación que integra equipo y procesos de conversión de biomasa para producir combustibles, químicos y energía a partir de materiales biológicos. Éste tipo de refinerías han sido identificadas como el camino más prometedor para la creación de bio-industrias.

El proyecto “Biorefinería Integral Sinaloa” consiste en el diseño, construcción y operación de una Biorefinería para la elaboración de ácido poliláctico (PLA), y sus precursores a partir de materias primas renovables de origen agrícola (maíz amarillo) y el aprovechamiento integral, a través de la comercialización de los subproductos relacionados como son los alimentos para el ganado, bióxido de carbono y fertilizantes (Mústieles, 2007)

Además de la sustentabilidad con plásticos “verdes”, ésta empresa busca que los productores de Maíz en Sinaloa, accedan a las cadenas de valor agregado. Una buena opción, como se muestra en el cuadro 11, es la de producir biomateriales (como el PLA). Estos productos se encuentran actualmente en la etapa inicial de su ciclo de vida, por lo que se tiene la oportunidad única de entrar al negocio.

Cuadro 10: Valor agregado del Maíz Amarillo.



Fuente: Mústieles, (2007).

La demanda global de bioplásticos en 2009 era de 400 toneladas, ésta se encuentra creciendo a una tasa aproximada de 20% anual. Hoy en día sólo se producen 200 mil toneladas en todo el planeta (Frost & Sullivan, 2009)

Por lo tanto, la propuesta es que la Biorefinería Integral Sinaloa cuente con una capacidad de producción de 20 mil toneladas de PLA al año. Para producir dicha cantidad, se requieren 45 mil toneladas de Maíz amarillo, de las cuales, se obtendrían 34 mil toneladas de subproductos. Si se tomarán 2 Ton/Ha. Se requeriría una zona de basto de 23000 hectáreas.

El costo de una Biorefinería con maquinaria multivalente para la producción de 20 mil toneladas, es de 100 millones de euros. (Grupo UHDE Inventa-Fischer, 2006). Es una inversión grande e irreversible, por lo cual se esperan apoyo e incentivos fiscales

Los costos de producción son los siguientes:



Cuadro 11: Costos de producción para la producción de 20 mil ton de PLA

Descripción	Porcentaje (%)	Costos (euros/ton)
Costo de Capital	33.9	544.53
Costos de operación fijos	11.7	188.29
Costos de Materia Prima	25.2	405.04
Costo de productos consumibles	6.7	107.8
Costo de utilidades	22.3	358.3
Costo de los desperdicios (y desperdicios de agua)	.1	2.0
<b>Total Costos de Producción</b>		<b>1605.96</b>

Fuente: Mústieles, (2007), Grupo UHDE Inventa-Fischer, (2006).

El precio de venta por tonelada de PLA es de 2980 euros (Frost & Sullivan). Para poder realizar la evaluación, se supondrá que el primer año, se trabaja a media capacidad debido a que inicia el proceso de aprendizaje, a partir del año 2, se considera una capacidad completa para poder satisfacer la demanda del mercado.

Los datos para hacer la evaluación tradicional se encuentran en el siguiente cuadro.

Cuadro 12. Flujo de efectivo Biorefinería Integral Sinaloa.

Planta A (Datos en Euros)					
Año	Ventas	Costos de producción	Permisos e Impuestos	Gastos Administrativos	Flujo de Efectivo
1	29,800,000.00 €	16,059,600.00 €	5,500,000.00 €	3,900,000.00 €	4,340,400.00 €
2	59,600,000.00 €	32,119,200.00 €	11,000,000.00 €	7,800,000.00 €	8,680,800.00 €
3	59,600,000.00 €	32,119,200.00 €	11,000,000.00 €	7,800,000.00 €	8,680,800.00 €
4	59,600,000.00 €	32,119,200.00 €	11,000,000.00 €	7,800,000.00 €	8,680,800.00 €
5	59,600,000.00 €	32,119,200.00 €	11,000,000.00 €	7,800,000.00 €	8,680,800.00 €
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.

Fuente: Mústieles (2007).

Se tomará como base el año 4 debido a que la certeza de la estabilidad del proyecto es mayor.

La tasa de interés real es de 5% (centro de estudios de las finanzas públicas, 2011) y el riesgo se estima del 3% (de cada 100 euros que se invierten, se pierden 3). Por lo tanto, la tasa de descuento, es de 8%.

Se obtiene el valor presente del flujo de los 3 primeros años:

$$\frac{4340400}{1.08} + \frac{8680800}{(1.08)^2} + \frac{8680800}{(1.08)^3} = 18,352,374.64 \text{ €}$$

El flujo de efectivo neto a partir del 4to año es:

$$\frac{8680800}{1.08} = 108,510,000 \text{ €}$$

Llevándolo a valor presente:

$$\frac{108,510,000}{(1.08)^4} = 79,758,089.33 \text{ €}$$

El valor actual neto de este proyecto será:

VAN= Flujo de efectivo total – Inversión.

$$VAN = -100000000 + 18,352,374.64 \text{ €} + 79,758,089.33 \text{ €} = -1,889,536.04 \text{ €}$$

Según la evaluación tradicional, este proyecto **se rechaza**.

## 6.2 Evaluación de Opciones Reales por el método Black-Scholes.

Sin embargo, existe otra opción; la opción real de crecimiento, la cual consiste en que si los precios, u otras condiciones del mercado, resultan ser mucho más favorables que lo inicialmente esperado, la dirección podría acelerar sus planes de expansión de la producción incurriendo en un costo adicional.

Esto es lo mismo que adquirir una opción de compra sobre una parte adicional del proyecto base con un precio de ejercicio igual a  $X$ . Por tanto, la oportunidad de inversión

con la opción de ampliación incorporada puede ser contemplada como un proyecto de inversión inicial o base más una opción de compra sobre una inversión futura.

La opción de ampliar la escala productiva puede ser estratégicamente importante de cara a posibilitar a la compañía la capitalización de las futuras oportunidades de crecimiento. Esta opción, que sólo será ejercida cuando el comportamiento futuro del mercado se vuelva claramente favorable, puede hacer que un proyecto de inversión aparentemente desaconsejable (basado en el VAN básico) tenga un valor positivo.

Por lo tanto, se supondrá que dada la fuerte demanda insatisfecha, los altos precios del petróleo y una legislación cada vez más inclinada por el uso de bioplásticos, La Biorefinería Integral Sinaloa, tiene la oportunidad de aumentar la tasa de producción en un 100%. Es decir, estableciendo una nueva planta de producción con la misma capacidad que la anterior (20 mil ton.) pagando un costo de 100 millones de euros. Así a la llegada del año 4, el equipo directivo puede elegir entre continuar con la escala de producción actual o ampliarla.

Para calcular la opción de expandir, se usa una opción de compra, call, que es el derecho de expandir, pero no la obligación.

Se tienen los siguientes datos:

X= el valor del proyecto en el cuarto año, (una planta de producción adicional), 100 millones de euros.

S= el valor de la opción hoy si decido invertir, se obtiene del flujo de efectivo de la primera planta  $18,352,374.64 \text{ €} + 79,758,089.33 \text{ €} = 98,110,463.93 \text{ €}$  y se multiplica por el número de unidades (en éste caso, 1), pero ahora consideramos que está a valor del año 4, que es cuando se decide invertir. Note que todos estos datos, están a valor del año en que los directivos deciden expandir. Se lleva el flujo al año cero  $98,110,463.93 / (1.08)^4 = 72,114,119.89 \text{ €}$ , y da como resultado el valor del activo subyacente.

t = 4 años.

$r$  = tasa de descuento libre de riesgo .05

$\sigma^2$  = la volatilidad de los precios del maíz (calculada en tasas continuas) es de 0.0116, se le suma una tasa de 3% debido a la incertidumbre, dando un total de 0.3116

$\sigma$  = la desviación estándar es de .55822

Las fórmulas para calcular el valor de la opción de compra con el modelo Black-Scholes son:

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

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

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

Resolviendo:

$$d_1 = \frac{\ln \frac{72114119.89}{100000000} + \left(.05 + \frac{1}{2} \cdot .3116\right)(4)}{.558227(\sqrt{4})} = .4445$$

$$d_2 = .445 - .5582(\sqrt{4}) = -.6719$$

Para calcular  $N(d_1)$  y  $N(d_2)$ , se utiliza la tabla de distribución normal estandarizada.

$$N(.4445) = .67 \quad N(-.6719) = .2514$$

$$C = 72,114,119.89 (.67) - 100,000,000e^{-.05(4)}(.2514) = 27,734,342.32$$

El valor de expandirse si las cosas van bien es de 27,734,342.32

El VAN total es el valor neto tradicional más el valor de la opción. Esto es:

$$VAN_{TOTAL} = -1,889,536.04 + 27,734,342.32 = 25,844,806.3$$

El uso de la opción crea infraestructura y oportunidad de expandirse, es por ello que cuenta con un alto valor estratégico. Ahora el proyecto con opciones reales de crecimiento, debe ser aceptado.

### 6.3 Estimación de valores críticos para el proyecto Biorefinería Sinaloa.

Se sabe que el proyecto debe ser aceptado, ahora es importante encontrar el beneficio máximo que debe tener el proyecto tomando en cuenta la volatilidad, es decir, el valor crítico.

El proyecto Biorefinería Integral Sinaloa, depende de la volatilidad de los precios de insumos tanto nacionales como internacionales de la caña, la papa y el maíz y de los precios del petróleo y los petroquímicos. Así que para realizar la estimación de los valores críticos, son necesarios los siguientes indicadores en tasas de crecimiento:

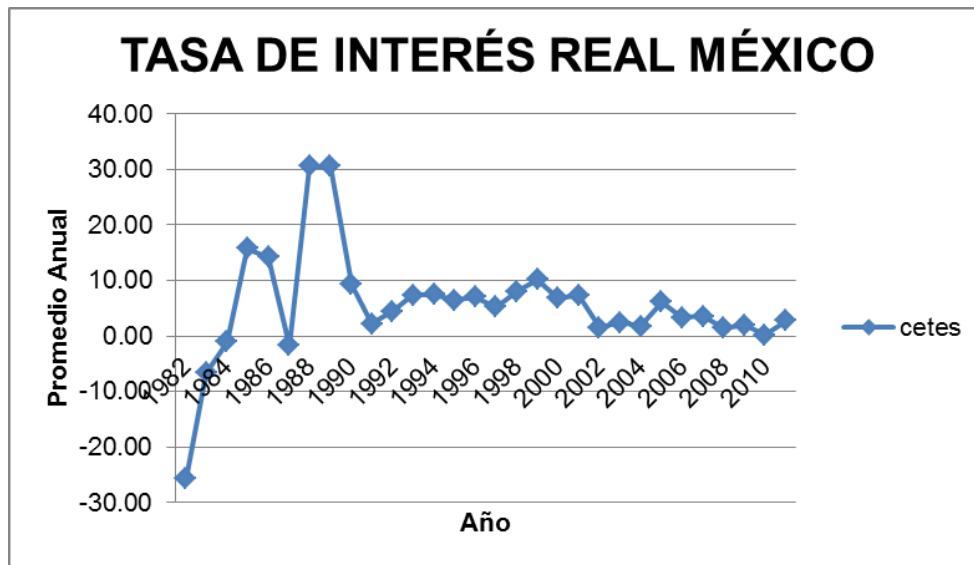
Cuadro 13: Relación precios nacionales e internacionales de los insumos contra combustibles fósiles.

Q1	Precio nominal del maíz/Precio nominal del petróleo
Q2	Precio nominal de la papa/ Precio nominal del petróleo
Q3	Precio nominal de la caña/Precio nominal del petróleo
Q1'	Precio nominal del maíz/Precio nominal de los petroquímicos
Q2'	Precio nominal de la papa/Precio nominal de los petroquímicos
Q3'	Precio nominal de la caña/Precio nominal de los petroquímicos.

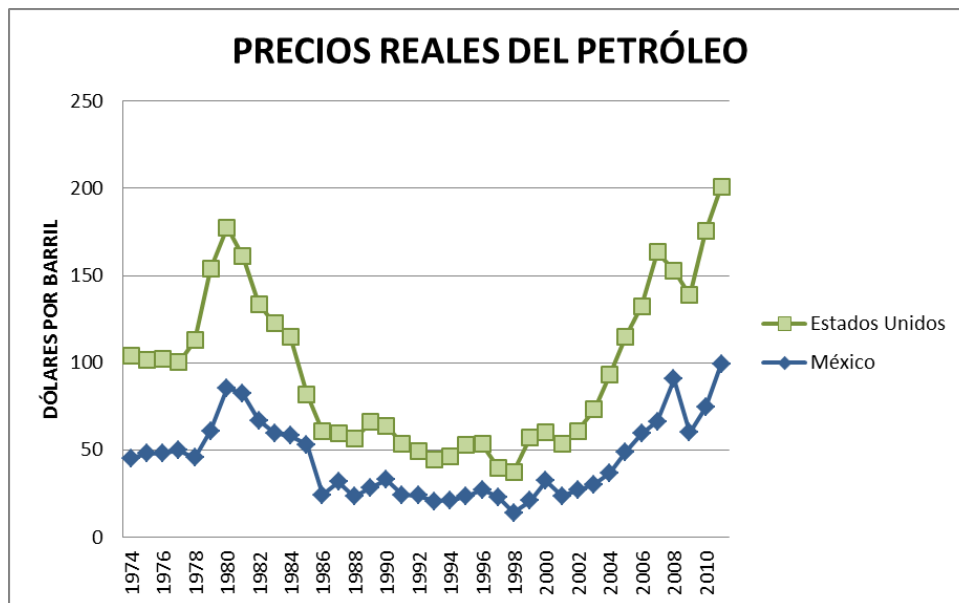
Fuente: elaboración propia

En dichas relaciones se puede observar que si el precio de los combustibles fósiles (petróleo y petroquímicos) aumenta,  $Q$  disminuye. Una menor  $Q$  favorece el proyecto de los bioplásticos. Todos los datos tanto los de México como los de Estados Unidos se presentarán en dólares para poder realizar la comparación.

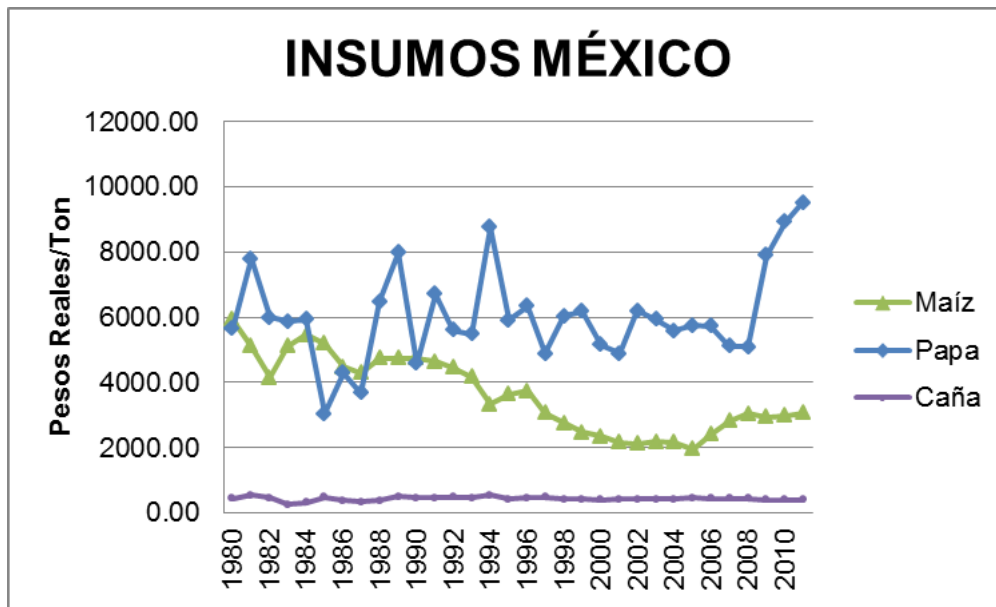
Para efectos de mayor objetividad en el análisis, se manejarán los periodos de largo plazo, (1980 – 2011) y mediano plazo (1980 – 2000 y 2000 – 2011). Esto debido a que los precios reales de los commodities en general iban a la baja, pero a partir del año 2000 se han presentado cambios significativos que han fomentado su crecimiento. En cuanto a la tasa de interés real, se observa un alza durante el primer periodo, sin embargo actualmente, ésta ha ido disminuyendo. La tasa del primer periodo era del 7%, actualmente es de 3.3% y en general la tasa de todo el periodo se considera de 5%.



Gráfica 14: Disminución de la Tasa de interés libre de riesgo real a partir del año 2000  
 Fuente: Elaboración propia con información del Centro de estudios de las finanzas públicas (2011)

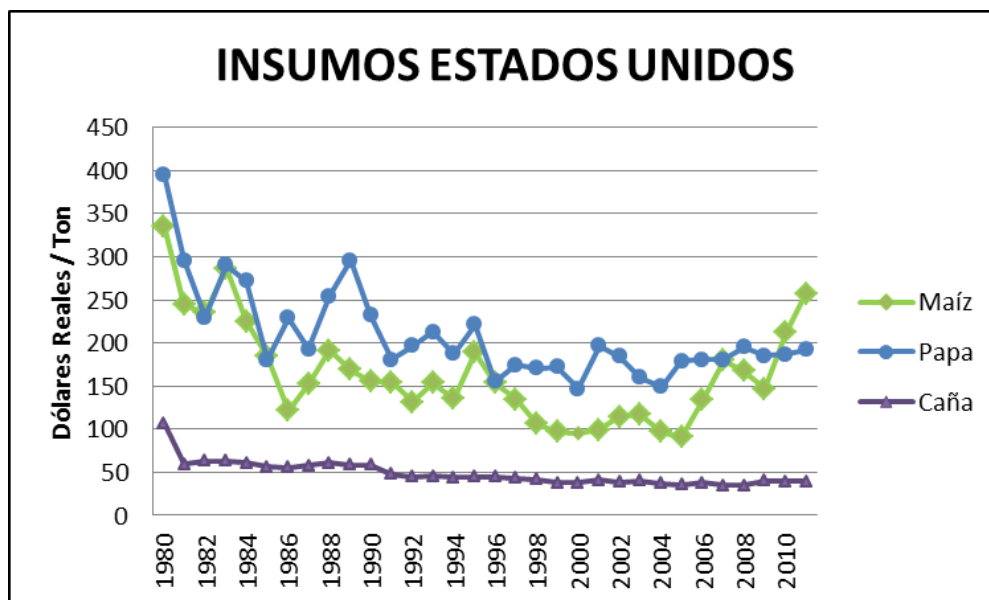


Gráfica 15: Aumento de los precios reales del petróleo a partir del año 2000 en México.  
 Fuente: Elaboración propia. Información de U.S Energy Information Administration (2011).



Gráfica 16: Baja de los precios reales durante el periodo (1980 – 2000) y su crecimiento durante el periodo (2000 – 2011) en México.

Fuente: Elaboración propia con información de la FAOSTAT (2011)



Gráfica 17: Baja de los precios reales durante el periodo (1980 – 2000) en Estados Unidos.

Fuente: Elaboración propia con información de la FAOSTAT (2011)

Con las relaciones de precios y los periodos ya establecidos, se procede a obtener las tasas de crecimiento utilizando la siguiente fórmula.

$$\ln \frac{P_t}{P_{t-1}} = \text{Tasa de crecimiento}$$

Los cuadros se incluyen en el anexo.

Se obtienen la media y la varianza de las tasas de crecimiento, la media indica la tendencia y la varianza, la incertidumbre. En éste estudio, los cálculos fueron realizados en Excel.

Para conocer beta, se aplica la fórmula:

$$\beta = \frac{\left(-\alpha + \frac{1}{2}\sigma^2\right) \pm \sqrt{\left[\alpha - \frac{1}{2}\sigma^2\right]^2 + [2\sigma^2\rho]}}{\sigma^2}$$

Y se utiliza aquella que tenga mayor valor positivo.

Con los datos anteriores y resolviendo la ecuación  $V^* = \frac{\beta}{\beta-1} I$  ya se pueden calcular los valores críticos.



Cuadro 14: Estimación de los valores críticos para la Biorefinería Integral Sinaloa. Precios nacionales.

MÉXICO						
		PROMEDIO	VARIANZA	BETA	VALOR CRÍTICO	INVERSIÓN 150 MILL DÓLARES
PETRÓLEO vs INSUMO	Q1	-0.02394449	0.04768473	2.76321955	1.567144348	156714434.8
	Q2	0.00433962	0.17322986	1.3709644	3.695676491	369567649.1
	Q3	-0.00909368	0.08938876	1.81860904	2.221584362	222158436.2
PETRÓLEO vs INSUMO PERIODO 1980-2000	Q1	-0.00446289	0.06449377	2.14867329	1.870569561	187056956.1
	Q2	0.03735795	0.23981271	1.18223969	6.48727886	648727886
	Q3	0.03685628	0.12399758	1.28450933	4.514823201	451482320.1
PETRÓLEO vs INSUMO PERIODO 2000-2010	Q1	-0.07469078	0.03119664	6.13332387	1.194805554	119480555.4
	Q2	-0.05128878	0.08259174	2.55477459	1.643180049	164318004.9
	Q3	-0.10703924	0.04553092	5.94562944	1.202198732	120219873.2
PETRÓQUÍMICO vs INSUMO	Q1	-0.02518657	0.03861267	3.13157789	1.469136034	146913603.4
	Q2	0.02623744	0.09473104	1.27439501	4.644381093	464438109.3
	Q3	-0.01633266	0.04467973	2.59393854	1.627376763	162737676.3
PETRÓQUÍMICO vs INSUMO PERIODO 1980-2000	Q1	-0.05874473	0.02817881	5.99777761	1.200088935	120008893.5
	Q2	0.02350349	0.11843856	1.42982095	3.326550152	332655015.2
	Q3	-0.00456822	0.04899017	2.38479991	1.722125988	172212598.8
PETRÓQUÍMICO vs INSUMO PERIODO 2000-2011	Q1	0.00532085	0.04614353	2.16850453	1.855794718	185579471.8
	Q2	0.02872285	0.07316577	1.49487283	3.020721168	302072116.8
	Q3	-0.02702761	0.04457304	3.19561524	1.455453205	145545320.5

Fuente: Elaboración propia

Nótese que:

- A mayor valor de beta, menor el valor crítico.
- A mayor varianza, mayor será el valor crítico que se requiera.
- Cuando beta tiende a uno, el valor crítico se hace más grande
- Cuando la incertidumbre es muy elevada, es posible que se rechace invertir en el proyecto debido a que el valor crítico será muy grande.

Cuadro 15: Estimación de los valores críticos para la Biorefinería Integral Sinaloa. Precios internacionales.

ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA						
		PROMEDIO	VARIANZA	BETA	VALOR CRÍTICO	INVERSIÓN 150 MILL DÓLARES
PETRÓLEO vs INSUMO	Q1	-0.03558786	0.06621539	2.64572793	1.607633851	160763385.1
	Q2	-0.03533657	0.10317746	2.13823885	1.878550226	187855022.6
	Q3	-0.06457081	0.09614006	2.72497494	1.579718568	157971856.8
PETRÓLEO vs INSUMO PERIODO 1980-2000	Q1	-0.01597253	0.07470719	2.25765928	1.795127915	179512791.5
	Q2	-0.0025664	0.14067018	1.64243835	2.556569595	255656959.5
	Q3	-0.00481397	0.08198797	1.97988784	2.020524958	202052495.8
PETRÓLEO vs INSUMO PERIODO 2000-2010	Q1	-0.00280801	0.06671637	1.67483889	2.481835163	248183516.3
	Q2	-0.06852092	0.07026824	3.24014827	1.446399023	144639902.3
	Q3	-0.09011262	0.07675839	3.58762374	1.38645495	138645495
PETRÓQUÍMICO vs INSUMO	Q1	0.01288311	0.04154866	1.7529014	2.328195168	232819516.8
	Q2	-0.02012608	0.03701766	2.99066039	1.502345857	150234585.7
	Q3	-0.03047049	0.02173841	4.76814495	1.265382572	126538257.2
PETRÓQUÍMICO vs INSUMO PERIODO 1980-2000	Q1	-0.02025075	0.02191612	4.3250114	1.300750849	130075084.9
	Q2	-0.01728586	0.03713864	3.13379016	1.468649646	146864964.6
	Q3	-0.01525824	0.00603703	8.71564419	1.129606806	112960680.6
PETRÓQUÍMICO vs INSUMO PERIODO 2000-2011	Q1	-0.04300481	0.05749106	2.34780849	1.74194517	174194517
	Q2	-0.0227081	0.03689368	2.85712858	1.538465678	153846567.8
	Q3	-0.0442998	0.03561077	3.95644366	1.338244227	133824422.7

Fuente: Elaboración propia

#### 6.4 Análisis de resultados.

México.

Los valores críticos se interpretan como lo mínimo que se exige al proyecto por peso invertido. Por ejemplo en el caso de México, si la Refinería Sinaloa, decide elaborar PLA con maíz, será necesario que obtenga 1.56 dólares por cada dólar invertido.

En el primer periodo de 1980-2000, el producto que mostraba menor volatilidad y por lo tanto menor valor crítico, fue el maíz seguido por la caña y finalizando con la papa. Aquí, los precios de dichos insumos iban a la baja.

Sin embargo en el segundo periodo, 2000-2011, cuando disminuyeron las tasas de descuento, aumentaron los valores críticos, esto se explica porque los flujos de efectivo aumentan al ser actualizados a una tasa menor. Además, en éste periodo, los precios reales de los commodities han ido en aumento debido a la escasez del petróleo y a los cambios climáticos que merman la producción de cultivos.

Sigue siendo conveniente utilizar el maíz, sin embargo, sus precios continúan creciendo y no así los de la caña, por lo que sería importante alternar cultivos dependiendo de la temporada. Se recomienda la actualización de las tasas de crecimiento para seguir el comportamiento de los insumos, ya que la tendencia es que la caña se estabilice y el maíz siga a la alza. La papa se descarta porque los valores críticos son demasiado altos.

Estados Unidos de América.

En el largo plazo, en promedio, es más conveniente la elaboración de PLA con caña, debido a que ésta tiene menor valor crítico, le sigue el maíz y la papa.

En el mediano plazo, de 1980 al 2000, tanto la caña como el maíz eran factibles para la elaboración de PLA, ya que en promedio, sus valores críticos son similares, diferenciándose sólo por decimales.

Pero del 2000 al 2011, periodo más importante por ser el actual, el maíz sale de la competencia ya que éste cultivo presenta mayor incertidumbre. En Estados Unidos tanto la papa como la caña, presentan menor varianza y su tendencia es a la baja, por lo tanto los valores críticos son menores. Se recomienda el uso de la caña, seguida de la papa.

# CAPÍTULO 7

## CONCLUSIONES

Las nuevas realidades empresariales, —proyectos que deben adaptarse a las condiciones cambiantes del mercado; empresas innovadoras que van comenzando (Start-Up); inversiones estratégicas con niveles de incertidumbre considerables y enormes necesidades de capital— necesitan nuevos instrumentos para su correcta evaluación. Los valores críticos y las opciones reales constituyen una filosofía y un método importantes en relación a la valoración y a la toma de decisiones contingentes; decisiones para invertir o desinvertir que dependen del curso de los acontecimientos.

Existe evidencia de que los métodos de valoración tradicional subvalúan a las empresas Start-Up y que los inversionistas que confían en dichos instrumentos pueden estar rechazando éste tipo de proyectos, muchas veces prometedores, o estar limitando su crecimiento al invertir menos de lo que deberían. Ésta limitación se puede corregir teniendo en cuenta el valor de las opciones de crecimiento en las inversiones. La metodología de opciones reales no desplaza a la teoría de evaluación de proyectos tradicionales, sino que ambas se complementan.

Los instrumentos tradicionales por sí solos pueden utilizarse cuando los cambios futuros son predecibles, mientras que un análisis de opciones reales es necesario cuando hay un nivel de incertidumbre significativo, para lo cual, se utilizan distintas variables para determinar la tendencia y las fluctuaciones inciertas de la misma.

Desde el punto de vista tradicional, cuanto mayor es el nivel de incertidumbre, menor es el valor del activo. El punto de vista de las opciones reales, demostró que una mayor incertidumbre puede provocar un valor superior del activo si los directivos logran identificar y utilizar sus opciones para responder con flexibilidad al desarrollo de los acontecimientos. Es decir, flexibilidad e incertidumbre se encuentran correlacionadas de manera positiva.

No obstante, el método de las opciones reales no siempre es necesario, especialmente cuando algunas decisiones no son complicadas, o bien, cuando la inversión es increíblemente valiosa o cuando es un auténtico desastre, en cuyos casos el análisis de las opciones reales no va a cambiar el resultado.

La naturaleza aleatoria de la evolución del valor de un proyecto depende de múltiples variables, los valores críticos se interpretan como lo mínimo que se exige al proyecto por peso invertido, y toman en cuenta variables como la volatilidad y la tendencia de los precios reales o del flujo de efectivo real. Es decir, permiten calcular las inversiones bajo riesgo.

El integrar al análisis tradicional las metodologías de opciones reales y valores críticos, permite aumentar el valor mediante la gestión de inversiones estratégicas en un mundo con alto grado de incertidumbre.

# BIBLIOGRAFÍA

Amram, M., Kulatilaka, N. (1999). **Real Options Managing Strategic Investment in an Uncertain World**. Harvard Business School Press. Boston Massachusetts.

Black, F. & Scholes, M. (1973). **The Pricing of Options and Corporate Liabilities**. Journal of Political Economy. N° 81. Mayo-Junio. Pp. 637-659.

Boyle P. (1976). **Options: A Monte Carlo Approach**. Journal Financial Economics. No.4. Pp. 323-338

Brabazon, T. (1999). **Real Options: Valuing flexibility in capital investment decisions**. Accountancy Ireland. Quantitative Analysis. Pp. 461-474.

Brambila, J. (2011). Bioeconomía. Instrumentos para su análisis económico. Editorial SAGARPA-COLPOS.

Braskem (2011). **Química sustentable: Productos Verdes**. [www.braskem.com.br](http://www.braskem.com.br). 21 Febrero. Español.

Castro, L. (2011). **El Futuro de los Bioplásticos**. Mundo Material. [www.mundomaterial.eu](http://www.mundomaterial.eu). 5 Enero. Español

CEFP. (2011). Centro de Estudios de las Finanzas Públicas. [http://www.cefp.gob.mx/intr/e-stadisticas/copianewe\\_stadisticas.html#9](http://www.cefp.gob.mx/intr/e-stadisticas/copianewe_stadisticas.html#9). 2 Marzo. Inglés.

Copeland, T. y Antikarov, V. (2001). **Real Options: A Practitioner's Guide**. Thomson Texere. USA.

Cox, J. Ross, S. y Rubinstein, M. (1979). **Options Pricing: A Simplified Approach**. **Journal of Financial Economics**. N° 7. Pp. 229-263.

Damoradan, A. (2009). **Investment Valuation: Tools and Techniques for Determining the Value of Any Asset**. Second Edition. John Wiley & Sons. NY.

Dixit, A. y Pindyck, R. (1994). **Investment under uncertainty**. First Edition. Princeton University Press. Princeton, NY. 476 p.

Domínguez, A. (2009). **Utilización de Opciones Reales en Proyectos de Inversión Agrícolas**. Tesis. Doctorado en Economía, Socioeconomía, Estadística e Informática. Colegio de Postgraduados. México.

European Bioplastics. (2011). **Bioplastics Environment & Market**. en.european-bioplastics.org. 15 Enero. Inglés.

FAOSTAT. (2011). Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://faostat.fao.org/site/570/DesktopDefault.aspx?PageID=570#ancor>. 18 Mayo. Inglés.

Frost & Sullivan. (2009). **Strategic Assessment of the Bioplastics Market in Brazil and Mexico**. Research.

Graham, J.; Harvey, C. (2001). **The Theory and Practice of Corporate Finance: Evidence from the Field**. Journal of Financial Economics n° 60. Pp 187-243.

Hull, J. & White, L. (1988). **The Use of the Control Variate Technique in Option Pricing**. Journal Financial and Quantitative Analysis. Pp 237-251.

Jim Lunt & Associates. (2010). **Introduction to Bioplastics**. [www.slideshare.net/jimlunt/introduction-to-bioplastics](http://www.slideshare.net/jimlunt/introduction-to-bioplastics). 26 Enero. Inglés.

Kulatilaka, N., & L. Trigerorgis (1994). **The general flexibility to switch: Real options revisited**. International journal of Finance. Pp. 27-54.

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 p.

Mascareñas, J. (2008). **Procesos Estocásticos: el proceso de Wiener**. Documentos de trabajo de la Universidad Complutense de Madrid. España. 12 p.

MacDonal, R., Siegel, D. (1986). **The Value of Waiting to Invest**. **The Quarterly Journal of Economics**. Volume 10. 728 p.

McGrath, R. & MacMillan C. (2000). **The Entrepreneurial Mindset**. Boston, MA. Harvard Business School Press.

Medina, R. (2005) **Plásticos Biodegradables**. Revista ¿Cómo ves? UNAM. México.

Merton (1973). **Theory of Rational Option Pricing**. **Bell Journal of Economics and Management Science**. N°. 4. Pp. 141-183.

Mustieles, A. (2007). Una Visión de Futuro. Biorefinería Integral Sinaloa. Presentación del Grupo Desarrollador Sinaloa. Junio 2011. 23 p.



Mustieles, A. (2010). Proponen Producir Bioplásticos a base de Maíz. Periódico Noroeste. Febrero.

Mun, J. (2002). **Real Options Analysis, Tools and Techniques for Valuing Strategic Investments and Decisions**. John Wiley & Sons, Inc. NY.

Myers, S. (1977). **Determinants of Corporate Borrowing**. Journal of Financial Economics. Pp. 147-175.

Myers, S. (1984). **Finance Theory and Financial Strategy**. Interfaces Vol. 14 (enero-febrero). Pp 126-137.

Natureworks (2011). The Ingeo Eco Profile. [www.natureworkslc.com/The-Ingeo-Journey](http://www.natureworkslc.com/The-Ingeo-Journey). 6 Febrero. Inglés.

Obstfeld, M. & Rogoff, K.(1998). **Foundations of International Macroeconomics**. Harvard University, Cambridge. 718 p.

Pindyck R. (1988). **Irreversible Investment, Capacity Choice, and the Value of the Firm**. American Economic Review, American Economic Association. No. 78. Pp 969-985.

PlasticsEurope. (2011) PlasticsEurope, WG Market Research & Statistics. [www.plasticseurope.org](http://www.plasticseurope.org). 2 Junio. Inglés.

Placticsnews. (2011). Resin Historical Pricing. [www.plasticsnws.com](http://www.plasticsnws.com). 28 Abril. Inglés

Smith, K., y A. Triantis (1998). **The value of options in strategic acquisitions, in**

Sosa, A. (2003). **Los plásticos: Materiales a la medida**. Revista ¿Cómo ves? UNAM. México.

Stevens, E. (2002). **Green Plastics: An Introduction to the New Science of Biodegradable Plastics**. Princeton University Press. Princeton, New Jersey.

Suárez, A. (1996) **Decisiones óptimas de inversión y financiación en la empresa**. Pirámide. Madrid. (17ª ed.). Capítulo 10.

Trigeorgis, L. (1991). **A Long Transformed Binomial Numerical Analysis Method for Valuing Complex Multi-Option Investments**. Journal Financial and Quantitative Analysis. Pp. 309-326.

**Trigeorgis, L., (1999)**. Real Options and Business Strategy. Applications to Decision Making. Risk Books. London.

U.S Energy Information Administration. (2011). Petroleum and other liquids. [www.eia.gov](http://www.eia.gov). 5 Julio. Inglés.

# ANEXOS

<b>México: C e t e s<sup>1</sup>, (tasa de interés real anual<sup>2</sup>), 1982-2011</b> (tasa anual, promedio mensual y anual)													
Periodo	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	PROMEDIO
1982									-9.73	-22.09	-18.80	-52.11	-25.68
1983	-50.96	-6.87	3.75	-14.28	8.09	14.07	0.07						-6.59
1984													n.d.
1985		-1.52	8.80	22.21	30.62	36.00	25.52	17.39	18.10	16.96	8.89	-9.01	15.82
1986	-27.09	19.95	22.85	18.35	13.90	7.38	32.88	-0.46	30.94	33.69	14.50	4.24	14.26
1987	-0.39	9.86	16.35	-10.51	0.97	4.60	-5.35	-7.03	10.69	-8.77	8.39	-38.79	-1.67
1988	-22.06	62.14	38.92	29.04	33.62	16.78	21.89	34.52	40.90	41.32	39.14	30.23	30.54
1989	23.01	37.71	40.39	36.70	40.97	50.53	40.76	25.72	25.16	21.79	24.16	0.05	30.58
1990	-14.76	19.12	28.14	29.31	16.89	5.98	8.97	9.51	13.64	11.89	-6.65	-10.89	9.26
1991	-6.57	2.19	4.97	8.80	8.26	5.22	8.08	8.62	5.68	3.94	-12.13	-10.76	2.19
1992	-6.20	0.34	-0.37	1.74	5.80	7.08	8.95	9.45	7.27	11.21	8.42	-0.20	4.46
1993	1.66	8.16	10.93	9.59	8.44	9.08	8.35	7.46	4.89	8.50	9.43	2.64	7.43
1994	1.21	3.31	3.60	10.32	11.03	10.61	12.34	9.19	5.31	7.51	7.53	8.21	7.52
1995	-7.37	-8.45	-1.13	-17.71	9.00	9.25	17.40	16.06	8.80	16.40	25.59	9.62	6.46
1996	-2.06	10.83	15.74	1.07	6.65	8.45	14.93	10.93	4.74	11.17	11.81	-10.32	7.00
1997	-6.90	-0.36	6.85	8.62	7.66	9.86	8.59	8.50	3.08	8.58	6.87	2.03	5.28
1998	-7.70	-2.21	5.88	8.01	8.61	5.38	8.76	11.57	23.14	18.87	11.22	4.36	7.99
1999	1.80	13.20	12.91	9.59	13.35	13.93	12.43	14.60	8.34	10.70	6.41	4.47	10.14
2000	0.08	5.24	7.20	6.24	10.10	8.83	9.40	8.94	6.43	7.83	7.48	4.09	6.82
2001	11.77	19.73	8.46	9.23	9.57	6.78	13.29	0.40	-1.82	2.96	2.94	4.72	7.34
2002	-3.99	9.04	1.09	-0.79	4.25	1.45	4.00	2.13	0.12	2.39	-2.36	1.66	1.58
2003	3.46	5.84	1.60	5.96	9.55	4.29	2.86	0.85	-2.37	0.71	-4.82	0.90	2.40
2004	-2.46	-1.59	2.23	4.24	10.06	4.74	3.72	-0.20	-2.51	-0.55	-2.00	6.18	1.82
2005	8.90	5.26	4.06	5.47	13.57	11.34	5.01	8.47	4.47	6.11	0.07	0.85	6.13
2006	0.84	5.92	6.02	5.54	13.15	6.15	3.79	0.91	-4.89	1.81	0.74	0.10	3.34
2007	0.84	3.74	4.52	8.01	13.98	5.91	2.10	2.33	-2.07	2.54	-1.01	2.50	3.62
2008	1.87	3.92	-1.25	4.80	9.11	2.61	1.24	1.25	-0.01	-0.43	-5.97	-0.29	1.40
2009	4.90	4.55	0.13	1.86	9.18	2.80	1.33	1.63	-1.52	0.88	-1.69	-0.46	1.96
2010	-8.14	-2.41	-3.97	8.61	12.85	5.08	2.00	1.19	-1.84	-3.31	-5.46	-1.62	0.25
2011	-1.69	-0.46	1.98	4.46	14.09	4.52	-1.60	2.17	1.29				2.75

1/ Certificados de la Tesorería de la Federación a 28 días; es una tasa de interés pasiva -Instituciones de ahorro no bancarios- en México. Títulos de crédito al portador denominados en moneda nacional a cargo del Gobierno Federal. El Decreto mediante el cual la Secretaría de Hacienda y Crédito Público fue autorizada a emitir Cetes apareció publicado en el Diario Oficial de la Federación del 28 de noviembre de 1977, el cual fue abrogado por el Decreto publicado en el Diario Oficial de la Federación el 8 de julio de 1993.

Promedio a largo plazo, 5.67

México Dlls/Barril	
Año	Precio Petróleo Nominal Dlls.
1980	31.19
1981	33.18
1982	28.67
1983	26.42
1984	26.82
1985	25.33
1986	11.86
1987	16.04
1988	12.24
1989	15.61
1990	19.09
1991	14.58
1992	14.88
1993	13.2
1994	13.88
1995	15.7
1996	18.94
1997	16.46
1998	10.17
1999	15.57
2000	24.86
2001	18.61
2002	21.52
2003	24.78
2004	31.14
2005	42.69
2006	53.04
2007	61.66
2008	84.58
2009	57.44
2010	72.33
2011/6	99.29

E.U. Dlls/Barril	
Año	Precio Petróleo Nominal Dlls
1980	33.86
1981	37.10
1982	33.57
1983	29.31
1984	28.88
1985	26.99
1986	13.93
1987	18.14
1988	14.60
1989	18.07
1990	21.73
1991	18.73
1992	18.21
1993	16.13
1994	15.54
1995	17.14
1996	20.62
1997	18.49
1998	12.07
1999	17.27
2000	27.72
2001	21.99
2002	23.71
2003	27.73
2004	35.89
2005	48.89
2006	59.05
2007	67.19
2008	92.57
2009	59.04
2010	75.87
2011/6	100.46

México Dólares Nominales por tonelada			
Año	Maíz	Papa	Caña
1980	218.77	208.66	16.22
1981	227.46	347.01	24.10
1982	165.69	239.34	18.41
1983	166.66	191.65	8.33
1984	202.66	220.54	11.92
1985	206.67	120.89	19.50
1986	154.62	148.04	13.16
1987	170.88	146.05	13.14
1988	172.06	235.86	13.64
1989	190.11	320.10	19.90
1990	216.53	209.41	21.33
1991	234.27	338.98	23.53
1992	245.92	309.26	26.82
1993	246.53	323.89	27.93
1994	194.36	512.57	31.70
1995	170.12	276.06	19.32
1996	188.83	319.29	23.34
1997	170.99	273.07	26.92
1998	158.28	347.68	24.34
1999	152.08	381.16	25.76
2000	159.48	351.08	27.01
2001	155.31	351.98	30.97
2002	155.45	455.94	31.03
2003	149.97	405.71	29.09
2004	148.77	384.26	29.12
2005	144.80	423.87	33.34
2006	184.46	438.44	34.13
2007	223.46	405.69	34.90
2008	253.11	422.02	35.86
2009	207.36	559.03	28.70
2010	243.05	704.34	31.52
2011	280.09	797.62	33.23

Estados Unidos Dólares Nominales por tonelada			
Año	Maíz	Papa	Caña
1980	122.44	144.00	39.00
1981	98.42	119.00	24.00
1982	100.39	98.00	27.00
1983	126.37	128.00	28.00
1984	103.54	125.00	28.00
1985	87.79	86.00	27.00
1986	59.05	111.00	27.00
1987	76.37	97.00	29.00
1988	100.00	133.00	32.00
1989	92.91	162.00	32.00
1990	89.76	134.00	34.00
1991	93.30	109.00	29.00
1992	81.49	122.00	28.00
1993	98.42	136.00	29.00
1994	88.97	123.00	29.00
1995	127.55	149.00	30.00
1996	106.69	108.00	31.00
1997	95.66	124.00	31.00
1998	76.37	123.00	30.00
1999	71.65	127.00	28.00
2000	72.83	112.00	29.00
2001	77.56	154.00	32.00
2002	91.33	147.00	31.00
2003	95.27	130.00	33.00
2004	81.10	125.00	31.00
2005	78.74	155.00	31.00
2006	119.68	161.00	34.00
2007	165.35	166.00	32.00
2008	159.84	186.00	33.00
2009	139.76	176.00	38.00
2010	204.71	180.00	38.00
2011	255.89	191.00	39.00

Comparativo de Cultivos México en Pesos a Largo Plazo						
Año	Q1=Precio del Maíz/ Precio del Petróleo		Q2=Precio de la Papa/ Precio del Petróleo		Q3=Precio de la Caña/ Precio del Petróleo	
	Tasa Continua		Tasa Continua		Tasa Continua	
1974	6.841611996		6.841611996		0.468603561	
1975	7.143597838	0.043193173	5.530527359	-0.212740202	0.46087728	-0.016625323
1976	7.838607054	0.092844599	7.007786952	0.236738778	0.614084424	0.287000613
1977	9.304986088	0.171489248	8.88188309	0.236991642	0.754369686	0.205750132
1978	9.473101045	0.017905918	13.34432022	0.407077249	0.797015713	0.054991846
1979	7.739666559	-0.202097707	7.669505275	-0.553838731	0.620488849	-0.250366761
1980	7.014179175	-0.09842491	6.689953319	-0.136645216	0.519879389	-0.176910793
1981	6.85536039	-0.022902812	10.45845607	0.446803948	0.726281672	0.334341077
1982	5.779386064	-0.170733425	8.348002093	-0.225388605	0.642154007	-0.123109756
1983	6.307914209	0.087507609	7.25410134	-0.140455229	0.31539571	-0.711000087
1984	7.556391796	0.180588732	8.223132249	0.125384178	0.444493635	0.343107662
1985	8.159284736	0.07676271	4.772411826	-0.544099388	0.769743843	0.549122052
1986	13.03728645	0.468656931	12.48250831	0.961476528	1.109556294	0.365657691
1987	10.65335639	-0.201938445	9.105432808	-0.315457082	0.819488953	-0.303034562
1988	14.05685816	0.277235406	19.26975952	0.749665756	1.11448236	0.307464408
1989	12.17872836	-0.143419549	20.50606398	0.062183644	1.275123268	0.134652808
1990	11.34235907	-0.071146545	10.9698678	-0.625568423	1.1174738	-0.131972253
1991	16.06786758	0.348277168	23.24954531	0.751133352	1.613604807	0.367400084
1992	16.52711642	0.028180976	20.78377189	-0.112113091	1.802563288	0.110739015
1993	18.67655227	0.122266397	24.53729328	0.16602165	2.115703187	0.160177532
1994	14.00314493	-0.287986906	36.9290255	0.408803706	2.284049554	0.076562754
1995	10.83565194	-0.256440139	17.58312751	-0.742058063	1.230422016	-0.618592775
1996	9.969887108	-0.083272543	16.85779378	-0.042126689	1.232514267	0.00169899
1997	10.38838886	0.041119465	16.58996545	-0.016015067	1.635749264	0.283044763
1998	15.56350792	0.404240212	34.18697802	0.72304679	2.393723487	0.380749133
1999	9.767730621	-0.46584478	24.48045884	-0.333969611	1.654602512	-0.369289292
2000	6.415236276	-0.42040833	14.12245349	-0.550109224	1.086506197	-0.420593582
2001	8.345644281	0.263063931	18.91372616	0.292121933	1.663952371	0.426228495
2002	7.223422909	-0.144410832	21.18662182	0.113482026	1.441797138	-0.143305371
2003	6.051950278	-0.176948348	16.3724331	-0.257770924	1.173734238	-0.205700025
2004	4.777418915	-0.236480155	12.33991087	-0.282760216	0.934996936	-0.22740235
2005	3.391863432	-0.342520969	9.929046102	-0.217374384	0.780902398	-0.18009308
2006	3.477797411	0.02501971	8.266277288	-0.18328015	0.643491986	-0.1935406
2007	3.624047121	0.041192225	6.579530266	-0.228220906	0.566016205	-0.128286864
2008	2.992506192	-0.191480163	4.989634925	-0.276600609	0.423964935	-0.288971957
2009	3.60995806	0.187584927	9.732496401	0.668107685	0.499604488	0.164166011
2010	3.36025828	-0.071678315	9.737817654	0.000546602	0.435794693	-0.136645515
2011/6	2.820960077	-0.17494056	8.033251879	-0.19242762	0.334718828	-0.263880385

Comparativo de Cultivos México en Pesos a Mediano Plazo						
Año	Q1=Precio del Maíz/ Precio del Petróleo		Q2=Precio de la Papa/ Precio del Petróleo		Q3=Precio de la Caña/ Precio del Petróleo	
		Tasa Continua		Tasa Continua		Tasa Continua
1980	7.014179175		6.689953319		0.519879389	
1981	6.85536039	-0.022902812	10.45845607	0.446803948	0.726281672	0.334341077
1982	5.779386064	-0.170733425	8.348002093	-0.225388605	0.642154007	-0.123109756
1983	6.307914209	0.087507609	7.25410134	-0.140455229	0.31539571	-0.711000087
1984	7.556391796	0.180588732	8.223132249	0.125384178	0.444493635	0.343107662
1985	8.159284736	0.07676271	4.772411826	-0.544099388	0.769743843	0.549122052
1986	13.03728645	0.468656931	12.48250831	0.961476528	1.109556294	0.365657691
1987	10.65335639	-0.201938445	9.105432808	-0.315457082	0.819488953	-0.303034562
1988	14.05685816	0.277235406	19.26975952	0.749665756	1.11448236	0.307464408
1989	12.17872836	-0.143419549	20.50606398	0.062183644	1.275123268	0.134652808
1990	11.34235907	-0.071146545	10.9698678	-0.625568423	1.1174738	-0.131972253
1991	16.06786758	0.348277168	23.24954531	0.751133352	1.613604807	0.367400084
1992	16.52711642	0.028180976	20.78377189	-0.112113091	1.802563288	0.110739015
1993	18.67655227	0.122266397	24.53729328	0.16602165	2.115703187	0.160177532
1994	14.00314493	-0.287986906	36.9290255	0.408803706	2.284049554	0.076562754
1995	10.83565194	-0.256440139	17.58312751	-0.742058063	1.230422016	-0.618592775
1996	9.969887108	-0.083272543	16.85779378	-0.042126689	1.232514267	0.00169899
1997	10.38838886	0.041119465	16.58996545	-0.016015067	1.635749264	0.283044763
1998	15.56350792	0.404240212	34.18697802	0.72304679	2.393723487	0.380749133
1999	9.767730621	-0.46584478	24.48045884	-0.333969611	1.654602512	-0.369289292
2000	6.415236276	-0.42040833	14.12245349	-0.550109224	1.086506197	-0.420593582

Comparativo de Cultivos México en Pesos a Mediano Plazo						
Año	Q1=Precio del Maíz/ Precio del Petróleo		Q2=Precio de la Papa/ Precio del Petróleo		Q3=Precio de la Caña/ Precio del Petróleo	
		Tasa Continua		Tasa Continua		Tasa Continua
2000	6.415236276		14.12245349		1.086506197	
2001	8.345644281	0.263063931	18.91372616	0.292121933	1.663952371	0.426228495
2002	7.223422909	-0.144410832	21.18662182	0.113482026	1.441797138	-0.143305371
2003	6.051950278	-0.176948348	16.3724331	-0.257770924	1.173734238	-0.205700025
2004	4.777418915	-0.236480155	12.33991087	-0.282760216	0.934996936	-0.22740235
2005	3.391863432	-0.342520969	9.929046102	-0.217374384	0.780902398	-0.18009308
2006	3.477797411	0.02501971	8.266277288	-0.18328015	0.643491986	-0.1935406
2007	3.624047121	0.041192225	6.579530266	-0.228220906	0.566016205	-0.128286864
2008	2.992506192	-0.191480163	4.989634925	-0.276600609	0.423964935	-0.288971957
2009	3.60995806	0.187584927	9.732496401	0.668107685	0.499604488	0.164166011
2010	3.36025828	-0.071678315	9.737817654	0.000546602	0.435794693	-0.136645515
2011/6	2.820960077	-0.17494056	8.033251879	-0.19242762	0.334718828	-0.263880385

Comparativo de Cultivos México en Pesos a Largo Plazo							
Año	Q1=Precio del Maíz/ Precio Polietileno B.D.		Q2=Precio de la Papa/ Precio Polietileno B.D.		Q3=Precio de la Caña/ Precio Polietileno B.D.		Tasa Continua
		Tasa Continua		Tasa Continua		Tasa Continua	
1990	0.28836183		0.278891819		0.028410033		
1991	0.314644545	0.087227527	0.455277751	0.490083711	0.031597967	0.106350444	
1992	0.330127496	0.048035358	0.415153763	-0.092258709	0.036006021	0.130593397	
1993	0.344537532	0.042724101	0.452654128	0.086479354	0.039029642	0.080635236	
1994	0.239264553	-0.364633175	0.630987313	0.332157437	0.039026383	-8.35147E-05	
1995	0.182776801	-0.269304113	0.296593857	-0.754922037	0.020754875	-0.631456749	
1996	0.185081287	0.012529376	0.312948596	0.053675229	0.022880432	0.097500909	
1997	0.159967109	-0.145826897	0.255462983	-0.202961429	0.025188322	0.0960984	
1998	0.181809495	0.127991184	0.399364798	0.446797762	0.027962954	0.104500105	
1999	0.144981149	-0.226355677	0.363360252	-0.094480508	0.024559049	-0.12980019	
2000	0.160255388	0.10016499	0.352785022	-0.029535904	0.027141397	0.099979738	
2001	0.159565138	-0.004316491	0.36162233	0.024741511	0.031814055	0.158848073	
2002	0.207589247	0.263109125	0.608868528	0.521001983	0.041434869	0.264214586	
2003	0.25283245	0.197165663	0.683991471	0.116343086	0.049035119	0.168413985	
2004	0.181726576	-0.330223791	0.469393575	-0.376503852	0.035566023	-0.321145985	
2005	0.130207044	-0.333377396	0.38115678	-0.208230811	0.029977325	-0.170949506	
2006	0.130450129	0.001865172	0.310063184	-0.206434689	0.024137005	-0.216695138	
2007	0.153344329	0.161694905	0.278399706	-0.107718226	0.023949847	-0.007784184	
2008	0.172468209	0.117527015	0.287569463	0.032406569	0.024434527	0.02003522	
2009	0.149492493	-0.142966743	0.40303381	0.337556015	0.020689193	-0.166385659	
2010	0.201711542	0.299592486	0.584547391	0.371817402	0.026160138	0.234625285	
2011/6	0.16991496	-0.171540586	0.483867066	-0.189027646	0.020161128	-0.260480411	



Comparativo de Cultivos México en Pesos a Corto Plazo						
Año	Q1=Precio del Maíz/ Precio Polietileno B.D.		Q2=Precio de la Papa/ Precio Polietileno B.D.		Q3=Precio de la Caña/ Precio Polietileno B.D.	
		Tasa Continua		Tasa Continua		Tasa Continua
1990	0.28836183		0.278891819		0.028410033	
1991	0.314644545	0.087227527	0.455277751	0.490083711	0.031597967	0.106350444
1992	0.330127496	0.048035358	0.415153763	-0.092258709	0.036006021	0.130593397
1993	0.344537532	0.042724101	0.452654128	0.086479354	0.039029642	0.080635236
1994	0.239264553	-0.364633175	0.630987313	0.332157437	0.039026383	-8.35147E-05
1995	0.182776801	-0.269304113	0.296593857	-0.754922037	0.020754875	-0.631456749
1996	0.185081287	0.012529376	0.312948596	0.053675229	0.022880432	0.097500909
1997	0.159967109	-0.145826897	0.255462983	-0.202961429	0.025188322	0.0960984
1998	0.181809495	0.127991184	0.399364798	0.446797762	0.027962954	0.104500105
1999	0.144981149	-0.226355677	0.363360252	-0.094480508	0.024559049	-0.12980019
2000	0.160255388	0.10016499	0.352785022	-0.029535904	0.027141397	0.099979738

Comparativo de Cultivos México en Pesos a Largo Plazo						
Año	Q1=Precio del Maíz/ Precio Polietileno B.D.		Q2=Precio de la Papa/ Precio Polietileno B.D.		Q3=Precio de la Caña/ Precio Polietileno B.D.	
		Tasa Continua		Tasa Continua		Tasa Continua
2000	0.160255388		0.352785022		0.027141397	
2001	0.159565138	-0.004316491	0.36162233	0.024741511	0.031814055	0.158848073
2002	0.207589247	0.263109125	0.608868528	0.521001983	0.041434869	0.264214586
2003	0.25283245	0.197165663	0.683991471	0.116343086	0.049035119	0.168413985
2004	0.181726576	-0.330223791	0.469393575	-0.376503852	0.035566023	-0.321145985
2005	0.130207044	-0.333377396	0.38115678	-0.208230811	0.029977325	-0.170949506
2006	0.130450129	0.001865172	0.310063184	-0.206434689	0.024137005	-0.216695138
2007	0.153344329	0.161694905	0.278399706	-0.107718226	0.023949847	-0.007784184
2008	0.172468209	0.117527015	0.287569463	0.032406569	0.024434527	0.02003522
2009	0.149492493	-0.142966743	0.40303381	0.337556015	0.020689193	-0.166385659
2010	0.201711542	0.299592486	0.584547391	0.371817402	0.026160138	0.234625285
2011/6	0.16991496	-0.171540586	0.483867066	-0.189027646	0.020161128	-0.260480411

Comparativo de Cultivos Estados Unidos de América en Dlls. a Largo Plazo						
Año	Q1=Precio del		Q2=Precio de la		Q3=Precio de la	
	Maíz/ Precio	Tasa Continua	Papa/ Precio	Tasa Continua	Caña/ Precio	Tasa Continua
	del Petróleo		del Petróleo		del Petróleo	
1974	9.505		7.029		4.233226837	
1975	7.170	-0.281870168	7.098	0.009866175	1.57743203	-0.987166321
1976	6.304	-0.128746823	5.859	-0.191899891	1.112464786	-0.349220146
1977	5.507	-0.135083321	5.370	-0.087197725	1.239168932	0.107862857
1978	6.109	0.103623975	5.148	-0.042206473	1.372749543	0.102374756
1979	4.589	-0.286048773	3.523	-0.379287027	1.205202624	-0.130167989
1980	3.616	-0.238287098	4.253	0.188330099	1.151842637	-0.045284752
1981	2.653	-0.309742864	3.208	-0.282100676	0.646905061	-0.576918685
1982	2.991	0.119812138	2.919	-0.094146504	0.804315893	0.217792547
1983	4.311	0.365698211	4.366	0.402583418	0.955161437	0.171888277
1984	3.586	-0.184246996	4.329	-0.008676432	0.969635731	0.015040095
1985	3.253	-0.097458154	3.186	-0.306442334	1.000321701	0.031156463
1986	4.238	0.264623031	7.966	0.916342414	1.937660191	0.661159509
1987	4.211	-0.006431335	5.348	-0.398473423	1.59885208	-0.192195236
1988	6.848	0.48631504	9.108	0.532477082	2.191453291	0.315279005
1989	5.141	-0.286673832	8.964	-0.015924163	1.77073295	-0.21317137
1990	4.130	-0.219001773	6.166	-0.374272132	1.564400342	-0.123890975
1991	4.983	0.187678871	5.821	-0.057527559	1.548678903	-0.010100335
1992	4.476	-0.107315562	6.700	0.140698948	1.537775225	-0.007065534
1993	6.100	0.309711505	8.430	0.229603221	1.797501082	0.1560607
1994	5.726	-0.063323306	7.916	-0.062867918	1.866378693	0.037602613
1995	7.441	0.261982682	8.692	0.093536116	1.750104925	-0.064324282
1996	5.174	-0.363312392	5.238	-0.506502776	1.503473155	-0.151897875
1997	5.174	-1.73584E-05	6.707	0.247190358	1.676683756	0.109040019
1998	6.329	0.201519416	10.193	0.41862549	2.486188377	0.393932878
1999	4.148	-0.422462411	7.353	-0.326608208	1.621168125	-0.427603811
2000	2.627	-0.456805534	4.040	-0.598842888	1.046115313	-0.438063353
2001	3.526	0.294333695	7.002	0.549939523	1.455005188	0.329925864
2002	3.852	0.088270686	6.199	-0.121782973	1.307344278	-0.107011655
2003	3.436	-0.114228311	4.689	-0.279326801	1.190162084	-0.093908308
2004	2.259	-0.419181235	3.483	-0.297340391	0.863682088	-0.320640034
2005	1.611	-0.338532605	3.171	-0.093862424	0.634115392	-0.308973803
2006	2.027	0.229865314	2.727	-0.150865772	0.575799347	-0.0964717
2007	2.461	0.194119708	2.471	-0.098523879	0.476290194	-0.189731924
2008	1.727	-0.3544424	2.009	-0.206781963	0.356472868	-0.289769189
2009	2.367	0.315605918	2.981	0.39457861	0.643664751	0.590919887
2010	2.698	0.130814828	2.372	-0.228423338	0.500837563	-0.250896194
2011/6	2.547	-0.057513727	1.901	-0.221340701	0.388230809	-0.254681792

Comparativo de Cultivos Estados Unidos de América en Dlls. a Largo Plazo						
Año	Q1=Precio del		Q2=Precio de la		Q3=Precio de la	
	Maíz/ Precio del Petróleo	Tasa Continua	Papa/ Precio del Petróleo	Tasa Continua	Caña/ Precio del Petróleo	Tasa Continua
1980	3.616		4.253		1.151842637	
1981	2.653	-0.309742864	3.208	-0.282100676	0.646905061	-0.576918685
1982	2.991	0.119812138	2.919	-0.094146504	0.804315893	0.217792547
1983	4.311	0.365698211	4.366	0.402583418	0.955161437	0.171888277
1984	3.586	-0.184246996	4.329	-0.008676432	0.969635731	0.015040095
1985	3.253	-0.097458154	3.186	-0.306442334	1.000321701	0.031156463
1986	4.238	0.264623031	7.966	0.916342414	1.937660191	0.661159509
1987	4.211	-0.006431335	5.348	-0.398473423	1.59885208	-0.192195236
1988	6.848	0.48631504	9.108	0.532477082	2.191453291	0.315279005
1989	5.141	-0.286673832	8.964	-0.015924163	1.77073295	-0.21317137
1990	4.130	-0.219001773	6.166	-0.374272132	1.564400342	-0.123890975
1991	4.983	0.187678871	5.821	-0.057527559	1.548678903	-0.010100335
1992	4.476	-0.107315562	6.700	0.140698948	1.537775225	-0.007065534
1993	6.100	0.309711505	8.430	0.229603221	1.797501082	0.1560607
1994	5.726	-0.063323306	7.916	-0.062867918	1.866378693	0.037602613
1995	7.441	0.261982682	8.692	0.093536116	1.750104925	-0.064324282
1996	5.174	-0.363312392	5.238	-0.506502776	1.503473155	-0.151897875
1997	5.174	-1.73584E-05	6.707	0.247190358	1.676683756	0.109040019
1998	6.329	0.201519416	10.193	0.41862549	2.486188377	0.393932878
1999	4.148	-0.422462411	7.353	-0.326608208	1.621168125	-0.427603811
2000	2.627	-0.456805534	4.040	-0.598842888	1.046115313	-0.438063353

Comparativo de Cultivos Estados Unidos de América en Dlls. a Largo Plazo						
Año	Q1=Precio del		Q2=Precio de la		Q3=Precio de la	
	Maíz/ Precio del Petróleo	Tasa Continua	Papa/ Precio del Petróleo	Tasa Continua	Caña/ Precio del Petróleo	Tasa Continua
2000	2.627238505		4.040169486		1.046115313	
2001	3.526362871	0.294333695	7.002212466	0.549939523	1.455005188	0.329925864
2002	3.851788852	0.088270686	6.19934222	-0.121782973	1.307344278	-0.107011655
2003	3.436004682	-0.114228311	4.688517299	-0.279326801	1.190162084	-0.093908308
2004	2.259465163	-0.419181235	3.482589063	-0.297340391	0.863682088	-0.320640034
2005	1.610581875	-0.338532605	3.170576959	-0.093862424	0.634115392	-0.308973803
2006	2.026805364	0.229865314	2.726579259	-0.150865772	0.575799347	-0.0964717
2007	2.461031446	0.194119708	2.470755382	-0.098523879	0.476290194	-0.189731924
2008	1.726572362	-0.3544424	2.009210711	-0.206781963	0.356472868	-0.289769189
2009	2.367285802	0.315605918	2.981184109	0.39457861	0.643664751	0.590919887
2010	2.69812988	0.130814828	2.372388458	-0.228423338	0.500837563	-0.250896194
2011/6	2.547328516	-0.057513727	1.901335502	-0.221340701	0.388230809	-0.254681792

Comparativo de Cultivos E.U.A en Dlls.Pesos a Largo Plazo							
Año	Q1=Precio del Maíz/ Precio Polietileno B.D.		Q2=Precio de la Papa/ Precio Polietileno B.D.		Q3=Precio de la Caña/ Precio Polietileno B.D.		Tasa Continua
		Tasa Continua		Tasa Continua		Tasa Continua	
1990	0.086488131		0.129116057		0.032760791		
1991	0.091466243	0.055962784	0.106854492	-0.189243646	0.028429177	-0.141816423	
1992	0.080708051	-0.125131636	0.120825927	0.122882874	0.027730541	-0.024881608	
1993	0.095903028	0.172499212	0.132521092	0.092390928	0.028258174	0.018848407	
1994	0.083954951	-0.133057197	0.116063797	-0.132601809	0.027364635	-0.032131278	
1995	0.111996024	0.288183011	0.130827081	0.119736445	0.026341023	-0.038123954	
1996	0.090192637	-0.216515569	0.0913018	-0.359705953	0.026206998	-0.005101051	
1997	0.084038138	-0.070677074	0.108929529	0.176530642	0.027232382	0.038380304	
1998	0.080525774	-0.042693421	0.129685696	0.174412653	0.031630658	0.14972004	
1999	0.081405466	0.010865116	0.144291148	0.10671932	0.031812222	0.005723717	
2000	0.070633157	-0.141942745	0.108619725	-0.283980098	0.02812475	-0.123200563	
2001	0.07779643	0.096595869	0.154478467	0.352201697	0.032099422	0.132188038	
2002	0.099701569	0.248085869	0.160466778	0.03803221	0.033839933	0.052803528	
2003	0.082941416	-0.184046887	0.113175708	-0.349145378	0.028729218	-0.163726884	
2004	0.056721709	-0.379977521	0.087427062	-0.258136677	0.021681911	-0.281436321	
2005	0.04570007	-0.21605717	0.089964746	0.028613012	0.017992949	-0.186498368	
2006	0.065254881	0.356201018	0.087784752	-0.024530069	0.018538395	0.029864004	
2007	0.09234265	0.347205258	0.09270751	0.054561672	0.017871327	-0.036646374	
2008	0.074125503	-0.219746471	0.086259781	-0.072086034	0.015304155	-0.155073261	
2009	0.085313756	0.140576068	0.107437815	0.219548759	0.023196801	0.415890036	
2010	0.100632182	0.165136396	0.088483	-0.194101771	0.018679744	-0.216574627	
2011/6	0.113358185	0.119080484	0.084610972	-0.04474649	0.017276586	-0.078087581	

Comparativo de Cultivos México en Pesos a Corto Plazo						
Año	Q1=Precio del Maíz/ Precio Polietileno B.D.		Q2=Precio de la Papa/ Precio Polietileno B.D.		Q3=Precio de la Caña/ Precio Polietileno B.D.	
		Tasa Continua		Tasa Continua		Tasa Continua
1990	0.086488131		0.129116057		0.032760791	
1991	0.091466243	0.055962784	0.106854492	-0.189243646	0.028429177	-0.141816423
1992	0.080708051	-0.125131636	0.120825927	0.122882874	0.027730541	-0.024881608
1993	0.095903028	0.172499212	0.132521092	0.092390928	0.028258174	0.018848407
1994	0.083954951	-0.133057197	0.116063797	-0.132601809	0.027364635	-0.032131278
1995	0.111996024	0.288183011	0.130827081	0.119736445	0.026341023	-0.038123954
1996	0.090192637	-0.216515569	0.0913018	-0.359705953	0.026206998	-0.005101051
1997	0.084038138	-0.070677074	0.108929529	0.176530642	0.027232382	0.038380304
1998	0.080525774	-0.042693421	0.129685696	0.174412653	0.031630658	0.14972004
1999	0.081405466	0.010865116	0.144291148	0.10671932	0.031812222	0.005723717
2000	0.070633157	-0.141942745	0.108619725	-0.283980098	0.02812475	-0.123200563

Comparativo de Cultivos México en Pesos a Largo Plazo						
Año	Q1=Precio del Maíz/ Precio Polietileno B.D.		Q2=Precio de la Papa/ Precio Polietileno B.D.		Q3=Precio de la Caña/ Precio Polietileno B.D.	
		Tasa Continua		Tasa Continua		Tasa Continua
2000	0.070633157		0.108619725		0.02812475	
2001	0.07779643	0.096595869	0.154478467	0.352201697	0.032099422	0.132188038
2002	0.099701569	0.248085869	0.160466778	0.03803221	0.033839933	0.052803528
2003	0.082941416	-0.184046887	0.113175708	-0.349145378	0.028729218	-0.163726884
2004	0.056721709	-0.379977521	0.087427062	-0.258136677	0.021681911	-0.281436321
2005	0.04570007	-0.21605717	0.089964746	0.028613012	0.017992949	-0.186498368
2006	0.065254881	0.356201018	0.087784752	-0.024530069	0.018538395	0.029864004
2007	0.09234265	0.347205258	0.09270751	0.054561672	0.017871327	-0.036646374
2008	0.074125503	-0.219746471	0.086259781	-0.072086034	0.015304155	-0.155073261
2009	0.085313756	0.140576068	0.107437815	0.219548759	0.023196801	0.415890036
2010	0.100632182	0.165136396	0.088483	-0.194101771	0.018679744	-0.216574627
2011/6	0.113358185	0.119080484	0.084610972	-0.04474649	0.017276586	-0.078087581