



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**LOS PRODUCTOS DERIVADOS COMO
INSTRUMENTOS DE COBERTURA
Y UNA APLICACIÓN SOBRE EL CASO DEL
PETRÓLEO EN MÉXICO**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
ACTUARIA**

P R E S E N T A

MIRIAM JANET GARCÍA GÁNDARA



**DIRECTOR DE TESIS:
DR. PABLO PADILLA LONGORIA
2010**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Hoja de Datos del Jurado

1.- Datos del alumno

García
Gándara
Miriam Janet
5959313448
Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias
Actuaría
403062962

2. Datos del tutor

Dr.
Pablo
Padilla
Longoria

3. Datos del sinodal 1

M. en C.
Jorge Humberto
Del Castillo
Spíndola

4. Datos del sinodal 2

M. en C.
Jesús Agustín
Cano
Garcés

5. Datos del sinodal 3

Fís.
Breno Lorenzo
Madero
Salmerón

6. Datos del sinodal 4

Act.
Paola Fabiola
Vilchis
Jiménez

3.- Datos del trabajo escrito

Los productos derivados como instrumentos de cobertura y una aplicación sobre el caso del petróleo en México
94 p.
2010

AGRADECIMIENTOS

A Dios

Por regalarme la vida, una familia excepcional y todas mis alegrías.

Por ser mi camino, guía y apoyo. Por darme fuerza en las situaciones difíciles y poner a las personas correctas en el momento exacto. Por amarme en forma incondicional.

A mis padres

Porque son las personas más importantes en mi vida (junto con mi hermano).

Ma, tú sabes que eres la luz de mi vida, gracias porque eres la mejor amiga, y compañera, gracias por ser la persona más sincera del mundo, te admiro por tu forma de ver la vida, de ser conciliadora y al mismo tiempo la más agradable de las personas, cualquiera querría tenerte como mamá, pero esa fue solo mi fortuna.

Pa, para mí eres la única persona que puede hacerme cambiar de opinión, el único que siempre tiene las palabras precisas. Para mí no hay más modelo a seguir más que tú, al que anhelo parecerme algún día y al que le debo gran parte de la formación de mi carácter y constancia para hacer cualquier cosa.

A mi hermano

Porque a pesar de nuestras diferencias (no solo físicas), me gusta aprender de tu estilo de vida y tus ideas. Sé que a veces es difícil compartir cosas juntos, pero ojalá sepas que disfruto mucho de tu compañía, de las cosas que planeamos y que en cada momento importante, busco tu opinión al respecto porque me parece que tienes una mejor percepción de las cosas que la que yo poseo.

A mi abuelita Chabela

Por haber sido consentidora por tantos años y que sin importar el lugar en el que te encuentres ahora, estoy segura en que puedes saber lo mucho que te quiero.

A mi Director de tesis Pablo

Por aceptar dirigir esta tesis y por tu constante motivación. Por todo tu tiempo, ideas, interés, comentarios y correcciones que le dieron rumbo al trabajo. Porque sabes que este trabajo es tan mío como tuyo.

A mis Sinodales

A Humberto, Breno, Agustín, Pao y José Antonio, porque a pesar de ser personas particularmente muy ocupadas, aceptaron ser parte de este trabajo y tomarse el tiempo para revisar y aportar comentarios que enriquecieron los resultados y conclusiones obtenidas.

A Mario

Por tu compañía y tus locuras, por la “Falsa sociedad”, las largas noches de plática, las canciones repetidas, los cassettes regrabados, mi jersey morado y el jarrito de tamarindo. Por ser simplemente el amigo de mi alma, una de mis personas favoritas y uno de mis grandes motivos.

Para Au

Por ser mi confidente, compañera, colega, una ariana igual que yo, con la que he compartido toda clase de momentos, desde los más alegres hasta los más dolorosos de nuestras vidas y que aún sin decírtelo, confío en que sepas que eres la mejor de mis amigas.

A José Luis

Por el inmenso cariño que me has dado durante todo el tiempo de conocerte, por tenerme tanta paciencia y aguantar mi tan recurrido mal humor, por tantas canciones, palabras sinceras, detalles y valioso tiempo. También por haber revisado mi tesis y darme tus comentarios.

A mis amigos de la Universidad

A Seren, Ale, Rau, Maria Elena, Roma, Japo, Jon, Belem, Arlen, Ramiro, Gabriel, Leo, D.O.S, Claudio, con quienes compartí momentos valiosos que me hacen recordarlos con cariño.

A ustedes

A Alí, porque me enseñaste tantas formas diferentes de ver la vida y de apreciar las cosas.

A tí Tronquis, por regalarme un rayito de luz en mis tiempos difíciles.

A Daniel por ayudarme en la parte final de la tesis, cuando uno piensa que ya terminó, pero en realidad hacen falta todos los “detallitos”.

A Emmanuel, Israel y Miguel, los amigos que han estado presentes en los momentos más importantes de mi vida a pesar de la distancia y los años de conocernos.

Introducción

Escribir acerca de instrumentos derivados se ha vuelto muy recurrente en los últimos años, por un lado por ser un tema “nuevo” y en segundo, por ser un tema de gran interés.

La mayoría de la literatura que existe actualmente presenta la teoría matemática de los derivados bastante bien, otra parte que es más aplicada, crea situaciones que sirven como ejemplos a los diferentes modelos de valuación, una más, describe las situaciones que se han presentado a lo largo del tiempo a causa del mal uso de estos instrumentos.

Este trabajo combina un poco de todo lo anterior, pero el objetivo primordial es el de encontrar un tema actual sobre el que se pueda realizar un análisis de la teoría matemática de derivados y posteriormente, concluir con los resultados obtenidos.

La motivación para escribir este trabajo se basó principalmente en la dificultad que existe por encontrar literatura que muestre la forma de cómo se utilizan los derivados de distintos subyacentes, en especial sobre el petróleo, determinar cuáles son los métodos más convenientes de valuación y de qué manera se comercializan actualmente.

Al inicio del trabajo, se muestra todo el marco actual de los derivados, qué son, cómo y quiénes los operan, los fines con los que pueden ser contratados y una narrativa de algunos de los ejemplos más significativos a lo largo de la historia por el mal uso de estos instrumentos.

En la siguiente parte se describen de una manera sencilla, las características y particularidades de los instrumentos más comunes y negociados dentro del mercado de derivados. Posteriormente, se muestran algunos ejemplos de valuaciones con cálculos realizados en Excel.

En el siguiente apartado se desarrolla el modelo de *Black-Scholes* como método de valuación de opciones europeas, así como la replicación sintética de derivados.

Finalmente, se aborda un ejemplo relacionado con el caso del petróleo en México y los derivados más recientes sobre el mismo, los cuales fueron contratados por la Secretaría de Hacienda y Crédito Público para el año 2009.

Sobre este tema se realiza todo un análisis cuantitativo (utilizando una modificación al modelo de *Black-Scholes* que se usa para valorar opciones sobre bienes como



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

el petróleo) con el fin de verificar la hipótesis de que los instrumentos son contratados con fines de cobertura y que la prima teórica al inicio no está muy relacionada a la prima real debido a que en la práctica diaria existen factores adicionales que modifican su cálculo.

Elegir esta aplicación fue muy interesante, en primer lugar por tratarse de instrumentos contratados por el propio gobierno (SHCP) en México, en segundo lugar por saber si realmente una cobertura de este tipo cumple con la finalidad con la que fue contratada, que era precisamente la de establecer un precio piso del petróleo en 2009 para cubrir una parte de las exportaciones nacionales.

Otro aspecto que es fundamental mencionar, es la dificultad que se presentó al tratar de conseguir la información necesaria para llevar a cabo el análisis, incluso la ausencia de la misma en algunos de los casos. Por una parte, en el detalle de las características de los derivados contratados y por la otra, en las metodologías con las que fueron valuados dichos instrumentos.

Con las conclusiones hechas al final del trabajo se hace notar que se abordó una pequeña parte de ese tema, sin embargo no deja de tratarse de un tema poco explorado donde hay un gran campo que analizar aún.

Índice general

Agradecimientos	I
Introducción	III
1. Cobertura o especulación	1
1.1. La historia de los derivados está ligada al riesgo	1
1.2. Dinámica del mercado de derivados y participantes	4
1.3. Cobertura y Especulación	6
1.3.1. Cobertura	6
1.3.2. Especulación	7
1.4. Las consecuencias de la especulación	9
1.4.1. Los tulipanes	9
1.4.2. Los Mares del Sur	10
1.4.3. Wall Street	11
1.4.4. Las burbujas recientes	14
2. Características y modelos de valuación	17
2.1. Introducción	17
2.2. Los mercados de derivados	20
2.2.1. Mercados organizados	20
2.2.2. Mercado <i>Over the Counter</i>	21
2.3. Características de los Derivados	22
2.3.1. Futuros y <i>forwards</i>	22
2.3.2. Futuros de tasa de interés	24
2.3.3. Swaps	26
2.3.4. Opciones	29
2.3.5. Opciones Exóticas	33
2.4. Valuación	35
2.4.1. Principio de no arbitraje	35
2.4.2. <i>Forwards</i>	36



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

2.4.3. <i>Swaps</i>	38
2.4.4. Opciones	42
3. Valuación y replicación de opciones	43
3.1. <i>Black-Scholes</i>	43
3.1.1. Movimiento <i>Browniano</i>	44
3.1.2. Caminata aleatoria	45
3.1.3. Proceso de <i>Wiener</i>	46
3.1.4. Evolución del precio del activo	46
3.1.5. Lema de <i>Îto</i>	47
3.1.6. Construcción de un portafolio libre de riesgo	49
3.1.7. Ecuación de <i>Black-Scholes</i>	51
3.2. Replicación sintética	56
3.2.1. Sensibilidad delta	56
3.2.2. Delta de opciones europeas	59
3.2.3. Replicación	61
3.2.4. Replicación sintética de opciones	62
3.3. Simulación Montecarlo	65
3.3.1. Simulación Montecarlo para opciones	66
4. Coberturas petroleras en México	71
4.1. Precio del petróleo	71
4.2. Derivados sobre petróleo	75
4.3. Derivados contratados por la SHCP	76
4.4. Análisis de las coberturas	80
4.4.1. Cálculo de la prima	80
4.4.2. Cálculo de las coberturas a finales de mayo de 2009	88
4.4.3. Replicación sintética de las coberturas de petróleo	88
Conclusiones	91

Capítulo 1

Cobertura o especulación

En este capítulo se muestra una primera visión acerca de los derivados y de la relación tan cercana que éstos tienen con el riesgo. Se habla de su historia, se describen algunas de las crisis más significativas a lo largo del tiempo debido al inadecuado manejo de los mercados financieros¹. Se mencionan también algunos de los motivos por los cuales se incrementa el uso de derivados y en términos generales, cual es su función como operación de cobertura, especulación y arbitraje. Parte de este material se basa en el libro *Jonh. C. Hull* “Options, Futures and other derivatives”.

1.1. La historia de los derivados está ligada al riesgo

La historia de los derivados está ligada a la búsqueda de mecanismos para minimizar el riesgo. El uso de éstos no es precisamente un desarrollo moderno, instrumentos con características similares se han negociado desde tiempos remotos.

Existe evidencia de que los instrumentos derivados han sido utilizados desde la antigua Grecia. En sus memorias, Aristóteles² relata la manera en la que el filósofo Thales de Mileto realizó ganancias atractivas, alrededor del siglo VI a.C., mediante un acuerdo de contratos con opciones.

Thales pronosticó que la cosecha de aceitunas sería muy fructífera para el siguiente año. Fijó muy bajo el precio de las aceitunas con un depósito pequeño en relación con el tamaño de la posible cosecha. De esta forma, si el precio era menor, Thales perdería todo su depósito, que le daba el derecho más no la obligación, de comprar al precio bajo que se había fijado.

¹El material se puede consultar principalmente en el libro *Burton G. Makiel*, “*A Random Walk down Wall Street*”

²Del libro “*The early history of financial economics*”, por Geoffrey Poitras, capítulo 9



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Tal como se pronosticó, la cosecha fue bastante buena y la demanda por el producto hizo que subiera el precio, lo cual le generó una importante ganancia. Se cree que en éste momento nació el concepto de opciones.

Al igual que en éste hecho con opciones, el origen de los mercados de futuros también se puede situar en la edad media, en donde fueron creados para satisfacer las demandas de los agricultores y comerciantes.

Alrededor del siglo XII, los comerciantes europeos vendían algunos contratos prometiendo la entrega de los bienes a una fecha futura. Tiempo después, en Japón, en Dojima, cerca de Osaka, se creó un mercado de futuros de arroz, para proteger a los vendedores del mal tiempo y la guerra.

Un ejemplo más de derivados son las conocidas como letras de cambio en el siglo XVI que combinaban un préstamo con un contrato adelantado de divisas.

En el siglo XVI, se negociaron los contratos “*to arrive*” en la bolsa de Bélgica, siendo este el primer caso en el que se desbordó una gran demanda y por consiguiente una gran actividad en la negociación de éstos contratos.

Antes de éste evento, las transacciones con derivados eran limitadas y solo podían negociarse de manera privada entre dos personas autorizadas y ante la presencia de los notarios.

A la mitad del siglo XVII, en la Bolsa de Ámsterdam ya existían contratos *put* y *call* que eran comercializados regularmente y contaban con fechas de vencimiento establecidas. Las opciones eran realizadas principalmente sobre diversos *commodities*.

Al final del siglo XVII, la negociación de futuros y opciones fue esencial en Londres y en el siglo XVIII en Japón y Estados Unidos.

En el año 1868, se crea el “*Chicago Board of Trade*” que comienza con la comercialización de trigo, cerdo y cobre.

En abril de 1973, comienza a funcionar “*The Chicago Board Options Exchange*”, con el fin de negociar opciones sobre acciones de empresas que cotizaran en bolsa.

A pesar que los mercados de futuros han existido de alguna forma desde el tiempos remotos, se comenzaron a desarrollar a partir de 1850 con la apertura de la Bolsa de Chicago y fue hasta la década de los 70's donde en los mercados de futuros se comenzaron a operar monedas, acciones y bonos.

Al principio las compraventas de opciones no tenían una buena reputación debido a ciertas prácticas que eran poco éticas, por ejemplo, aquella que consistía en regalar algunas opciones sobre acciones a los agentes, con la finalidad de que recomendaran la compra de esas acciones a sus clientes.

A principios del siglo XX se fundó en Estados Unidos la Asociación de agentes y *Dealers* de opciones de compra y venta (*Put and Call Brokers and Dealers Association*), cuyo objeto fue proporcionar un sistema para reunir a vendedores y compradores.

Cuando alguien quería comprar una opción contactaba con una de las empresas asociadas, la cual hacía lo posible para hallar un vendedor o emisor de la opción entre sus clientes o entre las otras empresas también asociadas. Si no se encontraba vendedor, la propia asociación emitía la opción cobrando un precio previamente asignado como adecuado.

Este mercado presentaba ciertas desventajas, una de ellas era la de no disponer de un mercado secundario, puesto que el que tomaba la posición larga de la opción no tenía derecho a venderla a un tercero antes de su fecha de vencimiento. La segunda era que no existía un mecanismo que garantizaba que el emisor de la opción respetase su parte del contrato.

De no cumplirse, el comprador se veía forzado a demandar judicialmente al emisor, lo cual resultaba demasiado caro.

En esas fechas, el volumen de negociación había crecido tan rápido que el número de acciones vendidas en contratos de opciones diarias excedía al volumen de acciones negociadas en el “*New York Stock Exchange*”.

Un motivo más al cual se debió el auge de los derivados se menciona a continuación fue la firma de los “acuerdos de *Bretton Woods*”, después de la Segunda Guerra Mundial, cuyo objetivo fue poner en marcha un nuevo orden económico internacional.

Con ello se pretendió dar estabilidad a las transacciones comerciales, basados en un tipo de cambio sólido y estable fundado en el dominio del dólar (debido a que Estados Unidos se convirtió en la economía más fuerte del mundo después de la segunda guerra mundial).

Para ello se adoptó un patrón oro-divisas, en el que Estados Unidos debía mantener el precio del oro en 35 dólares por onza y se le concedió la facultad de cambiar dólares por oro a ese precio sin restricciones ni limitaciones.

Al mantenerse fijo el precio de una moneda (el dólar), los demás países deberían fijar el precio de sus monedas con relación a aquella y de ser necesario, intervenir dentro de los mercados cambiarios con el fin de mantener los tipos de cambio dentro de una banda de fluctuación del 1%.

En caso de que los países tuvieran déficit en su balanza de pagos, se les otorgaba un financiamiento a través de las de las reservas internacionales o el otorgamiento de préstamos del Fondo Monetario Internacional (FMI).

Hasta 1957 había una fuerte escasez de dólares debido a la reconstrucción europea. Estados Unidos se aprovechaba de su posición utilizando el dólar para impulsar sus objetivos estratégicos, debido a que producía los dólares que eran usados en todo el mundo y podía financiar sus crecientes déficit con su propia moneda.

La abundancia de dólares planteó dudas acerca de su convertibilidad en oro y el alto déficit externo de Estados Unidos provoca presiones especulativas en espera de una devaluación del dólar frente al oro, lo que provocó una gran fuga de capitales en

ese país. Los bancos centrales europeos intentaron convertir sus reservas de dólares en oro, creando una situación insostenible para Estados Unidos.

Ante ello, el 15 de agosto de 1971 el presidente de EU, Richard Nixon, suspendió unilateralmente la convertibilidad del dólar en oro y devaluó el dólar un 10%. Esta decisión fue tomada sin consultar a los miembros del sistema monetario internacional e incluso a su propio departamento de Estado.

En 1973, el dólar se vuelve a devaluar otro 10%, hasta que finalmente se termina con la convertibilidad del dólar en oro.

Entre 1971 y 1973, la mayoría de las monedas más fuertes del mundo como el marco alemán, la libra esterlina y el yen empezaron a fluctuar libremente.

Las tasas de cambio ya no eran el principal método usado por los gobiernos para administrar la política monetaria, debido a la resistencia a continuar importando la inflación estadounidense a través de los tipos de cambios fijos.

Estos acontecimientos marcan el fin del régimen de *Bretton Woods* y con ello, el impulso de los instrumentos financieros derivados, que sirvieron como mecanismos para enfrentarse a las fluctuaciones de dichas monedas, debido a que tales acuerdos con respecto a las paridades cambiarias se vieron disueltos.

1.2. Dinámica del mercado de derivados y participantes

Dentro del mercado de derivados existen tres tipos de negociantes: coberturistas, especuladores y arbitrajistas, los cuales participan de manera distinta y de acuerdo a sus intereses. A continuación se menciona cada uno de ellos.

Coberturistas

Este tipo de personas tan solo busca protegerse ante adversidades en los precios de los productos, ya sean para venderlos o comprarlos.

Por ejemplo: el tesorero de una empresa conoce la cantidad de dinero que recibirá por concepto de la venta de mercancía en dólares en un plazo determinado. Entonces el tesorero recibirá dólares, sin embargo estará expuesto a una posible apreciación del peso frente al dólar, por lo cual decide entrar al mercado de futuros tomando una posición corta (de venta), con el fin de mitigar las posibles pérdidas.

En el caso de los futuros, éstos son designados para neutralizar el riesgo, fijando el precio por el cual el coberturista paga o recibe por el bien, por el contrario las opciones proveen seguridad, ya que ofrecen al inversionista la posibilidad de protegerse contra movimientos adversos en los precios mientras continúa con un beneficio por los movimientos favorables en los precios.

Especuladores

Son individuos que compran y venden contratos de derivados con la finalidad de obtener utilidades, asumiendo el riesgo de las fluctuaciones que presentan los precios de los productos.

Su participación en los mercados de futuros y opciones es vital para que exista suficiente liquidez que permite a quienes buscan cobertura traspasar el riesgo de posibles fluctuaciones adversas de los precios.

Por lo regular un especulador apuesta a que los precios suban o apuesta a que los precios bajan. Con los contratos de futuros, las ganancias y pérdidas no tienen límite, en cambio con las opciones, en el peor de los escenarios, las pérdidas son limitadas.

Una gran parte de especuladores trabaja por su cuenta, aunque muchos de éstos trabajan como especialistas para bancos o casas de bolsa y finalmente toman posición en el mercado.

Los verdaderos especuladores son los que están las 24 horas del día pendientes del mercado y buscando ocasiones para obtener una ganancia, estas personas se dedican profesionalmente a ello y como se menciona en un artículo de “*la bolsa hispavista.com*”: -Si no aciertan, no comen-, además de que son personas con una capacidad de asumir riesgos más altos que el promedio de la gente por lo cual no deberían ser etiquetados como los “villanos” de los mercados, como actualmente quiere creerse.

Según algunos profesionistas, los especuladores simplemente actúan como aceleradores de procesos, con lo cual ayudan a ajustar los mercados de manera más rápida y eficiente. La especulación es muy positiva para el buen funcionamiento del mercado, dotando al mismo de un mayor grado de liquidez y estabilidad, así como de amplitud, flexibilidad y profundidad en la cotización de los contratos.

Arbitrajistas

El arbitraje se produce cuando un valor se negocia en varios mercados y por circunstancias de carácter local, se produce una diferencia de precios.

El arbitrajista compra entonces donde está más barato y vende donde se cotiza más caro, obteniendo con ello un beneficio.

Aunque a primera vista sólo se ve el lucro del arbitrajista, lo cierto es que es útil para el mercado porque ayuda a que los precios se compensen: si donde se encuentra más barato entran más órdenes de compra, el precio sube. Y si donde resulta más caro, se venden más acciones, el precio baja. Estas operaciones suceden en cuestión de segundos o minutos gracias a la tecnología que permite acceso inmediato a los mercados internacionales.

Para detectar oportunidades de arbitraje hay que estar monitoreando los mer-

cados continuamente y entrar en el momento necesario, involucrando no solo a dos mercados sino a más de ellos.

Dentro de los mercados, distinguimos a los derivados que se negocian en mercados oficiales organizados y los que lo hacen en mercados no organizados o “sobre el mostrador” (*Over The Counter*).

1.3. Cobertura y Especulación

Los derivados son instrumentos creados para facilitar la ejecución de las transacciones financieras y la administración de riesgos, su finalidad es la de proteger a una inversión ante una incertidumbre o riesgo que conlleve a una pérdida del retorno de la misma y afecte los patrimonios de la empresa o del inversionista.

Entonces, se puede decir que la adquisición de un derivado es similar a la de un seguro, que proporciona protección contra los efectos adversos de variables financieras (tipo de cambio, tasas de interés) y/o materias primas (*commodities*).

Los derivados son instrumentos financieros que derivan su valor del valor de otro instrumento llamado subyacente.

1.3.1. Cobertura

La primera función de los instrumentos derivados es la de proporcionar un mecanismo de cobertura frente al riesgo de mercado, es decir, ante la posibilidad de que el precio de mercado de un instrumento financiero varíe ocasionando pérdidas.

Atendiendo a las causas de esta variación, cabe mencionar tres de las variantes del riesgo de mercado.

La primera de ellas es el riesgo de tipo de interés que mide las posibles pérdidas, o menores beneficios, que puede generar una variación en el nivel o estructura de los tipos de interés.

A su vez, este riesgo sólo se asume si se mantienen posiciones abiertas, que son aquellas en las que el plazo de vencimiento, o periodos de interés del activo no coincide con el del pasivo con el que se financia.

Ante variaciones de igual signo de los tipos de interés, una posición corta (plazo del pasivo superior al del activo) origina resultados contrarios.

La segunda forma de riesgo de mercado es el riesgo de tipo de cambio, el cual las pérdidas pueden originar variaciones en el tipo de cambio de la moneda nacional frente a la moneda en la que están denominados los distintos activos y pasivos.

La tercera forma del riesgo de mercado se refiere a las posibles pérdidas originadas por variaciones en el precio de los valores de renta variable.

Si estas variaciones se deben únicamente a modificaciones de los tipos de interés, se tratará del primer caso de los antes mencionados. En cambio, si las cotizaciones dependen de otros factores como la solvencia de su emisor (su capacidad de generar

beneficios) se tratará de una forma de riesgo de mercado heterogénea respecto a las anteriores.

Frente a todas estas formas de riesgo, el procedimiento de cobertura es el mismo, ya que consiste en realizar operaciones que contribuyen a disminuir la exposición al riesgo, es decir, compra-ventas a plazo o adquisición o emisión de opciones, de forma que las posiciones abiertas previas se cierren total o parcialmente, es decir, el procedimiento de cobertura consiste en asegurar hoy el precio de las operaciones financieras, activas o pasivas, que se tienen que realizar en el futuro.

Por ello, la perfección de la cobertura es tanto mayor en cuánto mas coincidan la posición abierta y la operación de cobertura:

1. Los importes
2. Las fechas o plazos y
3. La variabilidad del precio del instrumento financiero en el que se registra la posición abierta y del activo subyacente en la operación de cobertura, si no son el mismo.

Por tal motivo, si se encuentra exactamente la contrapartida buscada (*a la medida*), se presenta una mayor precisión en las coberturas.

1.3.2. Especulación

Al contrario que en las operaciones de cobertura con las que disminuye el nivel de exposición al riesgo de mercado previamente existente, en las operaciones especulativas se asumen nuevos riesgos, es decir, se abren posiciones.

En gran parte, especulación y cobertura son las dos caras de una misma moneda debido a que la función básica de los mercados a plazo es la de lograr una redistribución de riesgos lo más eficiente posible entre agentes que desean desprenderse de ellos y agentes que, a cambio de una rentabilidad dada o en expectativa desean adquirirlos.

Se pueden llevar a cabo dos operaciones de cobertura (al igual que dos especulativas), pero también se debe entender que sin la presencia de especuladores, la posibilidad de encontrar contrapartida es mucho más remota y las oscilaciones de los precios son mucho mayores en un mercado teórico al que sólo concurren agentes en busca de cobertura.

Por lo tanto es fácil entender que se trata de una actuación que pretende obtener beneficios por las diferencias previstas en las cotizaciones, basándose en las posiciones tomadas según la tendencia esperada. El especulador pretende maximizar su beneficio en el menor tiempo posible, minimizando la aportación de fondos propios.

Si bien es cierto que inicialmente este tipo de productos financieros fueron concebidos buscando eliminar la incertidumbre que generaba la fluctuación del precio

de los activos, tanto en el vendedor como en el comprador, hoy en día se utilizan con dicha filosofía, pero también como sistema de especulación.

Esto se basa en que la contratación de dichos productos permite la administración de riesgos con un alto grado de apalancamiento, lo cual significa que no precisa de grandes desembolsos, mientras que los beneficios, o pérdidas potenciales pueden ser muy cuantiosas.

Por ejemplo para especular con acciones se puede actuar de dos formas:

1. Comprando y vendiendo las acciones propias.
2. Comprando y vendiendo derechos a comprar o vender dichas acciones a un precio determinado.

Evidentemente la segunda opción es más accesible que la primera, ya que la prima necesaria para comprar o vender el derecho de compra o venta de una acción es mucho menor que el valor de la acción, mientras que el beneficio potencial es el mismo. Ésto hace que con el mismo capital se puedan adquirir beneficios mayores.

De esta manera, se puede adquirir un derivado sin gran efecto de impacto o de sensibilidad en relación con los precios de un bien, pero que posteriormente por las condiciones de mercado, ya sea por el movimiento de los precios del instrumento o por la gran volatilidad de los factores de riesgo existentes, se convierte en un efecto de gran sensibilidad o impacto.

Otro aspecto a considerar es que los derivados son un juego de beneficio cero, es decir, si alguien gana, seguramente por otro lado alguien está perdiendo y se le conoce como especulación pasiva o estática.

Es importante mencionar que cuando se posee una posición en firme o un contrato de compra (venta) en el cual se conoce de antemano cual será el precio a pagar (recibir) en el futuro y no se adopta cobertura alguna, también se está especulando, debido a que se está apostando a que el precio en el futuro será la mejor opción y se conoce como especulación pasiva o estática.

La especulación es positiva para el buen funcionamiento del mercado, dotando al mismo de mayor grado de liquidez y estabilidad, así como de un mayor grado de amplitud, flexibilidad y profundidad en la cotización de los contratos. Debe considerarse que la contrapartida negociadora de un especulador es, en numerosas ocasiones, alguien que realiza una operación de cobertura.

Como ya se mencionó, los derivados permiten reducir y cuantificar ciertos tipos de riesgo, sin embargo, también su historia ha estado rodeada de escándalos financieros, en los cuales, una serie de bancos e Instituciones financieras han caído en bancarrota.

Lo anterior ocurre debido a la forma en que los derivados son utilizados, ya que si bien están diseñados para reducir el riesgo, en ocasiones son utilizados como un juego de apuestas que puede salirse de control.

En el siguiente apartado se mencionan algunos de los eventos especulativos (en su mayoría relacionados con derivados) que se han originado a lo largo de la historia.

1.4. Las consecuencias de la especulación

En algunas épocas de la historia, la avaricia ha sido una característica fundamental, donde todos quieren enriquecerse a costa de la última manía, es entonces donde la especulación se puede llegar a adueñar de un país entero.

Para comprobar lo anterior, a continuación se mencionan algunos ejemplos de “burbujas”³ que se construyeron a lo largo del tiempo, tales como la burbuja de los tulipanes holandeses, las “burbujas” inglesas y en las acciones de las compañías más estables de Estados Unidos.

Los precios insostenibles pueden durar años, pero finalmente terminan dando marcha atrás, esta marcha atrás sucede de repente y solo pocos se anticipan a las caídas de precios y logran escapar sin perder grandes cantidades de dinero.

1.4.1. Los tulipanes

La fiebre de los tulipanes fue uno de los eventos más impresionantes de la historia que ocurrió en Holanda a principios del siglo XVII. Los hechos de éste suceso comenzaron en 1593 cuando se introdujo al país una colección de plantas originarias de Turquía.

Los holandeses quedaron fascinados con ésta nueva adquisición que se convirtió en un objeto popular pero costoso durante los diez años siguientes. Muchas de éstas flores adquirieron un virus no mortal denominado “mosaico”. Éste virus fue el desencadenante de la especulación en tulipanes.

A consecuencia del virus, los pétalos de los tulipanes desarrollaban unas franjas de colores de gran contraste, denominadas “llamaradas”. Los holandeses le dieron gran valor a estas flores infectados denominados “raros”. En poco tiempo, el gusto popular dictaminó que cuanto más extraña fuese una flor, más elevado era su valor.

Poco a poco se comenzó a presentar una obsesión por los tulipanes, mientras que los precios de los tulipanes comenzaron a subir descontroladamente. Cuanto más subían dichos precios, más personas empezaban a considerarlos una inversión inteligente.

³Una burbuja económica es un fenómeno que se produce en los mercados, principalmente debido a la especulación. Esto genera una subida anormal y prolongada del precio de un bien subyacente, por lo cual el precio se aleja cada vez más del valor real del producto. El proceso especulativo lleva a nuevos compradores a adquirirlo con el fin de vender a un precio mayor en el futuro.

El precio del activo alcanza niveles realmente elevados hasta que la burbuja acaba por romperse, debido al inicio de la venta masiva del activo cuando hay pocos compradores dispuestos a adquirirlo, lo cual provoca una caída brusca y repentina de los precios, incluso inferiores a su nivel natural.

Todos se imaginaban que la pasión por los tulipanes duraría eternamente y que vendrían a Holanda compradores de todo el mundo y pagarían cualquier precio que se les pidiera.

Ésta fiebre duró aproximadamente de 1634 a 1637, la gente comenzó incluso a cambiar sus pertenencias personales, como terrenos, joyas o mobiliario para conseguir las flores que les harían aún más ricos.

El instrumento que permitió que los especuladores de tulipanes tuviesen el máximo de actividad con su dinero fue la “opción de compra”, similar a la conocida en la actualidad en los mercados financieros.

Una opción de compra daba a su titular el derecho a comprar tulipanes a un precio determinado (generalmente el valor aproximado de mercado en el momento) durante un periodo también determinado. El titular pagaba una cantidad denominada “prima de opción”, que podía variar entre el 15 % y el 20 % por ciento del precio de mercado vigente.

Parece que como sucede en toda crisis especulativa, después de un tiempo, los precios subieron tanto que algunas personas tomaron la decisión de ser prudentes y vendieron sus flores. Enseguida les siguieron otros.

La deflación de los tulipanes creció rápidamente, ante lo cual, el gobierno realizó declaraciones oficiales afirmando que no existían motivos para que descendieran los precios de los tulipanes, pero nadie les prestó atención. Los precios siguieron descendiendo hasta que la mayoría de los tulipanes ya no tenía ningún valor.

De ésta manera los comerciantes se fueron a la bancarrota y se negaron a cumplir con sus compromisos adquiridos para vender más tulipanes.

1.4.2. Los Mares del Sur

En la época de la burbuja de los mares del Sur en Inglaterra, poseer acciones era considerado un privilegio. La compañía de los Mares del Sur que vino a llenar atentamente la necesidad de un medio de inversión fue creada en 1711 para establecer principalmente la fe en la capacidad del gobierno de asumir sus obligaciones financieras.

La compañía se responsabilizó de un pagaré del gobierno de cerca de 10 millones de libras. Como recompensa se le dió el monopolio de todo el comercio con los Mares del Sur. El público consideró que éste comercio generaría grandes riquezas y contempló las acciones de ésta compañía como buena opción para invertir.

En 1720, los directores decidieron capitalizar su reputación ofreciéndose a consolidar toda la deuda nacional, que ascendió a 31 millones de libras esterlinas. Ésta idea era hasta cierto punto absurda, sin embargo, al público le fascinó. Cuando se presentó al Parlamento un proyecto de ley a tal efecto, las acciones se elevaron de 130 libras a 300.

Varios de los amigos y apoyos que mostraron interés en que se aprobara el proyecto recibieron como recompensa, una opción con una peculiaridad: se concedía al individuo una cierta cantidad de acciones sin tener que pagar nada a cambio, más tarde, cuando el precio se elevaba eran “vendidas” de nuevo a la compañía y lo único que tenía que hacer el tenedor era recoger los beneficios.

Cinco días después de que el proyecto se convirtiera en ley, la Compañía de los Mares del Sur puso en venta una nueva emisión de acciones a 300 libras. Ésta emisión se podía adquirir a plazos: 60 libras de desembolso inicial y el resto, en ocho cómodos pagos. Fue entonces cuando se comenzaron a desatar las peleas entre los inversionistas que se desesperaban por comprar.

Para calmar la voracidad del público, los directores de la Compañía de los Mares del Sur anunciaron una nueva emisión, en ésta ocasión el plan de pago era todavía más cómodo: el 10 % de pago inicial sin ningún otro pago durante el año. El precio subió a más de 1000 libras (figura 1.1).

Ni siquiera la Compañía de los Mares del sur era capaz de cubrir las demandas de todos aquellos que querían gastar su dinero. Los inversionistas buscaban otras empresas arriesgadas en las que pudiesen comenzar desde abajo.

Parecía que el público estaba dispuesto a comprar todo. Se crearon nuevas compañías financieras con distintos propósitos, tales como la construcción de buques contra los piratas, la construcción de hospitales para hijos bastardos, la extracción de luz solar de los pepinos y hasta la creación de la rueda de movimiento perpetuo.

En agosto, los propios directores y propietarios de la Compañía de los Mares del Sur se dieron cuenta de que el precio en el mercado de las acciones no guardaba relación con el valor real y decidieron liquidar sus tenencias.

La noticia se filtró y la cotización cayó. En poco tiempo, el precio de las acciones se desplomó; las autoridades gubernamentales intentaron, en vano, restablecer la confianza y a penas se pudo evitar una crisis total del crédito.

Para proteger al público de posteriores abusos, el Parlamento aprobó la Ley de las Burbujas Especulativas (*Bubble Act*), que prohibía a las compañías emitir acciones. Por tal motivo, durante más de un siglo, hubo relativamente pocas acciones en el mercado británico, hasta que fue revocada la ley en 1825.

1.4.3. Wall Street

Los tulipanes y las burbujas son historias muy antiguas, sin embargo también existen algunas más recientes (que no necesariamente hablan de instrumentos derivados), como las que se mencionan a continuación.

Para dar cuenta de ello, se comenta un poco acerca de lo sucedido alrededor de los años 20.

En América, las condiciones eran idóneas, el país disfrutaba de una prosperidad inigualable y las empresas americanas eran tan sólidas, que cualquier persona podía

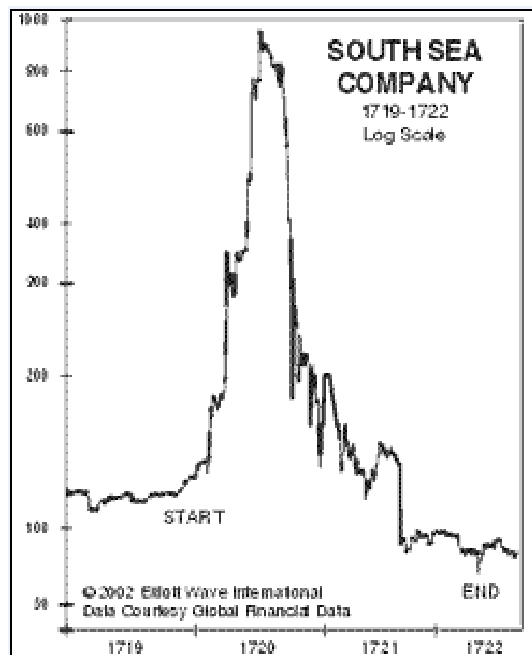


Figura 1.1: Precios de las acciones de la Compañía de los Mares del Sur, 1717-1722

creer fielmente en ellas.

Desde principios de 1928, la especulación en bolsa se convirtió en el pasatiempo nacional. Desde comienzos de marzo de 1928 hasta principios de septiembre de 1929, el crecimiento porcentual del valor del mercado igualó al de todo el periodo desde 1923 hasta principio de 1928. Hubo veces que el alza de precios de las principales sociedades industriales alcanzó los 10 o 15 puntos al día.

No todo el mundo especulaba en el mercado como se suponía generalmente. Los préstamos para comprar acciones (comprar a margen) se incrementaron de 1,000 millones de dólares en 1921 a casi 9,000 millones de dólares en 1929. Desafortunadamente, había cientos de agentes de bolsa, gustosos de “ayudar” al público inversionista a crear burbujas especulativas.

Un ejemplo muy común en éste tiempo fueron los consorcios. El director de consorcio hacía que sus miembros negociaran entre ellos.

El “Individuo 1” le vende 200 acciones al “Individuo 2” a 40 y éste último se las vuelve a vender a 40.25. El proceso se repite con 400 acciones y posteriormente con un paquete de 1,000 acciones. Estas ventas se graban en cintas de cotizaciones de todo el país, transmitiendo una ilusión de actividad a los miles de personas en las oficinas de las sociedades de bolsa del país.

A continuación, los comentaristas del mercado bajo el control del director del

consorcio contaban magníficas perspectivas sobre dicha empresa, con el objetivo de atraer al público.

Una vez logrado el objetivo, el director del Consorcio comenzaba a poner acciones en el mercado, lentamente al principio y después en grandes paquetes, antes de que el público se diera cuenta de lo que estaba ocurriendo. Al final del camino, los miembros del Consorcio habían obtenido enormes beneficios, mientras que el público se encontraba con acciones súbitamente devaluadas en sus manos.

El 3 de septiembre de 1929, los índices del mercado alcanzaron unos niveles que no serían sobrepasados en un cuarto de siglo (figura 1.2).

La cadena interminable de prosperidad se iba a romper en breve. Los precios dieron un cambio en su tendencia al día siguiente y un día más tarde, el 5 de septiembre, el mercado sufrió una fuerte baja.

La confianza comenzó a desfallecer, a veces el mercado descendía bruscamente. Los banqueros y las autoridades gubernamentales aseguraban ante el país que no existía motivo de preocupación.

<i>Acciones</i>	<i>Cotización de apertura el 3-mar-1928</i>	<i>Cotización máxima el 3-nov-1929</i>	<i>% de plusvalía en dieciocho meses</i>
American Telepgone & Telegraph	179 1/2	355 5/8	87,0
Bethlehem Steet	56 7/8	140 3/8	146,8
General Electric	128 3/4	396 1/4	207,8
Montgomery Ward	132 3/4	466 1/2	251,4
National Cash Registrar	50 3/4	127 1/2	151,2
Radio Corporation of America	94 1/2	505	434,5

Figura 1.2: Máximas cotizaciones en 1929

El lunes 21 de octubre, la baja de los precios de las acciones provocó una demanda de mayores garantías colaterales a los clientes que compraban a crédito⁴. El volumen de ventas se elevó repentinamente a unos 6 millones de acciones. Las cotizaciones no podían registrarse con suficiente rapidez en la cinta.

El 24 de octubre, llamado el “jueves negro”, el volumen del mercado alcanzó casi los 123 millones de acciones. Los precios caían a menudo 5 y 10 dólares en cada transacción. Muchas de las emisiones cayeron 40 y 50 puntos en un par de horas.

El martes 29 de octubre de 1929 fue uno de los días más catastróficos de la

⁴La compra de crédito consiste en la compra de acciones depositando no el total de su importe, si no una fracción del mismo en una cuenta a tal efecto abierta con el intermediario bursátil. Se paga el interés por la cantidad tomada en préstamo, pero no hay que abonar el principal hasta que se venden las acciones. Si las cotizaciones caen, los intermediarios ven en peligro la devolución del préstamo y exigen un aumento de las garantías depositadas en la cuenta.

historia de Bolsa de Nueva York. Cerca de 16.4 millones de las acciones se negociaron ese día. Los precios cayeron y siguieron descendiendo en el otoño de 1929 y durante los tres años siguientes (figura 1.3).

Al hundimiento de la bolsa le siguió una de las más devastadoras depresiones de la historia de Estados Unidos.

<i>Acciones</i>	<i>Cotización máxima el 3 de septiembre de 1929</i>	<i>Cotización máxima el 13 de noviembre de 1929</i>	<i>Cotización mínima del año en 1932</i>
American Telepgone & Telegraph	304	197 1/4	70 1/4
Bethlehem Steet	140 3/8	78 1/4	7 1/4
General Electric	396 1/4	168 1/8	8 1/2
Montgomery Ward	137 7/8	49 1/4	3 1/2
National Cash Registrer	127 1/2	59	6 1/4
Radio Corporation of America	101	28	2 1/2

Figura 1.3: Mínimos de las cotizaciones en 1932

1.4.4. Las burbujas recientes

La historia muestra que los incrementos muy pronunciados del precio de las acciones, rara vez son seguidos por un regreso gradual a una estabilidad de precios relativa.

El objetivo principal de los acontecimientos mencionados es la de crear sensibilidad ante las consecuencias de las burbujas especulativas.

Es bien cierto que dichos relatos tienen su lugar en el “pasado”, pero así como éstos acontecimientos, existen algunas burbujas o crisis más “recientes” que sirven para ejemplificar las implicaciones que los derivados pueden tener:

1. La manía que surgió a principios de los 60 respecto a las nuevas emisiones de acciones (“Boom de la trónica”).
2. Las “Nifty Fifty” (las 50 estupendas, entre las que figuraba: IBM, Xerox, Kodak, McDonalds, Disney, entre otras) de los 70 en donde se decidió invertir en Instituciones “sólidas”.
3. La burbuja biotecnológica de los 80 que debe su auge en las emisiones de alta tecnología (como las de una empresa que prometía fabricar robots personales).
4. El increíble aumento de los precios de tierras y acciones japonesas y su derrumbe a comienzos de los 90.

5. La “Locura de Internet” de finales de los 90 que fue sin duda la mayor burbuja del siglo XX. La mayoría de las burbujas ha estado relacionada con algún tipo de tecnología avanzada (como el “boom de la trónica”) o con alguna nueva oportunidad de negocio (como en el caso de la burbuja de los Mares del Sur). La Internet estaba relacionada con las dos: estaba basada en tecnología y suponía nuevas oportunidades de negocio que prometían revolucionar la forma de obtener información y de comprar bienes y servicios; dicha promesa provocó la mayor creación y destrucción de riqueza de todos los tiempos, en la cual se evaporaron más de ocho billones de dólares.
6. La quiebra de Bear Sterns que fue ocasionada por la disminución de los *Collateralized Debt Obligations (CDOs)* en los que tenían varias inversiones y que tenían como subyacente hipotecas subprime que se vieron afectadas por e incremento de los impagos en el mercado inmobiliario de E.U.A.
7. La quiebra de *Lemhan Brothers*, una de las bancas de inversión más importantes de E.U.A. y del mundo. Sus pérdidas se debieron a la posesión de bonos con créditos hipotecarios de baja calidad, o lo que se conoce como la crisis “subprime”. La compañía emitió bonos cuyo flujo se garantizaba con el pago de los préstamos hipotecarios, sin embargo, las tasas de los préstamos comenzaron a subir y la gente dejó de pagar. Al no pagar sus hipotecas, el bono perdió valor y quienes invirtieron en dichos instrumentos asumieron dichas pérdidas.

Cada uno de los ejemplos nos proporciona una advertencia adicional de que no hay inmunidad a los errores del pasado y con frecuencia se cometen errores por pasar por alto la historia y los fundamentos económicos, concluyendo que éste tiempo “es diferente”.

Por dar un último ejemplo, aún más reciente y cercano del manejo de derivados, se habla de manera muy general respecto a México y posteriormente del tercer trimestre de 2008.

El uso en éstos instrumentos en México se expande después de 1995, cuando el peso entró en régimen de flotación, por lo que actualmente existe poco conocimiento y experiencia de uso.

De acuerdo con una investigación realizada por el Vicepresidente de Finanzas del Grupo Mexicano de Desarrollo (GMD), Mario A. González, basada en la información publicada en la Bolsa Mexicana de Valores (BMV) por parte de las empresas públicas, el 40 % de ellas tuvieron pérdidas cambiarias durante el tercer trimestre de 2008 y la mitad de las cuales fueron pérdidas cuantiosas, ya sea como exposición a su posición cambiaria no cubierta o por la adquisición de nuevos riesgos ⁵.

⁵La investigación se basó solo en los resultados de las exposiciones de moneda y se generaliza para el caso del peso versus dólar y no en riesgos de tasa de interés o de tipo de cambio de precios de una materia prima.

Finalmente, lo que se desea de éste capítulo es crear la conciencia de que si bien es cierto que los instrumentos no son “un arma destructiva”, por llamarlos de alguna manera, también la falta de información y mal uso si pueden provocar problemas significativos en cualquier época y país.

Capítulo 2

Características y modelos de valuación

En este capítulo se describen de manera específica las características de los instrumentos financieros derivados y se menciona el conjunto de subyacentes con los que se pueden negociar¹.

Se revisan asimismo cuales son los tipos de mercados de derivados y las razones a las cuales se debe el crecimiento de éstos².

En la parte final del capítulo se muestran el diseño, uso y valuación de los derivados mas comunes (desde los derivados plan vainilla hasta las opciones exóticas)³.

2.1. Introducción

En años recientes dentro de las empresas financieras y no financieras de países desarrollados y de aquellos en vías de desarrollo, existe un interés particular por el tema de los productos derivados⁴.

En la actualidad, prácticamente ningún individuo, empresa, gobierno o proyecto con enfoque de negocios puede ser ajeno a los fuertes impactos provocados por las fluctuaciones de los tipos de cambio, tasa de interés y precios de materias primas, entre otras variables o insumos.

¹Con base en el material del curso sobre mercado de derivados de la Asociación Mexicana de Intermediarios Bursátiles A.C., el artículo de Cecilia Téllez, Antonio de la Torre y Antonio Trujillo “Desarrollo histórico y perspectivas futuras de los mercados financieros derivados OTC”

²Con apoyo en el libro de Alfonso Lara Haro, “*Medición y control de riesgos financieros*”

³Tomando cierta información de los libros: Alfonso Lara Haro, “*Medición y control de riesgos financieros*”, John. C. Hull, “*Options, Futures and other derivatives*” y Joseph Stampfli, “*The mathematics of Finance: modeling and hedging*”

⁴Ya que dichos productos no existían 30 años atrás.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

La mayor parte de la literatura en materia de derivados, como se menciona en el primer capítulo, coincide con las definiciones siguientes:

“Un instrumento financiero derivado es cualquier instrumento financiero cuyo valor se deriva de otras variables” que, en cierta medida, son prioritarios. O bien, “Un producto derivado es un activo financiero que tiene como referencia un activo subyacente”.

Con base en dicha información se puede decir que los instrumentos financieros derivados son contratos cuyo precio depende del valor de un activo, comúnmente denominado el “bien o activo subyacente” de dicho contrato.

Los activos subyacentes pueden ser a su vez instrumentos financieros (una acción, una canasta de acciones, un instrumento de deuda), *commodities* (el oro o el petróleo), o indicadores financieros (un índice bursátil) e incluso el precio de otro instrumento derivado.

En la siguiente tabla se muestran más ejemplos de dichos subyacentes:

Acciones	Nacionales e internacionales
Índices accionarios	NYSE Composite, NASDAQ 100, S-P 500.
Tasas de interés	Libor, eurodolar, TIIE, libor euro.
Divisas	Dólar americano, libra esterlina, yen japonés.
Granos	Maíz, avena, trigo, soya, arroz.
Carne	Cerdo, ganado en engorda.
Alimentos	Azúcar, café, algodón.
Energéticos	Cobre, petróleo, oro, platino.

Como se mencionó en el primer capítulo, la finalidad de estos instrumentos es administrar el riesgo que resulta de movimientos inesperados en el precio del bien subyacente entre los participantes que quieren evitarlo o disminuirlo y aquellos que desean asumirlo.

En el primer caso se encuentran los individuos o empresas que desean asegurar el precio futuro del activo subyacente, así como su disponibilidad, mientras que en el segundo están los individuos o empresas que esperan obtener una ganancia que resulta de los cambios en el precio del subyacente.

Los productos derivados internacionales más usados y conocidos son las opciones, los futuros, los *forwards*, los *swaps* y las combinaciones de éstos, los cuales se utilizan con fines de cobertura o especulación en los mercados.

El crecimiento asombroso de éstos mercados se debe principalmente a tres motivos:

1. El incremento de la fluctuación de los precios de materias primas, las tasas de interés, los tipos de cambio y títulos accionarios durante la década de los 80's

que fue uno de los periodos más volátiles de la historia. En los últimos años la volatilidad de dichas variables ha obligado a los agentes económicos a reducir sus riesgos mediante la participación en los mercados de derivados.

2. Los avances tecnológicos en telecomunicaciones y sistemas de información que han permitido la globalización de los mercados financieros. En la actualidad billones de dólares se mueven de un país a otro en cuestión de segundos, no solo para obtener los mejores rendimientos de los recursos invertidos, también para cubrir el riesgo inherente a su inversión.
3. Mayor conciencia para medir y administrar los riesgos del negocio con el fin de ser más competitivos y poder integrarse a las nuevas oportunidades del mercado. De hecho, el nuevo concepto de “hacer negocios” consiste en comprar o vender un producto, fijando por anticipado el precio del mismo (o su margen financiero) en el momento más rentable para asegurar las ganancias esperadas.

Por otra parte, la existencia de un mercado de derivados organizado se debe a cuatro razones principales que se mencionan a continuación:

1. Determinación de precios. A través de este mercado, los precios se forman eficientemente y llegan a un equilibrio de acuerdo con las condiciones de la oferta y la demanda.
2. Diseminación de precios. Por medio de las bolsas de futuros o de opciones, la difusión de precios a todos los participantes del mercado es inmediata y por tanto, se conocen en todo el mundo en sistemas de tiempo real.
3. Niveles de apalancamiento⁵.

Los productos derivados resultan mucho más baratos que otros instrumentos debido al apalancamiento que tienen implícito. Es decir, con un monto mucho menor al valor nominal, es posible comprar estos instrumentos.

4. Canales de distribución alternos. Especialmente en el caso de los *commodities*, el productor puede entregar su producto a los almacenes reconocidos por las bolsas de futuros y que están determinados en el contrato negociado. No obstante esta característica, se debe señalar que solo el 3% de las transacciones de futuros culminan en la entrega física del producto.

⁵El apalancamiento es una estrategia financiera que está asociada con la forma de financiarse y de gastar. Se deriva de la palabra “palanca”, que sirve para lograr fácilmente utilidades que de otra manera necesitaría más esfuerzo obtener. Comúnmente el inversionista prefiere recurrir a una deuda, que a su propio capital para financiar la adquisición de un instrumento que posiblemente le traerá beneficios considerables, por tanto, la inversión es más apalancada al invertir una menor cantidad de capital del esperado con el fin de obtener resultados económicos y financieros adecuados.

2.2. Los mercados de derivados

2.2.1. Mercados organizados

En los Mercados Organizados se cumplen una serie de características tales como la centralización de las operaciones en un lugar (físico o virtual), la tipificación o normalización de los contratos, la transparencia de las cotizaciones, el aseguramiento de las liquidaciones mediante la Cámara de Compensación⁶.

Como ejemplos de este tipo de mercados se encuentran: “*Chicago Board of Trade*” (CBOT), “*Chicago Board Options Exchange*” (CBOE) y “*Philadelphia Stock Exchange*” (PHLX), en Estados Unidos de América, Mercado Mexicano de Derivados (MexDer) en México, “*European Options Exchange*” (EOE) en Holanda, “*London International Financial Futures Exchange*” (LIFFE) en Reino Unido, “*Marché a Terme International de France*” (MATIF) en Francia, “*Swiss Financial Futures Exchange*” (SOFFEX) en Suiza, “*Deutsche Terminbourse*” (DTB) en Alemania, “*Mercato Italiano Futures*” (MIF) en Italia.

Suecia, Bélgica, Noruega, Irlanda, Dinamarca, Finlandia, Austria, Portugal, Japón, Canadá, Brasil, Singapur, Hong Kong y Australia también cuentan con mercados organizados de productos derivados.

Cabe mencionar que los contratos de futuros y opciones son los derivados más comunes a negociar en éste tipo de mercados.

A manera de ejemplo, en México, el Mercado Mexicano de Derivados (MexDer) es el mercado que tiene por objeto proveer las instalaciones y demás servicios para que se coticen y negocien los contratos de futuros y contratos de opciones; por ello su principal función es proporcionar la infraestructura necesaria para que quienes participan en éste mercado lleven a cabo la compra venta de dichos contratos.

El MexDer en conjunto con Asigna que es la Cámara de Compensación desarrolla herramientas que facilitan la cobertura contra el movimiento de los precios de los activos subyacentes, la administración de riesgos y la eficiencia en el manejo de portafolios de inversión.

MexDer proporciona entre otras ventajas, las siguientes:

- La diversidad de Instrumentos para cubrir las necesidades en materia de cobertura e inversión, instrumentos de deuda, acciones, índices sobre acciones, divisas, entre otros.

⁶Una cámara de compensación tiene como función la de ser garante de todas las obligaciones financieras que se generan por las operaciones de productos derivados estandarizados.

De éste modo asume la responsabilidad de ambos participantes en caso de cualquier problema, asegurando así la integridad financiera de cada contrato abierto.

Es decir, asegura a los participantes el ejercicio de sus derechos, asumiendo y administrando el riesgo de contraparte, existen depósitos de garantías por posiciones abiertas, hay liquidación diaria de pérdidas y ganancias por posiciones abiertas, así como liquidaciones al vencimiento de los contratos.

- La transparencia debido a que se cuenta con un sistema automatizado que proporciona información veraz y oportuna a los participantes y público en general.
- La solidez debido a que cuenta con el respaldo de la cámara de compensación (Asigna)

2.2.2. Mercado *Over the Counter*

No todas las transacciones de derivados se realizan en los mercados organizados, existe otra alternativa de mercado que se conoce como “sobre el mostrador” (*Over the Counter, OTC*), el cual ha adquirido una creciente importancia desde inicios de los años 80’s y hoy en día es mucho mayor que el mercado organizado.

El mercado *OTC* consiste en una red telefónica e informática de agentes (*dealers*) sin presencia física de los mismos. Las operaciones se realizan por teléfono entre instituciones financieras, tesoreros, corporativos y gestores de fondos y existe una amplia variedad de activos subyacentes.

Las instituciones financieras actúan frecuentemente como creadores de mercado de los instrumentos sujetos a intercambio. Esto significa que están siempre dispuestas a registrar un precio de compra y un precio de venta.

Las conversaciones telefónicas en el mercado *OTC* normalmente son grabadas, si se presenta algún conflicto sobre lo que se acordó, las cintas se vuelven a pasar para resolver la confusión.

Algunas de las ventajas clave de éste mercado es que el objetivo y términos de la contratación no tienen por qué ser forzosamente los que se especifican en el mercado organizado. Los participantes son libres para negociar sobre cualquier acuerdo que les resulte mutuamente atractivo.

Por otro lado una de las mayores desventajas es el riesgo de contraparte (*default*) al que el comprador está siempre expuesto en caso de que el emisor no pueda responder a su compromiso.

En un intento por superar dicha desventaja, los participantes en el mercado actualmente adoptan un cierto número de medidas (como requerir a la parte contraria fijar garantías) con lo que se pueda disminuir el riesgo de contraparte.

Los instrumentos negociados en el mercado *OTC* están a menudo estructurados por instituciones financieras para responder a las necesidades específicas y concretas de sus clientes. A veces ésto incluye la elección de fechas, precios, tasas de ejercicio y/o montos nominales que son diferentes a los negociados en el mercado organizado.

En los mercados *OTC* los instrumentos más negociados son los *swaps*, las operaciones a plazo (*forward*), las opciones (*caps, floors, collars*), así como los derivados exóticos que son estructuras de operaciones derivadas diferentes a los estándares

conocidos (opciones compuestas, opciones *chooser*, binarias, bermuda o *swaptions*, entre otros).

2.3. Características de los Derivados

En esta sección se describen las características, las representaciones gráficas de los esquemas de ganancia y pérdida y algunos ejemplos cuantitativos de los derivados mas comunes que se mencionaron en el apartado anterior y que son negociados tanto en los mercados organizados como en los mercados *OTC* entre las instituciones financieras como no financieras a nivel mundial.

2.3.1. Futuros y *forwards*

Los *forwards* son acuerdos entre dos partes sobre una compra-venta de un bien denominado subyacente en una fecha futura especificada y a un precio previamente acordado. Es decir, la operación de compra venta se pacta en el presente, pero la liquidación (entrega del bien o del dinero en efectivo) ocurre en el futuro.

Estos contratos son realizados en los mercados *OTC* y no existen autoridades ni leyes específicas que regulen las transacciones que se llevan a cabo entre dos instituciones financieras y un cliente corporativo (en su mayoría).

Por su parte, los Futuros funcionan de la misma forma que los contratos *forward*, a diferencia de que solo se comercializan en mercados organizados.

En los contratos *forward* existen dos posiciones:

Posición larga. Se adquiere cuando una de las partes sabe que va a tener que comprar cierto activo en el futuro y quiere asegurar, desde un primer momento el precio que pagará por él.

Posición corta: Se adquiere cuando una de las partes ya cuenta con un activo y se espera venderlo en algún momento en el futuro.

Las variables de un contrato *forward* son las siguientes:

- Precio futuro (*forward*). Es el valor presente del precio del bien subyacente en la fecha de entrega y cambia día con día.
- Precio pactado (*strike*). Es el precio fijo establecido del bien subyacente a la fecha de entrega. Teóricamente el precio pactado debería ser igual al precio *forward* al inicio del contrato, después de ese momento es el mismo durante toda la vigencia del contrato.

- Fecha de vencimiento. Es la fecha de entrega del contrato y la entrega del bien subyacente.
- Precio de mercado (*spot*). Es el precio del bien subyacente vigente en el mercado para su compra o venta inmediata.
- Precio del contrato. Que siempre es cero para ambas partes, es decir, no implica ningún costo adicional el adquirir cualquier posición de las ya especificadas.

Esquema de pérdidas y ganancias (*payoff*)

El *payoff* es una representación gráfica que muestra las ganancias o pérdidas a la fecha de vencimiento de los contratos *forward*, dependiendo de la posición adquirida.

Esquema de pérdidas y ganancias para un forward largo

El *payoff* de la posición larga es igual al precio de mercado del bien subyacente a la fecha de vencimiento ST menos el precio pactado del contrato *forward* (K), es decir $(ST - K)$. Dicho esquema se muestra en la figura 2.1.

Esquema de pérdidas y ganancias para un forward corto

De la misma manera, el *payoff* de la posición corta es igual al precio pactado del contrato *forward* (K) menos el precio de mercado del bien subyacente a la fecha de vencimiento ST , es decir $(K - ST)$. Dicho esquema se muestra en la figura 2.2.

Ejemplo

El siguiente es un ejemplo que muestra la mecánica de cobertura mediante un contrato *forward* en el que el subyacente es el tipo de cambio MXN/USD (peso/dólar).

Cabe mencionar que el objetivo de adquirir un instrumento con fines de cobertura es compensar la ganancia o pérdida que se obtiene con el instrumento derivado con la ganancia o pérdida del precio del subyacente en el mercado. Una compañía mexicana, “Juguete”, importadora de juguetes necesita USD 10,000,000 dentro de 6 meses para pagar sus importaciones de fin de año. La compañía está expuesta al riesgo de tipo de cambio debido a que sus ingresos los capta en pesos (MXN) y por cuestiones de mercadotecnia no puede modificar sus precios de lista por ningún motivo, por lo cual, es fácil detectar que el movimiento en el tipo de cambio del dólar es sumamente importante.

Dicha compañía quiere cubrir su riesgo y decide pactar un *forward* con el Banco “X”, a un precio fijo de 13 pesos por dólar (MXN/USD) con vencimiento a seis meses, adquiriendo de ésta manera una posición larga.

El esquema de pérdidas y ganancias en este ejemplo se muestra en la figura 2.3.

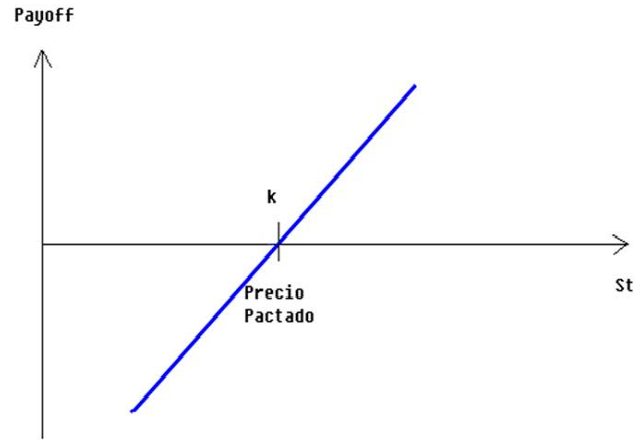


Figura 2.1: Esquema de pérdidas y ganancias de un *forward* largo

Como se puede apreciar en dicha figura, la Compañía obtiene una ganancia si al vencimiento del contrato el tipo de cambio MXN/USD es mayor al pactado, en caso contrario, una pérdida. Por ejemplo, si al vencimiento del contrato, el precio de mercado es igual a MXN 14, entonces la Compañía gana MXN 1 por cada dólar cubierto. En otro caso, si el dólar cierra a MXN 12, entonces la Compañía perderá lo equivalente a MXN 1 por dólar cubierto.

2.3.2. Futuros de tasa de interés

En esencia, un contrato futuro de tasa de interés es un acuerdo entre dos partes en el que el vendedor se compromete a otorgar un préstamo al comprador por un monto, en una moneda en particular (monto notional) y a una tasa fija (tasa pactada o tasa *strike*) por un periodo de tiempo específico.

El comprador del futuro es quien adquiere un préstamo a tasa fija y se protege contra el alza en la tasa de interés. El objetivo del comprador es cubrir una posible alza en las tasas de interés, o bien, especular.

El vendedor del futuro es la contraparte que otorga el préstamo a tasa fija. Por tanto, el vendedor está protegido contra una baja en las tasas de interés, pero debe pagar al comprador si las tasas de interés suben. Al igual que el comprador, el vendedor otorga el préstamo para cubrir una posible baja en las tasas de interés, o bien para especular.

Cabe señalar que el día de la liquidación acordado, las contrapartes se liquidan únicamente la diferencia entre la tasa original pactada y la tasa que prevalece en el mercado cuando el futuro llegue a su vencimiento.

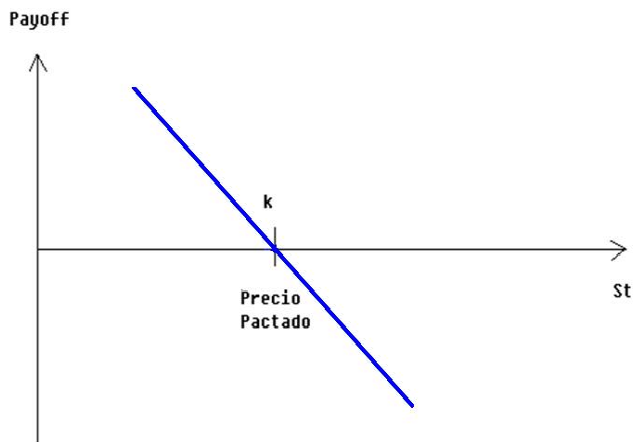


Figura 2.2: Esquema de pérdidas y ganancias de un *forward* corto

Ejemplo

El siguiente ejemplo muestra el proceso de cobertura con un contrato futuro de tasa de interés TIIIE a 28 días.

La Compañía “Deloi” tiene la necesidad de un financiamiento por MXN 10,000,000 dentro de un mes y por un plazo de tres meses.

El préstamo que ha conseguido la Compañía es un préstamo con pago de intereses variables sobre una tasa de interés TIIIE (Tasa de Interés Interbancaria de Equilibrio que publica Banco de México).

Actualmente el valor de la tasa TIIIE a 28 días está alrededor del 7%, sin embargo la Compañía tiene la preocupación de que dicha tasa presente movimientos desfavorables (incremento de la tasa) durante los meses siguientes al pago del préstamo.

En este caso se tienen dos escenarios, el primero consiste en no realizar operación adicional y asumir el riesgo que puede ocasionar el comportamiento de la TIIIE, por la otra parte, comprar un futuro sobre tasa de interés por un periodo de tres meses para cubrirse de las posibles pérdidas. La Compañía opta por la segunda opción.

Uno de los intermediarios financieros le ofrece a la Compañía una tasa fija del 7.5%. Por una parte, la Compañía está asegurando su costo de financiamiento sobre los MXN 10,000,000 y por la otra, el intermediario está recibiendo una tasa más atractiva que la que se encuentra vigente en el mercado.

Al suponer que al término del primer mes, la tasa de interés TIIIE se encuentra con un valor (costo para la Compañía) del 8.6% anual, entonces la Compañía tiene que pagar intereses a una tasa del 8.6% por dicho préstamo; sin embargo, gracias a la adquisición del instrumento derivado, recibe de su contraparte la cantidad exacta

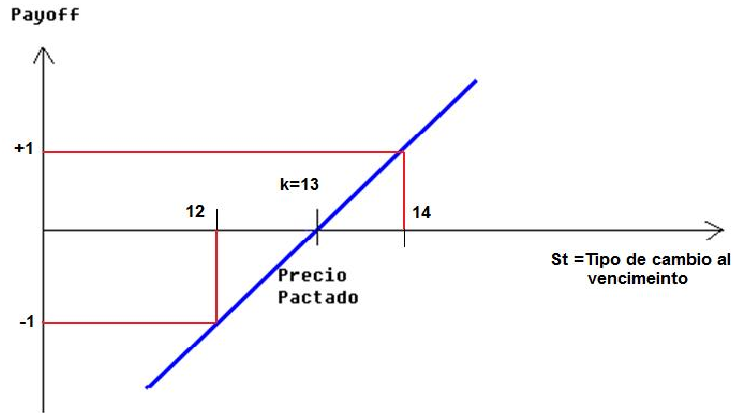


Figura 2.3: Esquema de ganancias y pérdidas de la empresa *Jugueti*

para compensar la diferencia del 1.1 % en la tasa de interés y no tiene pérdida alguna.

2.3.3. Swaps

Los *swaps* son acuerdos privados entre dos particulares para intercambiar flujos monetarios de una manera preestablecida que se negocian en los mercados *OTC*.

Los *swaps* se originaron en la década de los 70's y se desarrollaron con gran intensidad en la década de los 80's. En la actualidad, el mercado de los *swaps* es impresionante.

Por tal motivo y con el fin de estandarizar los contratos de dichos instrumentos se creó la Asociación Internacional de Swaps y Derivados (ISDA), que ha homologado los parámetros de los *swaps* a nivel internacional. Sin embargo, hoy en día hay un número importante de características particulares que deben ser negociadas.

Los parámetros principales son: las tasa de interés que rigen durante la vida del contrato, la frecuencia de los pagos o cupones (cada 28 días, mensual, trimestral, semestral o anual) y la convención de los días que hay que aplicar (360 o 365 días al año).

Se puede decir que la mayoría de los *swaps* se clasifican en alguna de las cuatro categorías siguientes:

1. Tasas de interés
2. Divisa
3. Commodities
4. Acciones

Swaps de tasa de interés (Interest Rate Swap)

Los *swaps* son acuerdos en los que una de las partes paga un flujo de efectivo sobre una tasa fija y otra parte paga flujos de efectivo sobre una tasa flotante o variable, ambos sobre el mismo monto llamado “nacional” .

El primer pago curre al final del primer cupón y las contrapartes únicamente se liquidan el neto de la posición (la diferencia entre ambos flujos de efectivo). El ciclo se repite hasta el pago final, que se realiza al vencimiento del contrato y generalmente es de tres a diez años.

Un *swap* de tasa de interés es similar a los futuros de tasa de interés, sin embargo, éste opera en múltiples periodos y es negociado en los mercados *OTC*.

La representación del comportamiento de un *swap* se puede apreciar en la figura 2.4.

Ejemplo

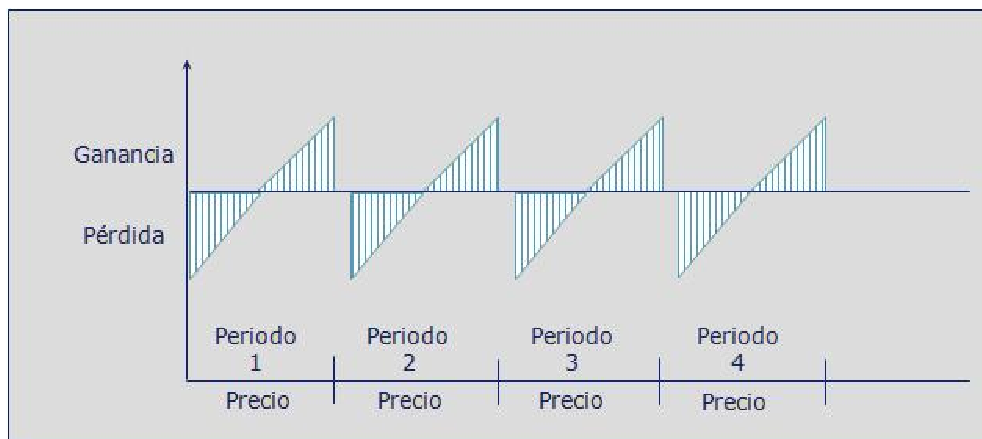


Figura 2.4: Esquema de pérdidas y ganancias de los *swaps*

Una compañía acuerda pagar un flujo de efectivo fijo semestral a una tasa anual del 8 % sobre un monto nacional de MXN 100,000,000 y recibe de la contraparte un flujo de efectivo correspondiente a la tasa TIEE a 28 días sobre el mismo monto nacional.

En caso de que la tasa TIEE a 28 días incremente su valor por encima del 8 % anual, la contraparte obtiene ganancias, pero pierde si dicha tasa de referencia es menor al 8 %.

Swap de divisa (*Cross Currency Swap*)

Otra modalidad de los *swaps* es sobre el tipo de cambio de una moneda con respecto a otra, denominado *swap* de divisa (*Cross Currency Swap*). En su forma más sencilla implica intercambios de liquidaciones de notional e intereses a una tasa fija en una divisa, por notional e intereses de tipo fijo, en otra divisa, aunque los flujos o pagos también pueden acordarse como sigue:

- Ambos en tasa fija
- Ambos en tasa flotante
- Uno en tasa fija y otro en tasa flotante.

Un acuerdo de una *swap* sobre divisas requiere especificar el monto notional en ambas divisas. Los montos se suelen intercambiar al principio y al final de la operación. Normalmente, los montos notionales se eligen para que sean aproximadamente equivalentes utilizando el tipo de cambio al inicio del *swap*.

En la siguiente figura 2.5 se puede observar cómo se presentan sus correspondientes flujos de efectivo.



Figura 2.5: Flujos de un *swap* de divisa

2.3.4. Opciones

Los contratos de opciones son diseñados para que el comprador (posición larga) de la opción se beneficie de los movimientos de mercados en una dirección, pero no sufra pérdidas como consecuencia de movimientos del mercado en la otra dirección.

Una opción le da al comprador de la opción, el derecho mas no la obligación de ejercer el contrato (comprar o vender el bien subyacente). Los tipos de opciones más conocidos son las opciones de compra (*call*) y las de venta (*put*).

Un *call* le da la opción al comprador (quien adquiere la posición larga), a comprar el subyacente a un precio previamente determinado (precio de ejercicio) y en una fecha acordada (tiempo de ejercicio), mientras que el vendedor de la opción (quien adquiere la posición corta) tiene la obligación de vender al poseedor a dicho precio.

Por su parte, un *put* le da la opción al comprador (posición larga) a vender el subyacente a un precio de ejercicio y en una fecha de vencimiento. Quien suscribe la opción se compromete a comprar a la otra parte al precio acordado.

En la siguiente imagen 2.6 se pueden apreciar los tipos de opciones existentes.

	Opción de compra	Opción de venta
Posición larga	Derecho de Comprar	Derecho de Vender
Posición corta	Obligación de Vender	Obligación de Comprar

Figura 2.6: Tipos de Opciones

Para adquirir una opción, el comprador tiene que pagar al vendedor una prima al inicio del contrato, cuyo valor es inferior al monto nominal. El vendedor, por su parte, recibe la prima y no la devuelve al comprador en ningún caso. Si el comprador no ejerce su derecho, pierde la prima.

Dicha prima está en función del periodo de expiración del contrato, la volatilidad, los rendimientos del subyacente y la tasa de interés libre de riesgo.

Por otra parte existen cuatro esquemas de pérdidas y ganancias dependiendo del tipo de opción que se contrate y de la posición que se adquiere. El esquema de pago depende del precio pactado y del precio de mercado que se presente en el momento del ejercer la opción.

En la figura 2.7 se muestran los esquemas de las opciones de comprar y venta.

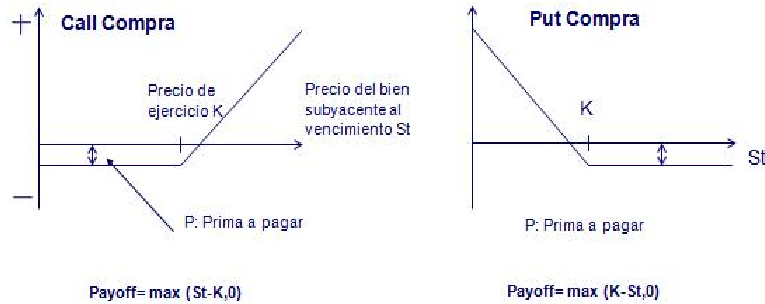


Figura 2.7: Posición larga

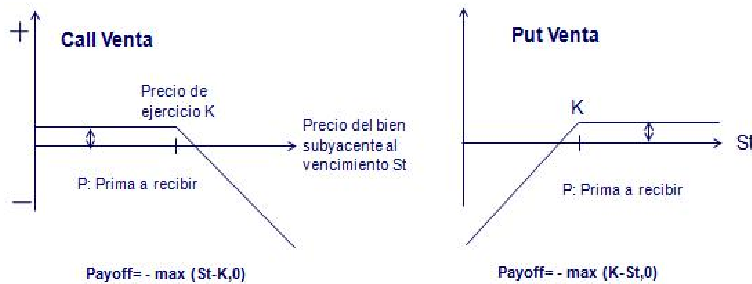


Figura 2.8: Posición corta

Las opciones también se clasifican de acuerdo a la fecha en que pueden ser ejercidas. Si la opción solo puede ser ejercida al vencimiento de la misma, entonces se conoce como una opción europea; en cambio, si puede ser ejercida en cualquier momento desde su inicio hasta su vencimiento, se denomina opción americana.

Combinación de opciones

Con base en las opciones antes descritas se pueden construir diferentes estrategias que consisten en las combinación de dos o más de ellas (de compra o de venta).

En el siguiente apartado se presentan algunos ejemplos con las estrategias usuales que resultan de la combinación de algunas opciones.

Bull spread

El *Bull spread* es una estrategia también conocida como cobertura alcista. Dicha estrategia se crea con la compra de una opción de compra con un precio de ejercicio $K1$ y al mismo tiempo, la venta de una opción de compra sobre el mismo subyacente, pero con un precio de ejercicio igual a $K2$, donde $K2$ es mayor que $K1$. Cabe

mencionar que ambas opciones tienen la misma fecha de vencimiento.

El esquema de pérdidas y ganancias de dicha combinación se presenta en la figura 2.9.

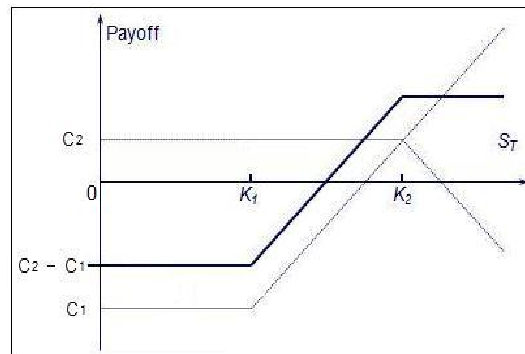


Figura 2.9: *Bull spread*, compra y venta de dos opciones de compra con precios de ejercicio K_2 y K_1 respectivamente. C_1 y C_2 son las primas de las opciones

Bear spread

Quien adquiere la posición corta de una estrategia *Bear spread* o cobertura a la baja, espera que el precio del subyacente se incremente en el tiempo. Por el contrario quien compra la combinación está suponiendo que el precio de las acciones puede bajar mientras la opción tiene vigencia.

Al igual que un *Bull spread*, éste se puede crear con la compra de una opción *call* con un precio de ejercicio K_1 y la venta de una opción *call* con un precio de ejercicio K_2 . Pero en este caso K_1 es mayor que K_2 .

El esquema de pérdidas y ganancias de dicha combinación se presenta en la figura 2.10.

Butterfly

Un diferencial *Butterfly* también conocido como estrategia de mariposa, incluye tomar tres posiciones sobre las opciones con tres precios de ejercicio distintos.

La estrategia se puede crear con la compra de una opción *call* con un precio de ejercicio relativamente bajo K_1 , con una segunda compra de un *call* con un precio de ejercicio relativamente alto K_3 y finalmente, con la venta de dos opciones *call* con precio de ejercicio K_2 , donde K_2 es el promedio de K_1 y K_3 .

Un *butterfly* produce beneficios si el precio de las acciones permanece cerca de K_2 pero da una pequeña pérdida si hay un movimiento significativo en el precio de

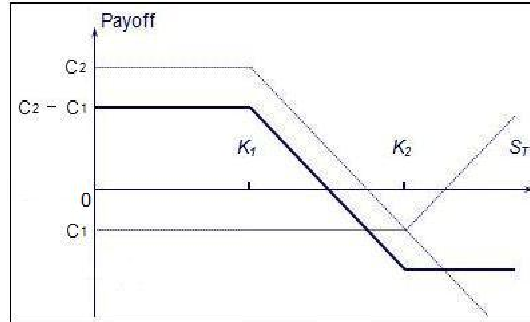


Figura 2.10: *Bear spread*, compra y venta de dos opciones *call* con precios de ejercicio K_1 y K_2 respectivamente. C_1 y C_2 son las primas de las opciones.

las acciones en cualquier dirección. Por lo cual es apropiado para un inversionista que piensa que no se van a producir grandes movimientos en el precio del subyacente.

El esquema de pérdidas y ganancias de la estrategia mariposa se muestra en la figura 2.11.

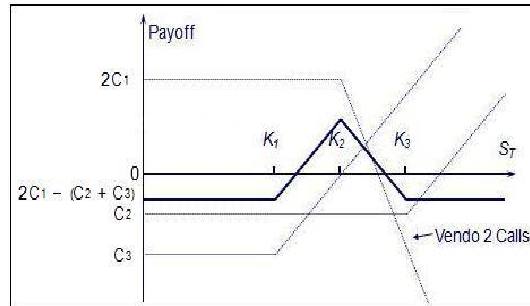


Figura 2.11: Diferencial mariposa, con opciones sobre tres precio de ejercicio distintos $0 < K_1 < K_2 < K_3$. C_1 , C_2 y C_3 son las primas de las opciones.

Straddle

Otra de las combinaciones más conocidas es el *straddle* o cono, el cual consiste en comprar una opción *put* y una opción *call*, ambas con el mismo precio de ejercicio K . Si el precio del subyacente es similar al precio de ejercicio al vencimiento de las opciones, la estrategia produce una pérdida. Sin embargo, si hay un movimiento suficientemente grande en cualquier dirección, la estrategia arroja una ganancia.

El esquema de pérdidas y ganancias de un *straddle* se presenta en figura 2.12, en el cual se puede apreciar la forma de un cono.

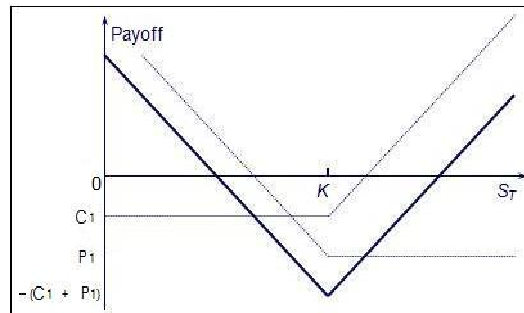


Figura 2.12: *Straddle*, una combinación de un *call* y un *put* con el mismo precio de ejercicio K . C_1 y P_1 son las primas de las opciones.

Dicha estrategia es conveniente cuando el inversionista espera un movimiento grande en el precio del bien subyacente pero no sabe en qué dirección se puede presentar.

2.3.5. Opciones Exóticas

Uno de los aspectos más interesantes del mercado de derivados *OTC* es el gran número de productos exóticos que han sido creados para satisfacer las necesidades del mercado.

Los derivados exóticos son importantes para una institución financiera debido a que permiten mayor flexibilidad y modelación a sus clientes, creando estrategias que sean más rentables que los derivados simples o derivados (vainilla).

Las opciones exóticas también son conocidas como opciones no estándar y en ocasiones denominadas opciones de segunda y tercera generación de acuerdo con su complejidad.

Se pueden identificar fácilmente debido a que presenta características, incluyendo precio de ejercicio, precio de activo subyacente, condiciones de vencimiento, fecha de vencimiento, condiciones de ejercicio, liquidación, entre otras, que difieren de las opciones estándar de compra y venta.

Por lo general, tales instrumentos tienen condiciones únicas, hechas a medida del cliente e involucran una cierta dificultad adicional en los métodos de valuación de las mismas (en comparación con las opciones vainilla). Estas categorías se negocian en el mercado extrabursátil y normalmente son de tipo europeo.

Las opciones exóticas le permiten al inversionista ampliar su abanico de posibilidades, pudiendo armar una posición con base en prácticamente cualquier activo, indicador económico o evento en particular.

Ésto implica que en muchos casos se puede tratar de activos con poca liquidez y de difícil acceso para el inversionista que está dando sus primeros pasos. Sin embargo,

presentan algunas características muy interesantes y le permiten diseñar estrategias prácticamente a medida de sus deseos e intereses.

Algunos de los tipos de opciones exóticas que existen en el mercado son las siguientes:

1. Opciones compuestas. Son opciones sobre opciones y existen cuatro tipos fundamentales: una opción de compra sobre una opción de compra, una opción de venta sobre una opción de compra, una opción de compra sobre una de venta y una de venta sobre otra de venta. Las opciones compuestas tienen dos precios de ejercicio y dos fechas de ejercicio. Dichas opciones son generalmente más sensibles a la volatilidad que las opciones *plain vanilla*.
2. Opciones *chooser*. Después de un periodo específico de tiempo, el comprador de estas opciones puede elegir si la opción es de compra o de venta.
3. Opciones barrera. Las opciones barrera son las opciones en las que los beneficios brutos dependen de si el precio del activo subyacente alcanza cierto nivel durante un periodo de tiempo establecido y son atractivas para ciertos participantes en el mercado debido a que no son tan caras como las opciones estándar.

Las opciones barrera se pueden clasificar a su vez como opciones con barrera de salida (*knock-out*) y opciones con barrera de entrada (*knock-in*). Una opción *knock-out* deja de existir cuando el precio del activo subyacente alcanza determinado nivel, mientras que una opción *knock-in* existe a partir de que el activo subyacente alcanza cierto nivel.

4. Opciones digitales. Las opciones digitales son opciones con pagos discontinuos. Un ejemplo es la opción digital de compra, dicha opción no paga nada si el precio del bien subyacente termina por debajo del precio de ejercicio a la fecha de vencimiento y paga una cantidad fija si concluye por encima del precio de ejercicio. Por el contrario, en una opción de venta, se paga una cantidad fija si el precio del subyacente está por debajo del precio de ejercicio y nada si está por encima del precio de ejercicio a la fecha de vencimiento.
5. Opciones *lookback*. Los pagos procedentes de las opciones *lookback* dependen del precio máximo o mínimo que haya presentado el activo subyacente alcanzado durante la vida de la opción. El pago generado por una opción de compra europea *lookback* es la cantidad en que el precio final del activo subyacente excede al precio mínimo alcanzado por el subyacente durante la vida de la opción.

El pago generado por una opción de venta *lookback* es la cantidad en la que el precio máximo del subyacente alcanzado durante la vida de la opción excede

al precio final del bien.

Una opción de compra *lookback* es un alternativa que posibilita que un propietario pueda comprar el activo subyacente al mínimo precio alcanzado durante la vida de la opción, De forma similar, una opción de venta *lookback* hace que su propietario pueda vender el bien subyacente al máximo precio alcanzado durante la vida de la opción.

6. Opciones asiáticas. El valor de estas opciones depende de un promedio de los valores que se hayan presentado sobre la evolución del activo subyacente durante cierto periodo de tiempo. Las opciones promedio son menos costosas que las europeas normales y en ocasiones son más apropiadas que las opciones estándar para cubrir las necesidades de alguna entidad, precisamente por depender del promedio del precio del subyacente y no de un precio específico.

2.4. Valuación

El valor de los Instrumentos financieros derivados cambia de un momento a otro debido a la variación en los parámetros de los instrumentos, así como la variabilidad en los insumos o factores de riesgo que se obtienen en el mercado financiero. Por tal motivo vale la pena que el valor de dichos instrumentos sea monitoreando y contabilizado adecuada y frecuentemente, para evitar los cambios bruscos en los estados contables de las Instituciones financieras como los grandes Corporativos no financieros.

En este apartado se presentan técnicas y modelos de valuación de algunos de los Instrumentos derivados que se describieron en la sección anterior, así como ejercicios cuantitativos para ejemplificar el valor de cada uno de ellos a través del tiempo de vigencia.

Una parte importante acerca de la valuación de los derivados, es el “principio de no arbitraje” que menciona que en los derivados, ambos participantes tienen la misma probabilidad de perder o ganar en la fecha de término del contrato. A continuación se describe con mayor detalle el concepto de este principio.

2.4.1. Principio de no arbitraje

El arbitraje es el objeto de un grupo muy importante dentro de los mercados de derivados, debido a que supone la obtención de un beneficio libre de riesgo por medio de transacciones realizadas en uno o más mercados.

Uno de los conceptos fundamentales en la teoría de los derivados es la ausencia de oportunidades de arbitraje, llamado “Principio de no arbitraje”.

Si el mercado financiero funciona correctamente, tal oportunidad de arbitraje no puede existir puesto que los participantes están alerta a las variaciones y responden

tan pronto como es posible, sin embargo, cuando existe un costo de transacción, lo cual es muy común a causa de la fricción del mercado, las pequeñas diferencias en precios pueden continuar.

En un lenguaje más riguroso, una oportunidad de arbitraje se puede definir como una estrategia de auto-financiamiento, la cual no requiere una inversión inicial y no existe una probabilidad de valor negativo en la fecha de vencimiento, ni la posibilidad de un esquema de pérdidas y ganancias positivo, es decir, si el portafolio y el producto derivado generan el mismo rendimiento, entonces ambos tienen el mismo valor, pero con signos contrarios.

Si se tienen diferentes valores en el mercado, se presenta una oportunidad de arbitraje, es decir, el inversionista puede vender el producto más caro y simultáneamente comprarlo barato, obteniendo una ganancia sin correr algún riesgo.

Por tal motivo el valor de un producto derivado debe ser igual al costo de construir un portafolio.

Como ejemplo se tienen a un inversionista que vende un *forward* sobre una acción a un año. El inversionista se compromete a entregar acciones dentro de un año y recibir el pago de las mismas a un precio acordado el día de hoy.

Dicho contrato contempla 100,000 acciones, entonces para determinar el precio *forward* sobre acciones, es preciso examinar el costo de construir un portafolio de cobertura. Se debe diseñar una transacción que cancela el riesgo del *forward*. Una forma de hacerlo es comprar las 100,000 acciones ahora y mantenerlas un año para entregarlas al vencimiento del contrato del *forward*, el precio de la acción es de \$100, lo cual significa que se tienen que invertir \$10,000,000 (100,000 acciones con un precio de \$100/acción).

Los \$10,000,000 tienen un costo de oportunidad, es decir, en lugar de comprar las 100,000 acciones ahora, podrán invertirse en otras estrategias que generan algún interés. Dicho de otra manera, el inversionista tendría que pedir prestado para realizar la adquisición. Si la tasa de interés que se paga por el préstamo es del 10% entonces el costo de construir un portafolio de cobertura para ésta transacción es de \$110. Por tanto, precio del *forward* sobre acciones debe ser de \$110 por acción.

Con lo anterior, se puede deducir que el precio teórico de cualquier producto derivado (*forward*, *swap*, opción o cualquier combinación de ellos) está dado por el costo de construir un portafolio de cobertura que elimine el riesgo de mercado de dicho producto derivado.

2.4.2. *Forwards*

La valuación de un *forward* al inicio de su contratación es cero, inmediatamente después puede tener tanto un valor positivo como negativo. En un contrato *forward*, K es el precio pactado, S_0 es el precio de mercado del subyacente al inicio, F la valuación del *forward* y f el precio *forward*. A medida que el tiempo pasa, tanto el

precio S_0 , como el valor del contrato F se modifican.

Un resultado aplicable a todos los contratos *forward* es:

$$F = (f - K)e^{-rT}$$

La expresión anterior se da por lo siguiente, si se comparan dos contratos *forward*, uno de ellos con precio de entrega f (precio de mercado del subyacente al vencimiento del contrato), otro con precio de entrega K , entonces se sabe que la diferencia entre los dos es solo la cantidad que se paga por el activo subyacente al momento T (vencimiento).

Al vencimiento del contrato, el valor del primer *forward* es f , mientras que en el segundo es K , lo que muestra una diferencia de $f - K$ que se traduce en $(f - K)e^{-rT}$ al día de la contratación, con base en el principio de “no arbitraje”, por tanto, el contrato con un precio de entrega S_T es menos valioso que el contrato con un precio de entrega K . El valor del contrato que tiene un precio de entrega de f es igual a cero; por tanto el valor del contrato con precio de entrega de K es $(f - K)e^{-rT}$.

De igual manera, el valor de una posición corta es:

$$(K - f)e^{-rT}$$

Al valor del contrato en una fecha determinada se le conoce como valuación o cálculo del *Mark to Market (MtM)* y cabe mencionar que la mayoría de las empresas que valúan dichos instrumentos lo realizan en tiempo discreto, lo cual facilita el cálculo del mismo, como se muestra a continuación:

La valuación a Mercado o “*Mark-to-Market*” de una compra de *Forward* presentada en tiempo discreto es:

$$F = MtM = \frac{ME}{1 + \frac{rT}{360}}$$

Donde:

MtM es el valor razonable.

ME es el monto de entrega.

T es el tiempo al vencimiento del contrato *forward*.

r es la tasa de interés local.

El monto de entrega se define como la diferencia entre el monto que la Compañía recibe y el que paga a la fecha de valuación y se obtiene mediante la siguiente fórmula:

En el caso de una compra:

$$ME = f - K$$

En el caso de una venta:

$$ME = K - f$$

Donde:

f es el precio *forward*

La fórmula para determinar el precio *forward* de manera discreta es:

$$f = S * \left[\frac{1 + \frac{r_d T}{360}}{1 + \frac{r_f T}{360}} \right]$$

Donde:

f es el precio *forward*.

S es el precio de mercado del subyacente.

r_d es la tasa doméstica.

r_f es la tasa foránea.

T es el plazo del contrato en años.

Ejemplo

Al considerar una posición larga en un contrato de un *forward* sobre el tipo de cambio peso dólar. En la actualidad faltan 120 días para el vencimiento. La tasa doméstica de interés libre de riesgo es de 11.3928%, mientras que la tasa de interés foránea es de 1.5520% anual, el precio spot es de 13.5383 pesos por dólar, el precio pactado es de 13.2175 pesos por dólar y el monto del contrato de 200,000 USD.

Utilizando la ecuación para determinar el tipo de cambio futuro se tiene:

$$f = \left[\frac{1 + .1139 \frac{120}{360} (13.5383)}{1 + .0155 \frac{120}{360}} \right] = 13.9801$$

Y la valuación del contrato es:

$$F = \left[200,000 \frac{(13.2175 - 13.9801)}{1 + .1139 \frac{120}{360}} \right] = 146,941 \text{ pesos}$$

2.4.3. Swaps

Swaps de tasa de interés (Interest Rate Swap)

En el momento inicial, los *swaps* de tipo de interés tienen valor nulo o cercano a cero. Después de estar en funcionamiento durante algún tiempo, su valor puede ser positivo o negativo.

Si se recibe una tasa variable a cambio de una fija, entonces el *swap* se calcula como el valor presente de los flujos netos (cupones) de la siguiente manera:

$$V_{swap} = MtM = Bi_{fl} - Bi_{fix},$$

donde los pagos o cupones de interés fijos se determinan de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$B_{fix} = \sum_n^{i=1} Bi(i_{fix})\left(\frac{t}{360}\right) * td_i,$$

mientras que los pagos de interés flotantes se determinan como sigue:

$$B_{fl} = Nomenclal * td_n$$

Donde:

Bi : pago del periodo i .

i_{fix} : la tasa fija.

td_i : la tasa de descuento del periodo i .

td_n : la tasa de descuento del último periodo.

Ejemplo

Bajo las condiciones de un *swap*, una Compañía acordó pagar una tasa de interés fija del 2.12% cada seis meses y recibir una tasa LIBOR semestral sobre un monto nominal de 100,000 de dólares. Al *swap* le quedan ocho años y medio de vida y hoy es 31 de diciembre de 2008.

Los datos son los siguientes:

Monto nominal	USD 100,000
Compañía	Entrega tasa fija.
Contraparte	Entrega tasa variable.
Periodo de pago	Cada seis meses.
Tasa fija	2.120 %.
Fecha de vencimiento	15 de junio de 2009.
Fecha de valuación	31 de diciembre de 2008.

Los flujos del swap se presentan numéricamente en el cuadro siguiente:

Fechas de pago	Nocional (USD)	Días transcurridos	Días en el periodo	Tasa fija	Flujos con tasa fija	Valor Presente Fijo	Valor Presente Variable
15/06/2009	100,000	166	182	2.12%	\$1,072	\$1,068	-
15/12/2009	100,000	349	183	2.12%	\$1,078	\$1,062	-
15/06/2010	100,000	531	182	2.12%	\$1,072	\$1,046	-
15/12/2010	100,000	714	183	2.12%	\$1,078	\$1,042	-
15/06/2011	100,000	896	182	2.12%	\$1,072	\$1,022	-
15/12/2011	100,000	1079	183	2.12%	\$1,078	\$1,011	-
15/06/2012	100,000	1262	183	2.12%	\$1,078	\$994	-
17/12/2012	100,000	1447	185	2.12%	\$1,089	\$987	-
17/06/2013	100,000	1629	182	2.12%	\$1,072	\$954	-
16/12/2013	100,000	1811	182	2.12%	\$1,072	\$936	-
16/06/2014	100,000	1993	182	2.12%	\$1,072	\$920	-
15/12/2014	100,000	2175	182	2.12%	\$1,072	\$904	-
15/06/2015	100,000	2357	182	2.12%	\$1,072	\$888	-
15/12/2015	100,000	2540	183	2.12%	\$1,078	\$875	-
15/06/2016	100,000	2723	183	2.12%	\$1,078	\$860	-
15/12/2016	100,000	2906	183	2.12%	\$1,078	\$844	-
15/06/2017	100,000	3088	182	2.12%	\$1,072	\$824	\$1,215.10
Total pagos						16,238	15,450
Valor del swap							(788)

Por lo tanto, el valor del *swap* arroja una pérdida por USD 788. Si la Compañía adquiere la posición contraria (pagando LIBOR 6m y recibiendo tasa fija) entonces tiene una ganancia por USD 788.

Swap de divisas (Cross Currency Swap)

El valor de un *swap* de divisas suele ser cero cuando se negocia por primera vez. Si el valor de los capitales es exactamente el mismo usando el tipo de cambio al inicio del *swap*, el valor del *swap* también es cero inmediatamente después del intercambio inicial del monto nocional.

No obstante, ésto no significa que cada uno de los cupones del *swap* deba tener valor cero. Si los tipos de interés en las dos divisas son significativamente distintos, el que paga en divisas de bajo tipo de interés está en una posición donde los cupones que corresponden a los primeros flujos tienen un valor menor a los flujos con interés mayor, por tanto, existirá una diferencia diferente de cero.

El que paga en la divisa de tipo de interés más alto está en la posición exactamente opuesta, es decir, los primeros intercambios de flujos tienen valores negativos y los intercambios finales tienen un valor esperado positivo.

La valuación de un *swap* de divisas es muy semejante al del *swap* de tasa de interés, pero en este caso es necesario aplicar el tipo de cambio de las divisa correspondiente. Por tanto, el MtM del *swap* de divisa se obtiene sumando el valor presente de los correspondientes flujos de efectivo periódicos, conforme la siguiente ecuación:

$$V_{swap} = MtM = B_{ext}TC - B_{local}$$

Donde:

MtM es el valor razonable.

B_{local} son los flujos de efectivo correspondientes a la moneda local.

B_{ext} son los flujos de efectivo correspondientes a la moneda extranjera.

TC es el tipo de cambio de mercado a la fecha de valuación.

Los flujos de efectivo locales y extranjeros se calculan a través de las ecuaciones siguientes:

$$B_{local} = M_{local} \left[\sum_{i=1}^n \frac{r \frac{t_c}{360}}{1+r_i \frac{t_i}{360}} + \frac{1}{1+\frac{r}{360}} \right]$$

$$B_{ext} = M_{ext} * \left[\sum_{m=1}^m \frac{q \frac{s_c}{360}}{1+q_i \frac{s_i}{360}} + \frac{1}{1+q_T \frac{T}{360}} \right]$$

Donde:

M_{local} es el monto nominal en moneda local.

M_{extr} es el monto nominal en moneda extranjera.

r es la tasa doméstica.

q es la tasa extranjera.

t_c es el periodo del cupón local.

s_c es el periodo del cupón extranjero.

r_i es la tasa de descuento del periodo t_i .

q_i es la tasa de descuento del periodo s_i .

t_i es el plazo a la fecha de vencimiento del cupón local i .

s_i es el plazo a la fecha de vencimiento del cupón extranjero i .

T es el plazo al vencimiento del *swap*.

n es el número de períodos vigentes en que se realizarán los pagos locales.

m es el número de períodos vigentes en que se realizarán los pagos extranjeros.

Ejemplo:

Al suponer que la compañía *A* contrata un *swap* de divisa por un monto nominal de USD 110,000,000, a un tipo de cambio *USD/MXN* de 10.8225. La compañía *A* debe pagar una tasa fija en *MXN* de 8% durante la vigencia del contrato y debe recibir una tasa del 2% trimestral sobre el monto en *USD*. Al *swap* de divisa le queda un año de vida, hoy es 31 de diciembre de 2008 y el tipo de cambio de mercado es de 13.5383 *MXN/USD*. Los flujos del *swap* y el valor del mismo se muestra a continuación.

Entonces el valor del *swap* es:

$$V_{swap} = MtM = B_{USDTC} - B_{MEX}$$

Fechas de pago	Nocional Pesos	Días transcurridos	Días en el período	Amortización Pesos	Tasa fija en pesos	Pagos en Pesos	Valor Presente en Pesos
20-ene-09	1,190,750,000	20	33		8.0%	9,621,756	9,575,554
18-feb-09	1,190,750,000	49	29	-	8.0%	8,311,032	8,214,222
18-mar-09	1,190,750,000	77	28	-	8.0%	7,839,628	7,698,016
20-abr-09	1,190,750,000	110	33	-	8.0%	8,921,942	8,696,140
18-may-09	1,190,750,000	138	28	-	8.0%	7,302,364	7,074,524
18-jun-09	1,190,750,000	169	31	-	8.0%	7,835,202	7,541,535
20-jul-09	1,190,750,000	201	32	-	8.0%	8,197,545	7,838,798
18-ago-09	1,190,750,000	230	29	-	8.0%	7,284,491	6,921,942
18-sep-09	1,190,750,000	261	31	-	8.0%	7,765,594	7,331,696
19-oct-09	1,190,750,000	292	31	-	8.0%	7,987,196	7,491,088
18-nov-09	1,190,750,000	322	30	-	8.0%	7,680,206	7,157,390
18-dic-09	1,190,750,000	352	30	1,190,750,000	8.0%	1,198,382,782	1,109,751,515
Total pagos pesos							1,195,290,421

Figura 2.13: Flujo de los pagos en pesos

Fechas de pago	Nocional Dólares	Días transcurridos	Días en el período	Amortización Dólares	Tasa fija en dólares	Pagos en Dólares	Valor Presente en Dólares
18-mar-09	110,000,000	77	90	-	2.0%	583,688	582,099
18-jun-09	110,000,000	169	92	-	2.0%	658,090	652,852
18-sep-09	110,000,000	261	92	-	2.0%	686,763	677,543
18-dic-09	110,000,000	352	91	110,000,000	2.0%	110,708,622	108,598,197
Total pagos dólares							110,510,691

Figura 2.14: Flujo de los pagos en dólares

$$V_{swap} = [13.5383(110,510,691)] - [1,195,290,421] = 300,836,467$$

Por lo cual, la compañía tiene un ingreso por 300,836,467 pesos al 31 de diciembre de 2008.

2.4.4. Opciones

La valuación de las opciones se lleva a cabo a través de la fórmula de *Black-Scholes*. Para llegar a ella, se comienza con los supuestos y algunas herramientas matemáticas (como el movimiento *Browniano* y lema de *Ito*).

Esta metodología se presenta en el siguiente capítulo debido a la extensión del tema y se finaliza con algunos ejemplos numéricos.

Capítulo 3

Valuación y replicación de opciones

En este capítulo se presentan las herramientas básicas y los supuestos necesarios para la construcción del modelo de *Black–Scholes*, tales como: el movimiento *Browniano*, la caminata aleatoria, el proceso de *Wiener* y la evolución del precio de los activos.

El modelo mencionado se utiliza para valorar opciones europeas y ha sido, desde los años 80's una pieza clave para los grandes avances en el ámbito financiero¹.

Posteriormente, se muestra que partiendo de la derivación del modelo de *Black–Scholes*, un instrumento derivado puede ser replicado construyendo un portafolio que consiste en una combinación del bien subyacente y el activo libre de riesgo. A lo cual le conoce como replicación sintética².

Se finaliza el capítulo con otro método para la valuación de opciones europeas, la simulación Monte Carlo, que combina conceptos estadísticos con la capacidad que tienen las computadoras para automatizar cálculos a partir de variables aleatorias³.

3.1. *Black–Scholes*

La tesis doctoral “La teoría de la especulación” de *Louis Jean-Baptiste Alphonse Bachelier* es el primer escrito en el que se utilizan las matemáticas para el estudio

¹Parte del material son algunas de las notas del curso de Instrumentos Financieros Derivados, del Profesor Agustín Cano de la Facultad de Ciencias de la U.N.A.M., en el segundo semestre de 2005 y en el libro *Options, Futures and other Derivatives*, Jonh Hull, 5ta. edición.

²Con apoyo en el algunos de los temas del libro *Investment Science*, David G. Luenberger, Stanford Univesity, 1998.

³Algunas conceptos fueron obtenidos de los libros: *Investment Science*, David G. Luenberger, Stanford Univesity, 1998 y *Medición y control de riesgos financieros*, Alfonso de Lara Haro, Segunda edición, 2002. El software utilizado para implementar el modelo Monte Carlo es *Matlab*.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

de la economía.

Bachelier fue el primer matemático francés en modelar el movimiento *Browniano* en su tesis “La teoría de la especulación” publicada en 1900, en la cual explica la aplicación de dicho modelo para evaluar las opciones financieras.

Actualmente se sabe que su modelo no era del todo correcto en lo que se refiere al supuesto de que los precios cambian siguiendo una distribución normal, sin embargo, hoy en día es considerado como un pionero en el estudio de las matemáticas financieras y de los procesos estocásticos.

Más tarde, a principios de los años setenta, *Fischer Black*, *Myron Scholes* y *Robert Merton* lograron uno de los mayores avances en la valuación de opciones, lo cual es conocido como el modelo de *Black–Scholes*.

Este modelo ha tenido una gran influencia en la forma en que los operadores del mercado valúan y realizan operaciones con las opciones. Desde entonces el crecimiento en el campo de los productos derivados, así como en la ingeniería financiera en los años ochenta y noventa del siglo XX ha sido impactante.

El modelo fue reconocido en el momento en el cual, *Scholes* y *Merton* recibieron el Premio nobel de economía en 1997, así como *Black* quien murió en 1995.

Los supuestos sobre el mercado financiero hechos por *Black* y *Scholes* al derivar su fórmula de valuación de opciones son los siguientes:

1. La negociación de valores financieros es continua en el tiempo.
2. La tasa de interés libre de riesgo r , es constante durante el periodo de vigencia.
3. No hay dividendos sobre las acciones durante la vigencia de la opción.
4. No existen costos de transacción o impuestos en la compra o venta del activo o la opción.
5. Todos los activos son perfectamente divisibles.
6. Los inversionistas pueden prestar o pedir prestado a la misma tasa de interés libre de riesgo.
7. No hay oportunidades de arbitraje.

3.1.1. Movimiento *Browniano*

Históricamente el movimiento *Browniano* está asociado al análisis de movimientos que evolucionan en el tiempo de una manera casi desordenada difícil de prever.

Jan Ingenhousz observó a finales del siglo XVIII cómo las partículas de carbón seguían un movimiento continuo y aleatorio si se depositaban en alcohol. Poco tiempo después, en 1825, el botánico *Robert Brown* se percató de que los granos de polen y

esporas seguían un comportamiento similar, descartando la hipótesis de que el polen estaba vivo.

Un siglo después, en 1905 *Einstein* publicó el artículo “*Investigations on the theory of the brownian movement*”, en el que básicamente describe que la agitación térmica de las partículas del líquido hace que éstas se muevan de forma aleatoria, de manera que dichas partículas pueden empujar, en conjuntos, a las partículas de polen.

Hoy en día el movimiento *Browniano* tiene un papel muy importante en la teoría de los procesos aleatorios, en particular por proporcionar modelos relativamente simples en los diversos problemas teóricos o aplicados.

En la Figura 3.1 se muestra la trayectoria irregular que sigue una partícula y que está relacionada con el movimiento *Browniano*.

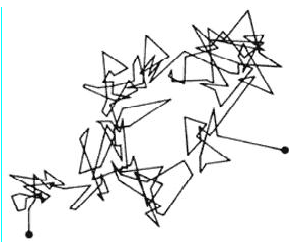


Figura 3.1: Trayectoria de una partícula que muestra el movimiento *Browniano*

3.1.2. Caminata aleatoria

Otro de los conceptos importantes por definir, además del movimiento *Browniano*, es el de la “caminata aleatoria”, la cual se puede entender tan fácilmente con la siguiente descripción:

Se tiene un proceso en el que un borracho sale de un bar e intenta caminar de regreso a casa, por lo cual comienza a dar un paso a la derecha o la izquierda aleatoriamente, luego da otro paso a la derecha o la izquierda y sigue así hasta que ha dado n pasos.

Este proceso es conocido como caminata aleatoria y es de gran utilidad a científicos de diversos campos que estudian procesos estocásticos. Las primeras aplicaciones del modelo de la caminata aleatoria se produjeron en los campos de la Física, Biología y Economía, al estudiar modelos de transporte de moléculas, el movimiento de microorganismos, el comportamiento del mercado financiero en el tiempo, entre otros temas.

Dicho en otras palabras es como observar el movimiento de una partícula *browniana*, la cual tiene movimiento sobre una recta y brinca a la derecha o a la izquierda con la misma longitud δ . Se define x_i como variable aleatoria que toma el valor δ

o $-\delta$ al brincar la partícula a cualquiera de los dos lados. Las probabilidades de moverse a la derecha o izquierda son estacionarias, esto es, que esas probabilidades son las mismas en todo tiempo.

Entonces se pueden expresar estas probabilidades como:

$$P_r(x_i = \delta) = p, P_r(x_i = -\delta) = q,$$

donde $p + q = 1$, p y q son independientes de i , de manera que las variables x_i también son independientes. La caminata aleatoria se presenta por una sucesión de variables aleatorias $(X_n, n > 0)$, que constituyen un proceso estocástico discreto, donde

$$X_n = x_1 + x_2 + \dots + x_n,$$

que indica la posición de la partícula en el n -ésimo paso.

3.1.3. Proceso de *Wiener*

De una manera más formal se menciona el Proceso de *Wiener* que es un proceso estocástico $X(t); t \geq 0$ que cuenta con las siguientes propiedades:

1. Cada incremento $X(t+s) - X(s)$ se distribuye normal con media μt y varianza $\sigma^2 t$; μ and σ son parámetros fijos.
2. Para cada $t_1 < t_2 < \dots < t_n$, los incrementos $X(t_2) - X(t_1), \dots, X(t_n) - X(t_{n-1})$ son variables aleatorias independientes con distribuciones dadas en 1.
3. $X(0) = 0$ con probabilidad 1.

3.1.4. Evolución del precio del activo

Uno de los supuestos utilizados es que la evolución del precio del activo S al tiempo t sigue un Movimiento *Browniano*, el cual puede ser afectado por aspectos económicos del mercado.

El modelo con una variable estocástica $X(t)$, que representa el valor de un activo o bien subyacente se compone de un movimiento geométrico *Browniano*.

$$\frac{dS}{S} = \mu dt + \sigma dw, \quad (3.1)$$

donde σ es la volatilidad, dw sigue un proceso estándar de *Wiener* y μ y σ son constantes.

Si se toma a σ (volatilidad) como cero en la ecuación anterior, se obtiene la parte determinista del modelo, una ecuación diferencial ordinaria

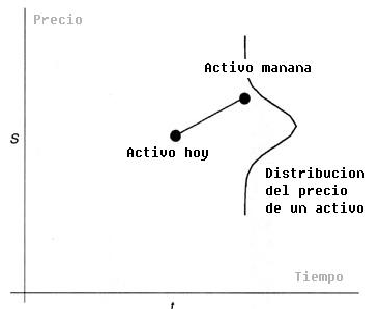


Figura 3.2: Logaritmo del precio de un activo financiero durante dos días

$$dS = \mu S dt,$$

cuya solución es:

$$S(T) = S(0)e^{\mu(T-t_0)},$$

que es precisamente el precio del activo al tiempo T traído a valor presente con un interés compuesto.

En la siguiente Figura 3.3 se observa el comportamiento de un activo financiero en el tiempo.



Figura 3.3: Evolución del precio de un activo financiero

3.1.5. Lema de $\hat{I}to$

El lema de $\hat{I}to$ es una de las herramientas más importantes en el estudio y aplicación de procesos estocásticos. Este lema está basado en la expansión de la serie de Taylor para variables aleatorias.

Sea una función $f(x)$ que depende de una variable real x . La expansión de Taylor de segundo orden es:

$$f(x_0 + dx) = f(x_0) + f'(x_0)(dx) + \frac{f''(x_0)(dx)^2}{2} + t.o.s.,^4$$

si se denota $dx = x - x_0$, se tiene:

$$f(x_0 + dx) - f(x_0) = f'(x_0)(dx) + \frac{f''(x_0)(dx)^2}{2} + t.o.s.$$

Sea $df = f(x) - f(x_0)$, se obtienen la siguiente expresión:

$$df = f'(x_0)dx + \frac{f''(x_0)dx^2}{2} + t.o.s.$$

Y si se tiene una función que depende de las variables reales x y t , la expansión de Taylor es:

$$df = \frac{\partial f}{\partial x}dx + \frac{\partial f}{\partial t}dt + \frac{1}{2} \left[\frac{\partial^2 f}{\partial x^2}dx^2 + \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial t}dxdt + \frac{\partial^2 f}{\partial t^2}dt^2 \right] + t.o.s.$$

Pero al considerar solo una aproximación lineal, el resultado es:

$$df = \frac{\partial f}{\partial x}dx + \frac{\partial f}{\partial t}dt.$$

Sin embargo si se toma a $f(S, t)$ como una función que depende del comportamiento de una variable aleatoria y del tiempo, la expansión de Taylor de segundo orden es:

$$df = \frac{\partial f}{\partial S}dS + \frac{\partial f}{\partial t}dt + \frac{1}{2} \left[\frac{\partial^2 f}{\partial S^2}dS^2 + \frac{\partial^2 f}{\partial S \partial t}dSdt + \frac{\partial^2 f}{\partial t^2}dt^2 \right]. \quad (3.2)$$

Al elevar al cuadrado a dS de la ecuación (3.1) se obtienen valores que aportan términos lineales, por lo cual:

$$(dS)^2 = (\mu Sdt + \sigma SdB)^2 = \mu^2 S^2 dt^2 + \sigma^2 S^2 dB^2 + 2S^2 \mu \sigma dBdt. \quad (3.3)$$

Esto se puede resumir formalmente con las reglas de multiplicación para diferenciales estocásticas, como se muestra en la figura 3.4.

*	dB	dt
dB	dt	0
dt	0	0

Figura 3.4: Reglas de multiplicación para diferenciales estocásticas

Entonces: $(dS)^2 = \sigma^2 S^2 dt$, pues $(dB)^2 \rightarrow dt$ cuando $dt \rightarrow 0$.

⁴t.o.s. son términos de orden superior que son despreciables ya que teniendo el término lineal es una buena aproximación

Sustituyendo la ecuación (3.3) en (3.2) se obtiene:

$$df = \frac{\partial f}{\partial S} (\mu S dt + \sigma S dB) + \frac{\partial f}{\partial t} dt + \frac{1}{2} \left[\frac{\partial^2 f}{\partial S^2} S^2 \sigma^2 dt \right], \quad (3.4)$$

y al factorizar términos comunes se obtiene el Lema de $\hat{I}to$ para funciones de S y t

$$df = \left(\frac{\partial f}{\partial S} \mu S + \frac{\partial f}{\partial t} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 f}{\partial S^2} \sigma^2 S^2 \right) dt + \frac{\partial f}{\partial S} \sigma S dB. \quad (3.5)$$

3.1.6. Construcción de un portafolio libre de riesgo

Se consideran los siguientes supuestos para la construcción de un portafolio:

1. El precio del activo subyacente sigue un movimiento geométrico *Browniano*.
2. La tasa de interés libre de riesgo r y la volatilidad σ del bien subyacente son conocidas y constantes.
3. No existen costos de transacción o impuestos en la compra o venta del activo o la opción.
4. Las transacciones del bien subyacente pueden ser realizadas en cualquier instante (son continuas).
5. No hay oportunidades de arbitraje.

El portafolio se construye con opciones (en general, el derivado) y una cierta cantidad Δ del activo subyacente S , para poder obtener el equilibrio deseado.

El valor del portafolio Π está dado por:

$$\Pi = V - \Delta S,$$

donde V es una función que depende del valor del bien subyacente S al tiempo t y Δ es un valor que representa el número de unidades de bien subyacente vendido por cada unidad de opción.

Al transcurrir el tiempo lo que se desea es que se mantenga la siguiente igualdad:

$$d\Pi = dV - \Delta dS.$$

Al usar el lema de $\hat{I}to$ de la ecuación (3.5) y la definición de dS en la ecuación (3.1) se obtiene:

$$\begin{aligned}
d\Pi &= \left[\left(\mu S \frac{\partial V}{\partial S} + \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{1}{2} \sigma^2 S^2 \frac{\partial^2 V}{\partial S^2} \right) dt + \sigma S dB \frac{\partial V}{\partial S} \right] - \Delta (\mu S dt + \sigma S dB). \\
&= \left[\left(\mu S \frac{\partial V}{\partial S} + \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{1}{2} \sigma^2 S^2 \frac{\partial^2 V}{\partial S^2} - \mu S \Delta \right) dt \right] + \left(\sigma S \frac{\partial V}{\partial S} - \sigma S \Delta \right) dB.
\end{aligned}$$

Es necesario eliminar la componente aleatoria dB , para obtener un portafolio libre de riesgo, entonces:

$$\Delta = \frac{\partial V}{\partial S},$$

que es la razón de cobertura. Al sustituir la razón en la ecuación anterior, se obtiene:

$$\begin{aligned}
d\Pi &= \left[\left(\mu S \frac{\partial V}{\partial S} + \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{1}{2} \sigma^2 S^2 \frac{\partial^2 V}{\partial S^2} - \mu \sigma \frac{\partial V}{\partial S} \right) dt \right] + \left(\sigma S \frac{\partial V}{\partial S} - \sigma S \frac{\partial V}{\partial S} \right) dB. \\
&= \left(\frac{\partial V}{\partial t} + \frac{1}{2} \sigma^2 S^2 \frac{\partial^2 V}{\partial S^2} \right) dt.
\end{aligned}$$

El portafolio debe valer lo equivalente como una inversión en el banco, es decir:

$$\begin{aligned}
d\Pi &= \Pi r dt \\
&= \left(V - S \frac{\partial V}{\partial S} \right) r dt,
\end{aligned}$$

por el principio de “No arbitraje”.

Al igualar las dos expresiones para $d\Pi$ en la ecuación anterior, se obtiene:

$$\begin{aligned}
\left(\frac{\partial V}{\partial t} + \frac{1}{2} \sigma^2 S^2 \frac{\partial^2 V}{\partial S^2} \right) dt &= \left(V - S \frac{\partial V}{\partial S} \right) r dt \\
\frac{\partial V}{\partial t} + \frac{1}{2} \sigma^2 S^2 \frac{\partial^2 V}{\partial S^2} &= rV - rS \frac{\partial V}{\partial S}.
\end{aligned}$$

Al organizar términos, se obtiene:

$$\frac{\partial V}{\partial t} + \frac{1}{2} \sigma^2 S^2 \frac{\partial^2 V}{\partial S^2} + rS \frac{\partial V}{\partial S} - rV = 0. \quad (3.6)$$

Y es de ésta manera como se presenta la ecuación diferencial parcial parabólica, llamada la Ecuación de *Black-Scholes* (1973).

3.1.7. Ecuación de *Black-Scholes*

Cualquier derivado sobre un bien subyacente que no paga dividendos se satisface con la ecuación de *Black-Scholes*. Se establece un portafolio libre de riesgo que tiene una posición en la opción y una posición en el bien subyacente. En ausencia de oportunidades de arbitraje, el rendimiento del portafolio debe ser la tasa de interés libre de riesgo.

La razón por la cual se debe establecer una cartera libre de riesgo es que el precio de las acciones y el precio de la opción están afectados por la misma incertidumbre que son los movimientos del precio del bien subyacente.

En un cierto periodo, el precio de la opción está perfectamente correlacionado con el precio del bien subyacente.

Al establecer un portafolio apropiado de un bien subyacente y de la opción, la ganancia o pérdida de la posición de las acciones, siempre compensa el beneficio o pérdida de la posición de la opción, de manera que el valor total del portafolio al final de un cierto periodo es conocido con certeza.

Un camino para derivar las fórmulas de *Black-Scholes* es resolviendo la ecuación diferencial (3.6). Otra aproximación es establecer condiciones finales y utilizar el argumento de riesgo neutral como sigue.

Para el caso de una opción *call* europea, las condiciones finales son:

$$c = \max(S - K, 0),$$

donde K es el precio pactado.

El valor esperado de la opción al vencimiento, dentro de un mundo neutral al riesgo es:

$$\hat{E}[\max(S_T - K, 0)].$$

Entonces se tiene que el precio de la opción *call* europea, c , al tiempo 0 es la esperanza del valor de la opción, traída a valor presente:

$$c = \exp^{-rT} \hat{E}[\max(S_T - K, 0)]. \quad (3.7)$$

Para llegar a la fórmula de *Black-Scholes* para una opción *call* europea, se utiliza el siguiente resultado:

RESULTADO

Si V es lognormal y la desviación estándar de $\ln V$ es s , entonces:

$$E[\max(V - K, 0)] = E(V)N(d_1) - KN(d_2), \quad (3.8)$$

donde

$$d_1 = \frac{\ln \left[\frac{E(V)}{K} \right] + \frac{s^2}{2}}{s},$$

$$d_2 = \frac{\ln \left[\frac{E(V)}{K} \right] - \frac{s^2}{2}}{s}$$

y E denota el valor esperado.

Prueba

Se define a $f(V)$ como la función de densidad de V .

$$E[\max(V - K, 0)] = \int_K^\infty (V - K)f(V)dV. \quad (3.9)$$

La variable $\ln V$ tiene distribución normal con desviación estándar s . Entonces se tiene que la media de $\ln V$ es m , donde:

$$m = \ln[E(V)] - \frac{s^2}{2}. \quad (3.10)$$

Ahora se define Q una nueva variable de la siguiente forma:

$$Q = \frac{\ln V - m}{s}. \quad (3.11)$$

Esta variable tiene una distribución normal con media cero y desviación estándar unitaria. Se denota a $h(Q)$ como la función de densidad de Q de la siguiente manera:

$$h(Q) = \frac{1}{\sqrt{2\Pi}} \exp^{-\frac{Q^2}{2}}.$$

Al usar la ecuación (3.11) se convierte el lado derecho de la expresión en (3.9) en una integral sobre Q en lugar de una integral sobre V :

$$E[\max(V - K, 0)] = \int_{\frac{\ln K - m}{s}}^\infty (\exp^{Qs+m} - K)h(Q)dQ,$$

es decir:

$$E[\max(V - K, 0)] = \int_{\frac{\ln K - m}{s}}^{\infty} \exp^{Qs+m} h(Q) dQ - K \int_{\frac{\ln K - m}{s}}^{\infty} h(Q) dQ. \quad (3.12)$$

Ahora

$$\begin{aligned} \exp^{Qs+m} h(Q) &= \frac{1}{\sqrt{2\Pi}} \exp^{\frac{(-Q^2+2Qs+2m)}{2}} \\ &= \frac{1}{\sqrt{2\Pi}} \exp^{\frac{[-(Q-s)^2+2m+s^2]}{2}} \\ &= \frac{\exp^{\frac{(m+s^2)}{2}}}{\sqrt{2\Pi}} \exp^{\frac{[-(Q-s)^2]}{2}} \\ &= \exp^{\frac{(m+s^2)}{2}} h(Q-s). \end{aligned}$$

Entonces, la ecuación (3.12) queda como sigue:

$$E[\max(V - K, 0)] = e^{m+\frac{s^2}{2}} \int_{\frac{(\ln K - m)}{s}}^{\infty} h(Q-s) dQ - K \int_{\frac{(\ln K - m)}{s}}^{\infty} h(Q) d(Q). \quad (3.13)$$

Si se define a $N(x)$ como la probabilidad de que una variable con media 0 y desviación estándar de 1 menor que x , entonces la primera integral en la ecuación (3.13) es:

$$1 - N \left[\frac{(\ln K - m)}{s} - s \right],$$

o bien

$$N \left[\frac{(-\ln K + m)}{s} + s \right].$$

Sustituyendo a m como se expresa en la ecuación (3.10) se tiene:

$$N \left(\frac{\ln \left[\frac{E(V)}{K} \right] + \frac{s^2}{2}}{s} \right) = N(d_1).$$

El procedimiento se aplica de manera similar a la segunda integral en la ecuación (3.13) obteniendo como resultado $N(d_2)$. Entonces, la ecuación (3.13) queda como sigue:

$$E[\max(V - K, 0)] = \exp^{\frac{m+s^2}{2}} N(d_1) - KN(d_2).$$

Por último, al sustituir m como se indica en la expresión (3.10), de esta manera se llega al resultado deseado:

$$E[\max(V - K, 0)] = E(V)N(d_1) - KN(d_2). \quad (3.14)$$

Se tienen una opción *call* sobre un subyacente que no paga dividendos, un tiempo de maduración T , el precio pactado K , la tasa libre de riesgo r , el precio del subyacente al inicio S_0 y la volatilidad σ . Como se definió en la ecuación (3.7), el precio del *call*, está dado por:

$$\text{call} = \exp^{-rT} \hat{E}[\max(S_T - K, 0)], \quad (3.15)$$

donde S_T es el precio del subyacente al tiempo T y \hat{E} denota la esperanza dentro de un mundo neutral al riesgo.

Bajo el proceso estocástico supuesto por *Black-Scholes*, S_T tiene una distribución lognormal, entonces $\hat{E}(S_T) = S_0 \exp^{rT}$ y la desviación estándar del $\ln S_T$ es $\sigma\sqrt{T}$.

Al utilizar ahora el resultado anterior, la fórmula de *Black-Scholes* está definida por la ecuación (3.15):

$$c = \exp^{-rT} [S_0 \exp^{rT} N(d_1) - KN(d_2)],$$

o bien

$$c = S_0 N(d_1) - K \exp^{-rT} N(d_2), \quad (3.16)$$

donde

$$d_1 = \frac{\ln \left[\frac{\hat{E}(S_T)}{K} \right] + \frac{\sigma^2 T}{2}}{\sigma \sqrt{T}},$$

entonces

$$d_1 = \frac{\ln \left[\frac{S_0}{K} \right] + \left[\frac{r + \sigma^2}{2} \right] T}{\sigma \sqrt{T}}, \quad (3.17)$$

y

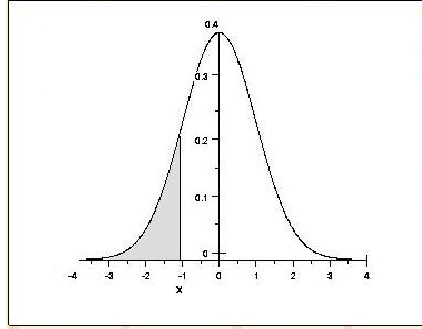


Figura 3.5: Distribución de densidad de una normal

$$d_2 = \frac{\ln \left[\frac{\hat{E}(S_T)}{K} \right] - \frac{\sigma^2 T}{2}}{\sigma \sqrt{T}},$$

entonces

$$d_2 = \frac{\ln \left[\frac{S_0}{K} \right] + \left[\frac{r - \sigma^2}{2} \right] T}{\sigma \sqrt{T}} = d_1 - \sigma \sqrt{T}. \quad (3.18)$$

Como una interpretación a la ecuación (3.16), se puede escribir

$$c = \exp^{-rT} [S_0 N(d_1) \exp^{rT} - K N(d_2)], \quad (3.19)$$

donde $N(d_2)$ es la probabilidad de que la opción sea ejercida y la expresión $S_0 N(d_1) \exp^{rT}$ es el valor esperado de una variable, que da como resultado S_T si $S_T > K$ y 0 en otro caso.

De la misma manera se obtiene la ecuación de *Black-Scholes* para una opción de venta (*put*) es:

$$p = K \exp^{-rT} N(-d_2) - S_0 N(-d_1), \quad (3.20)$$

donde d_1 y d_2 están definidas en las ecuaciones (3.17) y (3.18).

La fórmula de *Black-Scholes* es correcta al ser utilizada en la práctica, si r es una función conocida de tiempo dada estocásticamente, el precio del subyacente es lognormal y la volatilidad es elegida apropiadamente.

Al reemplazar S_0 por $S_0 \exp^{-qT}$ en las fórmulas obtenidas, ecuaciones (3.19) y (3.20), se obtiene el precio c y p para opciones europeas de compra y venta respectivamente sobre acciones que pagan una tasa de dividendos continua q :

$$c = S_0 \exp^{-qT} N(d_1) - K \exp^{-rT} N(d_2), \quad (3.21)$$

$$p = K \exp^{-rT} N(-d_2) - S_0 \exp^{-qT} N(-d_1). \quad (3.22)$$

Como

$$\ln \frac{S_0 \exp^{-qT}}{K} = \ln \frac{S_0}{K} - qT,$$

entonces:

$$d_1 = \frac{\ln \left(\frac{S_0}{K} \right) + \left(\frac{r-q+\sigma^2}{2} \right) T}{\sigma \sqrt{T}}, \quad (3.23)$$

y

$$d_2 = \frac{\ln \left(\frac{S_0}{K} \right) + \left(\frac{r-q-\sigma^2}{2} \right) T}{\sigma \sqrt{T}} = d_1 - \sigma \sqrt{T}.$$

Como ya se mencionó al inicio del capítulo, estos resultados fueron encontrados inicialmente por *Robert Merton*, *Black* y *Scholes*.

3.2. Replicación sintética

Regularmente los inversionistas buscan una protección contra bajas en el mercado, por lo cual se ven interesados en adquirir una opción de venta para su portafolio. Una alternativa es crear lo que se le conoce como un *derivado sintético*.

3.2.1. Sensibilidad delta

Una institución financiera que vende una opción a un cliente en el mercado *over the counter* se enfrenta al problema de gestionar su riesgo. Si la opción es igual a alguna existente en un mercado organizado, entonces la institución financiera puede mitigar la exposición de su riesgo al comprar en el mercado las mismas opciones que ha vendido a sus clientes.

Sin embargo, si las opciones han sido adecuadas a las condiciones particulares de cada cliente y no corresponden a los activos financieros estandarizados que se negocian en otros mercados, la institución financiera se puede encontrar con el problema de que la cobertura frente a su exposición es más difícil.

Para éste tipo de situaciones se presentan algunas alternativas que pueden ayudar a los operadores del mercado, tal es el caso de las “letras Griegas” o simplemente

“Griegas”. Cada una de ellas mide una dimensión diferente del riesgo en una posición de una opción y el objetivo del operador es analizar estos coeficientes de manera que todos los riesgos sean aceptables. Dicho análisis puede ser aplicable tanto a los creadores del mercado como a las instituciones financieras.

Una de las estrategias de cobertura más utilizada es el cálculo de las medidas *delta*.

La *delta* de una opción, Δ , se define como el cociente entre el cambio del precio de la opción con respecto al cambio en el precio del activo subyacente. Es la pendiente de la curva que relaciona el precio de la opción con el precio del activo subyacente.

En general, la delta de un derivado es igual a:

$$\Delta = \frac{\partial V}{\partial S},$$

donde ∂S es un pequeño cambio en el precio del bien subyacente y ∂V es el cambio resultante en el precio de la opción de compra.

Si se tiene que la delta de una opción de compra sobre acciones es 0.64, esto significa que si el precio del bien subyacente varía en una unidad monetaria, el precio de la opción varía en un 64% de esa cantidad.

La siguiente Figura 3.6 muestra la relación entre el precio de la opción de compra y el precio del bien subyacente (las acciones). Si el precio de las acciones corresponde al punto A y el precio de la opción corresponde al punto B, entonces Δ es la pendiente a la curva.

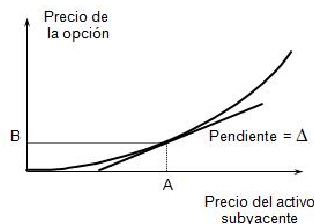


Figura 3.6: Delta mide la sensibilidad del valor de la opción con respecto al precio del subyacente

Ejemplo

Un inversionista ha vendido 30 contratos de opciones de compra, es decir, opciones para la compra de un bien subyacente (en este caso, 1,500 acciones). El precio de cada acción es de 1,000 pesos y el precio de la opción es de 100 pesos. La posición del inversionista se puede cubrir al comprar $0.64(1,500) = 960$ acciones, con lo cual,

la ganancia o pérdida neta sobre la posición adquirida en las opciones se compensa con ganancia o pérdida neta en la posición sobre las acciones.

Si el precio de las acciones sube 10 pesos, entonces se produce una ganancia de 9,600 pesos sobre las acciones compradas, asimismo, el precio de la opción tiende a subir en $0.64(10) = 6.4$ pesos, produciendo una pérdida de 9,600 pesos sobre las acciones emitidas, con lo cual existe una compensación la ganancia neta.

De manera análoga, si el precio de las acciones baja 10 pesos, produce una pérdida de 9,600 pesos sobre las acciones compradas y se obtiene una ganancia sobre las acciones emitidas (debido a que el precio de la opción tenderá a bajar aproximadamente $0.64(10) = 6.4$ pesos).

En el ejemplo mencionado, la Δ de la posición de la opción del inversionista es $(0.64)(-1,500) = -960$. Es decir, el inversionista pierde 960 δS si el precio de la acción aumenta en δS .

La *delta* de las acciones por definición es 1.0 y la posición larga en 1,500 acciones tiene una *delta* de 1,500. Por lo tanto, la *delta* global de un inversionista es cero, es decir, la *delta* de la posición en el activo subyacente compensa a la *delta* de la opción. A una posición con una delta cero se le conoce como *delta neutral*.

Es importante mencionar que la posición del inversionista solo permanece cubierta (o es cero) durante un periodo de tiempo relativamente corto, debido a que la *delta* cambia a través del tiempo. Por lo cual, en la práctica, la cobertura debe ajustarse periódicamente.

En el ejemplo anterior, el precio de las acciones puede moverse en un par de días a 1,100 pesos. Como se observa en la Figura 3.6 un aumento en el precio de las acciones produce también un incremento en *delta*. Si la *delta* sube de 0.64 a 0.70, entonces se tienen que comprar $(0.06)(1,500) = 90$ acciones adicionales para mantener la cobertura. En este caso, la estrategia de cobertura es una *cobertura dinámica* ya que implica ajustes frecuentes.

La *delta* está estrechamente relacionada con en análisis de *Black-Scholes* ya que es posible establecer un portafolio libre de riesgo que consiste, por un lado, en tomar posición en una opción y por el otro, una posición en el subyacente (como se demostró en la obtención de la fórmula de *Black-Scholes* al inicio del capítulo).

Por tanto, expresado en términos de Δ , el portafolio de *Black-Scholes* es:

-1: opción,

+ Δ : subyacente.

Al utilizar esta terminología, se puede decir que *Black-Scholes* valoraron opciones considerando una posición delta-neutral y argumentando que el rendimiento de la posición debe ser el tipo de interés libre de riesgo, lo que significa que se trata de un portafolio auto-financiable.

3.2.2. Delta de opciones europeas

Para una opción europea de compra que no paga dividendos se puede demostrar que:

$$\Delta = N(d_1),$$

donde d_1 está definida en la ecuación (3.23).

Entonces, una cobertura *delta* de una posición corta en una opción europea de compra, implica mantener una posición larga de $N(d_1)$ en el subyacente en todo momento.

De forma similar, utilizar la cobertura *delta* para una posición larga en una opción europea de compra implica mantener una posición corta de $N(d_1)$ del subyacente en cualquier momento.

Asimismo, la *delta* de una opción europea de venta que no paga dividendos está dada por:

$$\Delta = N(d_1) - 1.$$

En este caso, *delta* es negativa, lo que significa que se debe cubrir una posición larga en una opción de venta con otra larga en el bien subyacente y una posición corta en una opción de venta debe cubrirse con otra posición corta en el bien subyacente.

La diferencia entre la *delta* en una opción de compra y de venta con respecto al precio del bien subyacente se muestra en las figuras 3.7 y 3.8.

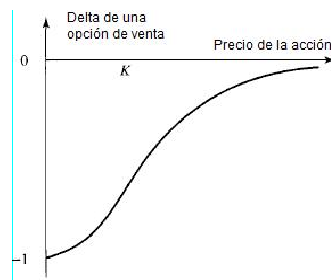


Figura 3.7: Delta de una opción de venta

De la misma forma se puede definir la delta de otras opciones europeas, por ejemplo, la delta de una opción de compra sobre un activo subyacente que paga dividendos continuos q es:

$$\Delta = \exp^{-qT} N(d_1),$$

donde d_1 está definida en la ecuación (3.23).

Para opciones europeas de venta sobre el activo subyacente:

$$\Delta = \exp^{-qT} [N(d_1) - 1].$$

Las fórmulas también son correctas si el activo subyacente es:

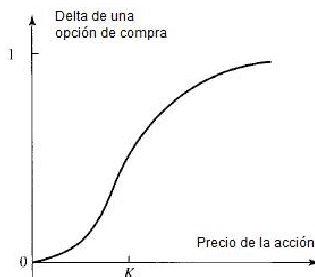


Figura 3.8: Delta de una opción de compra

- Un índice bursátil, donde q es igual al rendimiento por dividendo del índice.
- Una divisa, sustituyendo q por la tasa de interés extranjera libre de riesgo r_f .
- Contrato sobre futuros, sustituyendo q por la tasa de interés local libre de riesgo r .

Ejemplo

Una institución financiera ha vendido opciones europeas *put* a un año sobre USD 6,000 y quiere que su cartera sea *delta neutral*.

El tipo de cambio actual es de 13.30 MXN/USD, la tasa foránea libre de riesgo es de 3.20 %, la tasa de interés doméstica es del 8.10 % anual y la volatilidad del dólar es del 21.7 %.

En este caso: $S_0 = 13.3$, $K = 13.00$, $r = .081$, $r_f = .032$, $\sigma = .217$ y $T = 1$.

Por tanto, la *delta* de una opción *put* sobre dólares es:

$$[N(d_1) - 1] \exp^{-r_f T},$$

donde

$$d_1 = .3306 \text{ y } N(d_1) = .6295,$$

entonces la *delta* es $-.3588$, que es la misma que en la posición larga de la opción. Ésto significa que si el tipo de cambio sube δS , el precio de la opción *put* baja un 35.88 %.

La *delta* de la posición corta total de la institución financiera es de 2,153 dólares, por tanto, la cobertura delta, necesita que se establezca inicialmente una posición corta en dólares por 2,153.

La posición corta representa una delta de $-2,153$, que neutraliza la delta de la posición de la opción.

En general, dado un portafolio de valores, donde todos los componentes derivados se basan en el mismo bien subyacente, se puede calcular la delta del portafolio como la suma de las *deltas* de cada componente del portafolio.

Los inversionistas que no desean especular sobre un bien subyacente forman un portafolio *delta neutral*, de manera que en general, la *delta* es cero.

Es decir, la porción ΔS es 1 y la cobertura del portafolio $-\Delta + \Delta = 0$; en caso contrario, el valor del portafolio se puede representar como $(-c + \Delta S) \neq 0$.

Como se mencionó, el valor de *delta* cambia con el tiempo (si el precio del subyacente también cambia); de igual manera ocurre con la delta del portafolio ya que es *delta neutral* solo al inicio y se necesita re-balancear el portafolio, cambiando las proporciones de los valores para mantener la neutralidad.

Este proceso constituye una *estrategia dinámica de cobertura*. En teoría, se debe re-balancear el portafolio de forma continua, sin embargo, en la práctica solo se lleva a cabo periódicamente o cuando la *delta* ha tenido un cambio considerable.

3.2.3. Replicación

La derivación en el modelo de *Black-Scholes* muestra que un instrumento derivado puede ser replicado construyendo un portafolio que consiste en una combinación del bien subyacente y el activo libre de riesgo.

Las proporciones del subyacente y del activo libre de riesgo en el portafolio son ajustadas continuamente en el tiempo.

Esta replicación puede servir en la práctica para la construir un *derivado sintético* al usar tanto el subyacente como el activo libre de riesgo. La construcción también es dinámica y la combinación cambia cada periodo o continuamente.

La forma de hacer la replicación es como sigue: al inicio, se calcula el precio teórico del instrumento derivado, indicando con ello que se necesita una cierta cantidad para replicar el portafolio.

El portafolio tendrá ΔS invertido en el bien subyacente y el resto en el activo libre de riesgo (esto puede ser pedir un préstamo e invertirlo en el banco). Entonces, tanto la delta como el valor del portafolio coinciden con los de la opción. De hecho en un corto plazo, el comportamiento de ambos también coincide.

Tiempo después, *delta* es diferente y el portafolio debe ser re-balanceado, sin embargo, el valor del portafolio es casi igual al nuevo valor del derivado, de manera que es posible encontrar la cobertura equivalente a dicho instrumento.

A la fecha de vencimiento el portafolio se forma principalmente del bien subyacente si el precio del bien se encuentra por encima del precio pactado K , en caso contrario el valor del portafolio tiende a cero.

3.2.4. Replicación sintética de opciones

Crear una *opción sintética* es bastante atractivo para los inversionistas y mucho mejor que comprarla en el mercado, esto por dos razones principalmente.

La primera de ellas por que los mercados de opciones no siempre tienen liquidez suficiente para absorber las operaciones que los grandes inversionistas quieren llevar a cabo y la segunda es que los inversionistas, regularmente necesitan precios y fechas de ejercicio diferentes a las disponibles en las opciones negociadas en los mercados.

En general, la opción sintética se puede crear al negociar el portafolio en cuestión. La posición necesaria para crear una opción sintética es la inversa de la necesaria para cubrirla.

Esto es porque el procedimiento para cubrir una opción implica la creación sintética de una opción igual y opuesta.

Como se mencionó en la sección anterior, la *delta* de una opción europea de venta sobre un bien subyacente es:

$$\Delta = \exp^{-qT} [N(d_1) - 1],$$

donde

$$d_1 = \frac{\ln \left[\frac{S_0}{K} \right] + \left[\frac{r - q + \sigma^2}{2} \right] T}{\sigma \sqrt{T}},$$

S_0 es el precio del subyacente al inicio, K el precio de ejercicio, r la tasa libre de riesgo, q el rendimiento por dividendo del portafolio, σ la volatilidad del portafolio y T es la vida de la opción.

Para crear la *opción sintética* de venta, el inversionista del fondo se debe asegurar que en cualquier momento dado, se haya vendido una porción

$$\exp^{-qT} [1 - N(d_1)],$$

de las acciones del portafolio original y se han invertido los ingresos en activos libres de riesgo.

Si el valor del portafolio original baja, la *delta* de la opción de venta se hace más negativa y la proporción vendida del portafolio debe disminuir (es decir, parte del portafolio original se debe volver a comprar).

Utilizar esta estrategia implica que si el valor del portafolio aumenta, los activos libres de riesgo se venden y la posición aumenta. Si el valor del portafolio baja, la posición disminuye y se compran activos libres de riesgo.

El pago del seguro surge porque el inversionista del portafolio siempre vende en un mercado que baja y compra después de que el mercado haya subido.

Ejemplo

Se desea construir una opción sintética *call* sobre las acciones serie A de Grupo Bimbo con un precio pactado de \$44 y vigencia de 16 semanas.

Se puede replicar dicha opción vendiendo acciones de Grupo Bimbo y comprar el activo libre de riesgo (hacer una inversión libre de riesgo).

El periodo comprendido es del 6 de febrero al 22 de mayo de 2009. Los precios de cierre actuales sobre las acciones de Grupo Bimbo se muestran en la segunda columna de la tabla 3.10 y a continuación en la Figura 3.9.

Gráfica de Precios

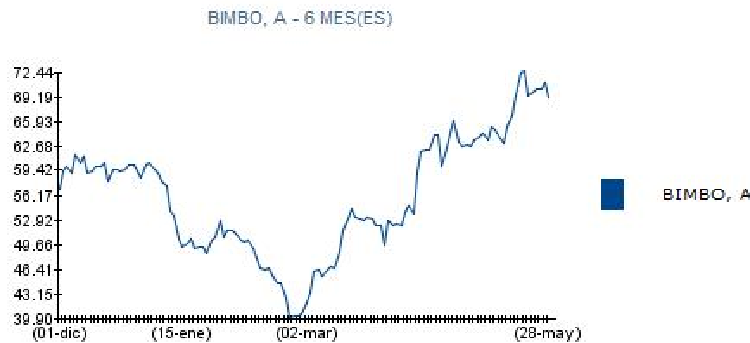


Figura 3.9: Precios históricos de las acciones de Bimbo. Fuente: Bolsa Mexicana de Valores

La volatilidad del precio de las acciones correspondiente a todo el periodo es $\sigma = 39\%$ y la tasa de interés libre de riesgo es del 8.5% anual.

En el primer renglón de la tabla 3.10 se puede observar que a la opción le quedan 16 semanas de vida. El precio inicial de las acciones es de \$49.73. En la cuarta columna se muestra que el valor inicial del *call* (según el modelo de *Black-Scholes*) es de 8.304 y el cálculo de $\text{delta} = .788$.

Se iguala el portafolio con el valor del *call* (ambos deben ser idénticos al inicio) tal y como se muestra en la columna llamada “Valor del portafolio”.

El valor del portafolio consta de dos partes (dos últimas columnas de la tabla), la primera de ellas destinada a la compra de una porción de las acciones de Grupo Bimbo (que es delta veces el precio de la acción), en éste caso, la diferencia es igual a $(.788)(49.73) = 39.17$.

La segunda parte destinada al activo libre de riesgo (el diferencial entre el valor del portafolio y la parte obtenida de las acciones) es decir, $\$8.0304 - \$39.17 = -\$30.87$.

En otras palabras, se debe pedir un préstamo por \$30.87, más \$8.304 y usar el

total de \$39.17 para comprar una fracción de acciones de Grupo Bimbo.

Fechas de ajuste	Semanas restantes	Precio de acciones Bimbo	Call	Delta	Valor del portafolio	Porción de acciones	Activo libre de riesgo
06/02/2009	16	49.73	8.304	0.788	8.304	39.17	-30.87
13/02/2009	15	46.12	5.500	0.673	5.410	31.04	-25.63
20/02/2009	14	42.43	3.141	0.513	2.885	21.79	-18.90
27/02/2009	13	43.03	3.299	0.536	3.162	23.08	-19.92
06/03/2009	12	45.25	4.433	0.636	4.320	28.80	-24.48
13/03/2009	11	51.33	8.854	0.854	8.150	43.86	-35.71
20/03/2009	10	52.74	9.938	0.894	9.296	47.16	-37.87
27/03/2009	9	51.92	9.061	0.885	8.501	45.96	-37.46
03/04/2009	8	52.05	9.024	0.898	8.555	46.75	-38.20
10/04/2009	7	53.37	10.091	0.935	9.678	49.91	-40.24
17/04/2009	6	63.86	20.287	0.999	19.423	63.77	-44.35
24/04/2009	5	65.84	22.192	1.000	21.327	65.83	-44.50
01/05/2009	4	62.43	18.710	1.000	17.845	62.41	-44.56
08/05/2009	3	64.94	21.147	1.000	20.282	64.94	-44.66
15/05/2009	2	66.57	22.705	1.000	21.839	66.57	-44.73
22/05/2009	1	69.44	25.502	1.000	24.636	69.44	-44.80

Figura 3.10: Un ejemplo de la replica de opciones

El siguiente renglón de la tabla se calcula de una forma diferente al primero. Las primeras cinco columnas muestran ahora una vigencia de 15 semanas, el nuevo precio de las acciones es de \$46.12, el precio del call es de \$5.5 y $\Delta = .673$.

La siguiente columna “Valor del portafolio” se obtiene al actualizar la información del renglón anterior. La compra anterior de las acciones por \$39.17, ahora es de $\frac{46.12/49.73}{39.17} = 36.33$. Y la deuda anterior de 30.87 es $\frac{(1+.085/52)}{30.87} = 30.92$.

Por lo cual, el nuevo valor del portafolio que fue construido una semana atrás es $\$36.33 - \$30.92 = \$5.41$, formado por la compra de acciones (Δ veces el precio de la acción) igual a 31.04 y por un préstamo de 25.63 unidades monetarias.

Los siguientes renglones se pueden construir de la misma manera. En cada paso, el portafolio se actualiza, sin embargo esta actualización no es exactamente igual al valor del *call* en todo momento, pero si es una aproximación muy cercana (a lo más de .867).

Cabe mencionar que los supuestos utilizados en el ejemplo fueron que los costos de transacción son igual a cero y que se pueden comprar las acciones por fracción.

En la práctica dichos supuestos no se cumplen por completo, sin embargo, al hablar de grandes volúmenes de transacciones (tal y como ocurre con los inversionistas), la replicación es una buena aproximación.

3.3. Simulación Montecarlo

La simulación de Montecarlo consiste en crear escenarios de rendimiento o precios de un activo subyacente mediante la generación de números aleatorios. Posteriormente se observa el comportamiento del activo simulado. Su complejidad consiste en dicha generación así como la aplicación de modelo de *Wiener* al considerar el movimiento de los factores de riesgo como “movimiento geométrico *Browniano*”, es decir, una caminata aleatoria.

Generación de escenarios

Para entender el modelo de Montecarlo, es necesario conocer la manera de crear escenarios mediante la generación de números aleatorios.

Debido a que los precios de un activo en mercado eficientes se comportan siguiendo un proceso estocástico (movimiento geométrico *Browniano*), la ecuación matemática que representa el proceso de *Wiener* (tal y como se definió al inicio de este capítulo) es:

$$\frac{dS}{S} = \mu dt + \sigma dw,$$

donde

$$dw = \epsilon_t \sqrt{dt},$$

y por tanto,

$$\frac{dS}{S} = \mu dt + \sigma \epsilon_t \sqrt{dt},$$

donde μ o media de los rendimientos es la esperanza continua compuesta de ganancia recuperada por los inversionistas en un año. La media depende del riesgo de la ganancia del activo, del tipo de activo y de las tasas de mercado.

Y σ o desviación estándar de los rendimientos: es la volatilidad del precio del activo y su estimación está basada en datos históricos.

El modelo de *Wiener* indica que los rendimientos de un activo $\frac{dS}{S}$ están determinados por un componente determinista μdt y por un componente estocástico $\sigma \epsilon_t \sqrt{dt}$ que contiene un choque aleatorio ϵ_t .

También se puede expresar en forma discreta de la siguiente manera:

$$\frac{S_t - S_{t-1}}{S_{t-1}} = \mu \Delta t + \sigma \epsilon_t \sqrt{\Delta t},$$

al despejar el precio del activo en el tiempo t se tiene que:

$$S_t = S_{t-1} + S_{t-1} \left(\mu \Delta t + \sigma \epsilon_t \sqrt{\Delta t} \right).$$

Se puede observar que ésta es una ecuación recursiva. Para crear escenarios basta con generar números aleatorios (alrededor de 10,000) y para determinar el nuevo valor del activo, es claro que depende del valor obtenido en el periodo anterior de manera sucesiva. Una observación importante es que al aplicar este modelo, los valores arrojados pueden ser negativos. Y los valores de la media y sigma permanecen constantes.

En la Figura 3.11 se presenta un ejemplo de una simulación a un año, dividido en 11 periodos (también se puede dividir en menos periodos), con los siguientes datos:

- Media de los rendimientos = 14 %.
- Desviación estándar de rendimientos = 20 %.
- Valor del activo subyacente = 36.

```
DATOS -> S=36, miu=.14, sigma=.2, cortes=11, Tiempo=1año, Num trayectorias=1
» M_C_trayectorias(36, .14, .2, 10, 1, 1)
delta =
    0.1000
RESULTADOS -> Precios del activo subyacente en cada periodo (de una trayectoria)
S =
Columns 1 through 7
    36.0000    39.2115    39.6672    41.0436    42.0716    42.1638    44.6895
Columns 8 through 11
    43.6523    50.2908    50.5611    51.6332
```

Figura 3.11: Dinámica de los precios del activo subyacente

En la Figura 3.12 se observa gráficamente la generación de un escenario.

En la Figura 3.13 se muestra la gráfica con 250 escenarios, siguiendo el mismo procedimiento.

Si se hacen alrededor de 1,000 escenarios y se grafica el histograma de frecuencias, la curva de distribución formada es una muy cercana a la normal.

3.3.1. Simulación Montecarlo para opciones

La simulación de Montecarlo es una alternativa a la fórmula de *Black-Scholes* para determinar el precio justo de la opción. Y consiste en generar escenarios en el comportamiento del bien subyacente. Sin embargo, este procedimiento es esencial-

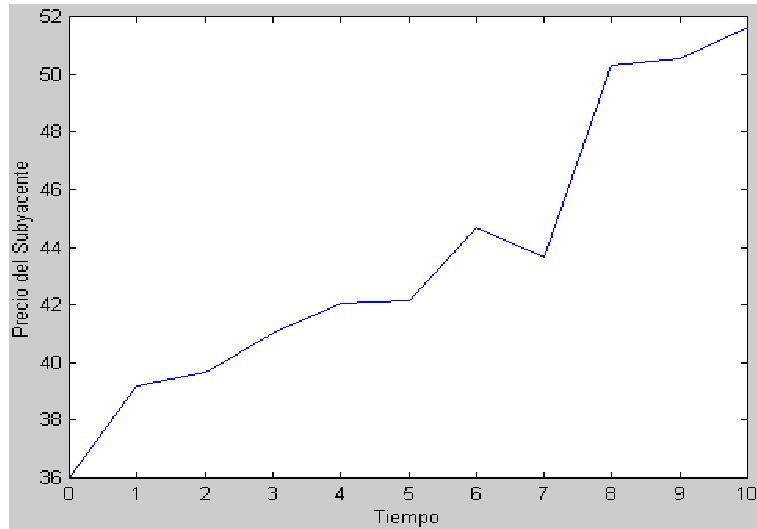


Figura 3.12: Generación de uno de los escenarios

mente usado para opciones europeas, donde la decisión es tomada hasta la fecha de ejercicio.

Uno de los supuestos es el argumento del riesgo neutral, lo que permite que el precio inicial del derivado sea:

$$c = \exp^{-rT} \hat{E}[f(S_T)],$$

donde $f(S_T)$ es el *payoff* del derivado, S_T precio del subyacente regido por un movimiento geométrico *Browniano*, K el precio de ejercicio, r la tasa libre de riesgo y T el tiempo a la fecha de ejercicio de la opción.

Para calcular el valor de la opción con el método de Montecarlo, se debe simular el precio del bien subyacente sobre el intervalo de tiempo $[0, T]$, dividiendo el periodo completo en intervalos de cierta longitud, esta longitud puede ser la equivalente a un solo salto del inicio al final del periodo. Entonces la ecuación de la simulación es:

$$S_{t+1} = S_t \exp \left[\left(r - \frac{\sigma^2}{2} \right) t + \sigma \sqrt{t} \epsilon_t \right],$$

donde ϵ_t es un número aleatorio que proviene de una distribución normal con media cero y varianza σ^2 .

Después de cada simulación, el valor de $f(S_T)$ es calculado. Una estimación del valor de la opción es:

$$\hat{c} = \exp^{-rT} E[f(S_T)].$$

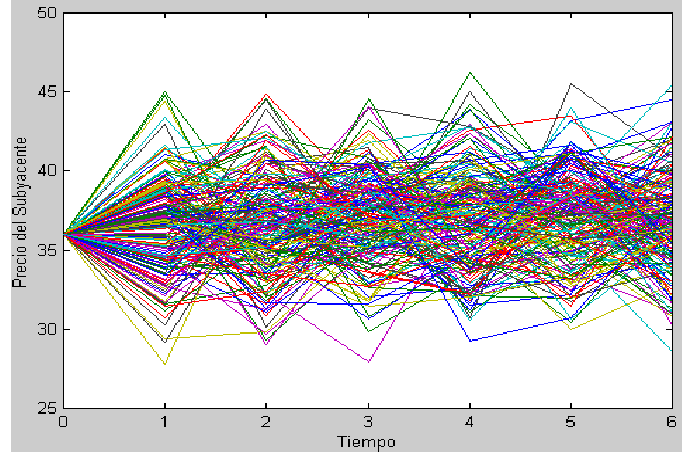


Figura 3.13: Generación de 200 escenarios

expresado en forma discreta:

$$c_i = \exp^{-rt} \max[S_t - K, 0].$$

Entonces, el promedio aritmético de los valores obtenidos en la función anterior es el valor total de la opción *call*:

$$call = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n c_i,$$

En este método ya no existe la posibilidad de que los valores arrojados puedan ser negativos, sin embargo, una de las desventajas es que requiere de un gran número de simulaciones.

Ejemplo

Para calcular el precio de una opción de compra *call* con $S(0) = 62$, $K = 60$, $\sigma = 20\%$, $r = 8\%$ y el tiempo de ejercicio en seis meses, primero se divide el periodo de seis meses en 40 intervalos iguales, para realizar las diferentes simulaciones que modelan la dinámica del precio del subyacente como se observa en la Figura 3.14.

Al final de las simulaciones, se calculan los diferentes valores de la opción como el valor presente de $\max(S - K, 0)$ a la fecha de valuación.

Por último se obtiene el promedio de los diferentes precios arrojados por el sistema.

Un resultado razonable se obtiene al realizar un aproximado de 100 simulaciones.

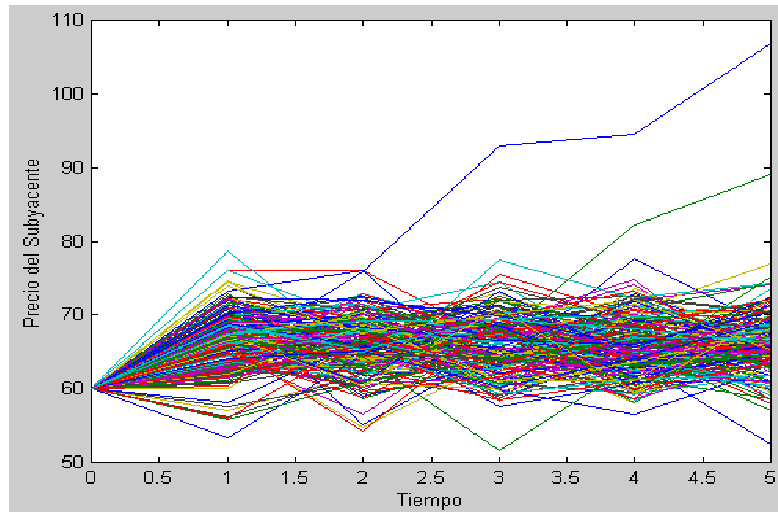


Figura 3.14: Dinámica del precio del subyacente para el cálculo de una opción

Al hacer el ejercicio en el lenguaje de programación “*Matlab*”, se obtiene que el precio de la opción es 4.4559 tal y como se observa en la Figura 3.15 (solo se muestran algunas de las simulaciones para que se puedan apreciar de una mejor manera).

Mientras que con *Black-Scholes*, el precio de la opción es de 4.54, lo cual muestra que ambos métodos pueden ser utilizados de forma indistinta, pues parten de los mismos supuestos.

```

» R=Call(60,1,.2,5,-.5,200,62,.08)

60.0000 65.9312 64.4389 67.2608 60.0272 63.4571
60.0000 67.9893 66.4567 62.9040 66.8713 66.8113
60.0000 66.8394 67.0852 69.4433 65.0618 65.0049
60.0000 61.9023 68.4063 61.0548 61.0071 72.2270
60.0000 65.8860 66.0919 63.1428 66.2426 67.6500
60.0000 71.2332 68.3336 66.5034 65.9766 70.4904
60.0000 67.8770 68.0313 64.1330 63.1089 64.5195
60.0000 65.8363 54.2099 69.6990 73.2472 64.9378
60.0000 68.4137 65.2742 69.4503 69.8563 67.8042
60.0000 67.5503 71.5079 61.2293 64.5207 67.1101
60.0000 72.4186 67.5229 70.0925 71.9202 65.2924
60.0000 61.7639 65.8789 73.0185 69.4372 68.3284
60.0000 72.3158 72.0541 69.8874 65.6922 71.3662
60.0000 66.6318 64.3683 51.5844 63.3469 64.6441
60.0000 56.0537 66.6290 63.2992 68.3870 72.1073
60.0000 68.7328 65.2667 59.4018 61.1841 61.8331
60.0000 72.3999 62.8587 65.4671 65.0983 69.3870
60.0000 67.2237 60.3361 70.9879 59.5724 70.0276
60.0000 64.8015 64.6503 64.2480 72.0986 70.4765
60.0000 64.0616 65.1682 60.1412 64.0518 69.2210
60.0000 67.1386 62.9574 67.9282 60.3847 67.1755
60.0000 64.9363 59.6210 61.6895 67.3703 64.5404
60.0000 67.3480 69.1700 69.3275 68.0731 66.2531

R =
4.4559

```

Figura 3.15: Precio de una opción de compra con simulación Monte Carlo

Capítulo 4

Coberturas petroleras en México

En este capítulo se realiza un análisis sobre las coberturas petroleras contratadas por el Dr. Agustín Carstens (Secretario de Hacienda y Crédito Público) durante el tercer trimestre de 2008 y que eran vigentes durante 2009, con el objetivo de establecer un precio piso del petróleo a 70 dólares por barril. Se menciona cuales son los factores para determinar el precio del petróleo y finalmente se da una conclusión con base en los cálculos realizados sobre estas coberturas en particular.

4.1. Precio del petróleo

El petróleo (al que también se le conoce como crudo) es una mezcla compleja de hidrocarburos líquidos, compuesto en su mayoría por carbono, hidrógeno, oxígeno, azufre y pequeñas cantidades de nitrógeno. Éste se forma por la descomposición y transformación de restos animales y plantas que han estado enterrados durante varios siglos.

Las características del petróleo varían de acuerdo al lugar de donde se extrae debido a que fueron formadas por diferentes compuestos.

Existen ciertas características que permiten agrupar el petróleo de los diferentes lugares del mundo, siendo éstas las que le dan su valor comercial y determinan su posible uso posterior.

La presencia en diversas cantidades de cada uno de los elementos químicos (orgánicos e inorgánicos) que componen el petróleo, determinan sus características particulares como el color, densidad, viscosidad, entre otras, las que permiten clasificarlo de diferentes maneras.

Los tipos de petróleo pueden ser determinados de distintos modos en función al criterio que se desee considerar como predominante, siendo los más comunes:



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Por su **composición química**. Depende de ciertos componentes químicos en el petróleo, así como de la unión de éstos en elementos más complejos y puede clasificarse en:

- Parafínico: su componente principal es el compuesto químico llamado parafina. Son muy fluidos y de color claro. Proporcionan una mayor cantidad de nafta (usada para obtener solventes de pintura, productos de lavado al seco o gasolinas) y lubricantes que los otros tipos de petróleo en el proceso de refinación.
- Nafténicos: sus componentes principales los naftenos y los hidrocarburos aromáticos. Son petróleos muy viscosos y de coloración oscura. Generan una gran cantidad de residuos tras el proceso de refinación.
- Mixtos: con ambos tipos de compuestos.

Por su **densidad**. La referencia que sustenta esta clasificación es la gravedad API, que es una medida de densidad, la cual se basa en la comparación de la densidad del petróleo con la densidad del agua, es decir, se busca determinar si el petróleo es más liviano o pesado que ésta última. Una de las clasificaciones propuesta por el Instituto de Petróleo Americano (API) es la que se muestra en la siguiente tabla.

**UNA CLASIFICACIÓN DEL PETRÓLEO
PROPUESTA POR EL API**

Aceite crudo	Densidad	Gravedad API
Extra pesado	≥ 1	10
Pesado	.92 – 1	10 – 22.3
Mediano	.87 – .92	22.3 – 31.1
Ligero	.83 – .87	31.1 – 39
Súper ligero	$\leq .83$	≥ 39

Los petróleos ligeros son más requeridos en el mercado y al mismo tiempo los de mayor precio ya que su costo de refinación es menores en comparación con petróleos pesados.

Entonces se puede decir que los “petróleos más ligeros tienen una mayor calidad y requieren de costos menores para ser aprovechados, en comparación con los más pesados”.

Por la **presencia de azufre**. Su presencia implica la necesidad de mayores procesos de refinamiento y por ende un costo mayor. Y se puede clasificar en:

- Petróleo dulce (*Sweet Crude Oil*): contiene menos de 0.5% de azufre. Es un petróleo de alta calidad y es ampliamente usado para ser procesado como gasolina.

- Petróleo ácido (*Sour Crude Oil*): contiene al menos 1 % de contenido sulfuroso en su composición. Es usado comúnmente en productos destilados intermedios como el diesel.

Las categorías antes mencionadas permiten establecer criterios básicos para determinar la calidad del petróleo, las cuales influyen finalmente en la determinación de los precios de cada uno de ellos.

En el mundo existen alrededor de 161 zonas petroleras, cada una de ellas produce un petróleo con diferentes características. Sin embargo, se puede determinar el precio de mercado de la producción de una zona en comparación con el petróleo de referencia más próximo (geográficamente).

Los dos petróleos de referencia más conocidos usados en el mundo son el *West Texas Intermediate (WTI)* y el *Brent Blend (Brent)*. El primero se produce en Norteamérica y el segundo en el Atlántico Norte.

El *West Texas Intermediate* es un petróleo producido en el oeste de Texas. Es un petróleo ligero (39.6° de gravedad API) y dulce (0.24 % de contenido sulfuroso). Su alta calidad lo hace ideal para la producción de gasolinas y es usado como valor de referencia sobre todo en el mercado americano (México, Brasil y Venezuela lo usan como referencia).

El *Brent Blend* es una combinación de crudos de 19 diferentes campos de explotación petrolera localizados en el Mar del Norte, cuyas producciones se envían hacia la terminal de Sullom Voe (en Escocia) para su comercialización. Su gravedad API es de 38.3° y contiene alrededor de 0.37 % de contenido sulfuroso, por lo tanto es un petróleo ligero y dulce, pero en menor escala que el WTI, siendo ideal para la producción de gasolinas y destilados intermedios. Éste es usado como precio de referencia en los mercados de Europa, en África y Medio Oriente.

También podemos mencionar el petróleo de Dubai (referencia del Medio Oriente), Minas (de Malasia) y Tapis (de Indonesia).

En la figura 4.1 se muestra el precio promedio (USD sobre barril) de tres tipos de petróleo (Brent, West Texas Intermediate y Dubai) de los últimos 20 años.

En México se preparan tres variedades de petróleo crudo que son utilizados para propósitos comerciales y asegurar un mejor valor económico de los hidrocarburos mexicanos. Los cuales suelen pagarse unos cuantos dólares (de 4 a 10 dólares en general) más barato que el *Brent* de Londres.

Estos se comercializan a nivel nacional e internacional y en general son mezclas de aceites de diferentes densidades como se presentan en la siguiente tabla con datos obtenidos del documento “Calidades típicas de los crudos mexicanos de exportación” emitido por la Dirección Comercial de Petróleo Crudo de P.M.I. Comercio

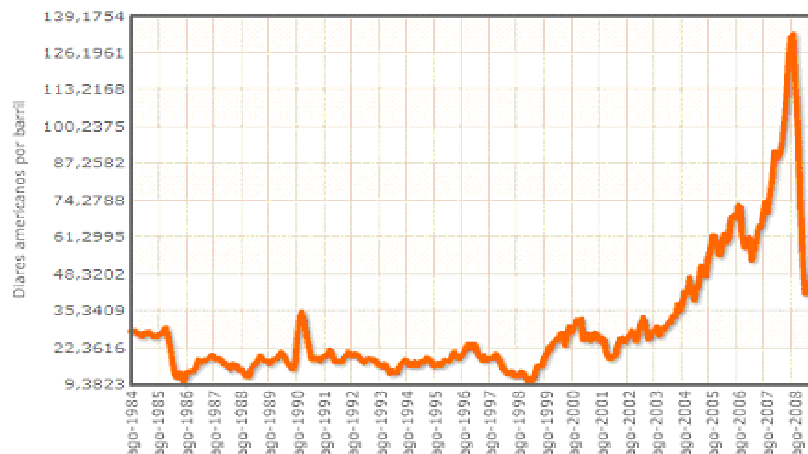


Figura 4.1: Precio promedio de tres tipos de petróleo (Brent, WTI y Dubai)

Internacional, S.A. de C.V.

TIPOS DE PETRÓLEO EN MÉXICO

Aceite crudo	Gravedad API	Azufre	Punto de escurrimiento (°F)
Maya	21.0 – 22.0	3.4	–25
Istmo	32.0 – 33.0	1.8	–35
Olmecca	38.0 – 39.0	0.73 – 0.95	–55
Altamira	15.0 – 16.5	5.5 – 6.0	32

4.2. Derivados sobre petróleo

El precio del petróleo, como cualquier otro producto comercial, se rige por el principio de la oferta y la demanda, lo cual significa que a medida que aumenta la tendencia al consumo, el precio del petróleo sube y si esta tendencia disminuye, el precio del petróleo baja.

El precio también depende (como se mencionó en la sección anterior) de ciertas características particulares en sus propiedades químicas, físicas, del mercado mundial, de los operadores no financieros (como los refinadores), la capacidad de producción, consumo y situación política de los principales países productores y consumidores.

En adición a ellas, los precios también son determinados por la dinámica de los operadores financieros no ligados al petróleo, es decir, aquellos que no guardan ninguna relación con el abastecimiento y consumo de barriles del crudo.

Estos inversionistas se limitan a especular con los precios, es decir, esperan los incrementos para vender los contratos que fueron comprados a menor precio con anterioridad.

De ninguna manera están interesados en el precio del petróleo, más bien, en las diferencias entre los precios en distintos momentos. Es decir, que mueven el dinero de sus inversiones hacia el petróleo si las perspectivas son atractivas. Estos representan alrededor del 30 %.

Es por ello que en años recientes se ha producido mayor interés procedente de las instituciones financieras y de fondos de pensiones e inversión sobre los mercados de futuros del petróleo, a raíz de la debilidad del dólar y de los rendimientos poco atractivos sobre otras formas de inversión.

En consecuencia, los mercados de derivados han sido muy innovadores desarrollando productos para satisfacer las diversas necesidades de los participantes del mercado; tal es el caso de los productos derivados de energía, en particular sobre el petróleo.

Las empresas de energía se encuentran entre los usuarios de derivados más activos y sofisticados. Muchos productos de energía se negocian tanto en el mercado *over the counter* como en los mercados organizados, debido a la rentabilidad que se alcanza por variaciones en los precios y no por la productividad de las empresas petroleras.

El petróleo crudo es uno de los bienes más importantes en el mundo con una demanda global actual de 84.4 millones de barriles diarios (mb/d).

En los mercados *Over The Counter (OTC)*, los instrumentos derivados comúnmente usados sobre el petróleo son los *swaps*, los futuros y las opciones.

En los mercados organizados como en el *New York Mercantile Exchange (NY-MEX)*, en Estados Unidos y el "*Intercontinental Exchange Futures (ICE)*", el más importante en Europa se negocian contratos de futuros sobre petróleo y opciones sobre futuros.

Algunos de los contratos de futuros se cierran en efectivo, otros en entrega física. En ambos casos, la cantidad de petróleo subyacente a un contrato equivale a 1.000 barriles.

Las coberturas petroleras son herramientas financieras, totalmente independientes de la compra física del combustible, que permiten protegerse del riesgo de baja o aumento del precio de esa materia prima.

En el mercado de coberturas participan las empresas petroleras con cantidades relativamente pequeñas, mientras que sólo algunos países como México y Nigeria invierten grandes cantidades elevadas.

Naciones como Venezuela, Noruega, Nigeria y Kuwait suelen recurrir a esos derivados con un fin de propósitos.

Un ejemplo de esto se presenta con la existencia del Fondo de Estabilización Petrolero Noruego, que funciona como un portafolio de inversión, el cual ofrece la posibilidad de adquirir instrumentos en el mercado de derivados para elaborar las coberturas correspondientes.

4.3. Derivados contratados por la SHCP

A finales de agosto e inicios de septiembre de 2008, la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) pactó derivados sobre petróleo con los bancos *Goldman Sachs* y *Barclays Capital* por 1, 500 millones de dólares, con el objetivo de garantizar un precio piso de 70 dólares por barril durante el 2009 para un porcentaje de las exportaciones nacionales.

En noviembre de 2008 el Dr. Agustín Carstens proporcionó algunas de las características de los derivados contratados, así como el objetivo de su contratación a través de un comunicado emitido por la SHCP.

Los derivados son opciones de venta (*put*) que funcionan como un seguro, en el cual se paga una prima al momento de su adquisición y en caso de que el precio promedio del petróleo mexicano esté por debajo de los 70 dólares por barril, otorga un pago al Gobierno Federal que compensa la disminución observada en los ingresos presupuestarios hasta octubre de 2009.

Una opción otorga el derecho, mas no la obligación de comprar o vender el subyacente (petróleo) a un precio específico en una fecha determinada (como se menciona en el segundo y tercer capítulo).

El monto de la prima se calcula a partir de la vigencia del seguro, el precio actual del crudo, los precios futuros y la tasa de interés, a la fecha de su contratación.

Por dicha cobertura, el que contrata la opción paga una comisión, además, el vendedor del seguro puede, a su vez, negociar el contrato en el mercado, con lo cual se libera de la responsabilidad de pagar el monto cubierto de ser el caso. O bien, realizar una cobertura sintética que lo proteja del riesgo adquirido.

La cantidad cubierta contratada fue de 330 millones de barriles, equivalentes al volumen de exportaciones netas de petrolíferos incluidos en el paquete económico de 2009 ¹y con lo cual se garantiza que el presupuesto nacional no se vea afectado ².

La operación se efectuó a través de Nacional Financiera en un fideicomiso³ del Fondo de Estabilización Petrolera⁴, que ya cuenta con 55 mil millones de pesos y en 2009 se consideran 30 mil millones adicionales.

Ese fideicomiso público no paraestatal fue establecido en noviembre de 2000 para disminuir el impacto de las fluctuaciones del precio promedio del petróleo sobre las finanzas públicas, de las cuales el 40% proviene de la venta de crudo. Desde la creación del Fondo se han contratado coberturas petroleras por 22 mil 235.2 millones de pesos.

En la figura se puede apreciar la gráfica de pérdidas y ganancias de éstos instrumentos.

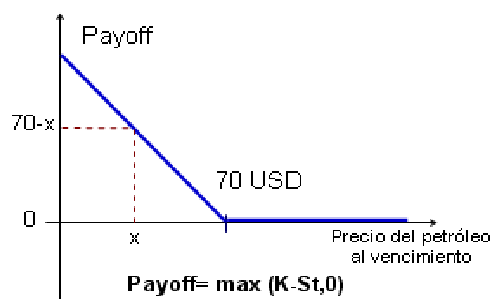


Figura 4.2: Esquema de pérdidas y ganancias de los puts contratados como cobertura

En la siguiente tabla se muestra un resumen con las principales características de las coberturas de petróleo contratadas, formado con base en la información antes

¹Comunicado "Cobertura de ingresos petroleros del Gobierno Federal para 2009" emitido por la SHCP el 13 noviembre de 2008.

²Con relación a la venta y producción de crudos.

³Un fideicomiso es una entidad ficticia legal que posee los activos propios en beneficio de un tercero. El fideicomitente es la persona que da el dinero y establece el fideicomiso. El fideicomisario es la persona encargada de conservar seguros los activos, invertirlos correctamente y finalmente distribuirlos al Beneficiario en el momento adecuado. El fideicomitente decide en gran medida cómo debe conservarse el dinero.

⁴El Fondo de Estabilización Petrolera tiene por objeto aminorar el efecto sobre las finanzas públicas y la economía nacional cuando ocurran disminuciones de los ingresos petroleros del gobierno federal, asociadas a disminuciones en el precio promedio ponderado de barril de petróleo crudo mexicano y de otros hidrocarburos

descrita.

CARACTERÍSTICAS DE LOS CONTRATOS

Tipo de instrumentos: Opciones de venta sobre petróleo
Precio pactado (k): 70 USD/barril
Monto de la prima: 1,500 millones de dólares
Número de instrumentos: N/A
Fecha de contratación: Finales de agosto, principios de septiembre
Fecha de inicio de la cobertura: En 2009
Fecha de ejercicio: En 2009
Monto notional: 330 millones de barriles

Esta información es básica y hasta cierto punto suficiente si se quiere tener un panorama general de la cobertura realizada, sin embargo, se necesitan datos adicionales a los ya mencionados y algunos que sean más precisos (en cuanto a fechas y montos) para poder llevar a cabo un análisis sobre su contratación.

Supuestos

Por lo anterior, es necesario completar la información, incluyendo en ella algunos supuestos adicionales muy específicos:

1. Tipo de instrumento: compra de opciones *put* europeas sobre futuros de petróleo (se desconoce el tipo de petróleo, pero probablemente sea sobre algún tipo de petróleo mexicano como el Maya), lo que significa que se tiene el derecho de vender el petróleo a un precio establecido, a cambio del pago de una prima inicial.
2. Precio pactado: 70 USD / Barril.
3. Fecha de contratación: a finales de agosto y principios de septiembre. Al suponer que se llevaron aproximadamente diez días hábiles (la última semana de agosto y la primera de septiembre), del 25 al 29 de agosto y del 1 al 5 de septiembre para pactar las coberturas, se selecciona un día en específico, en este caso el 29 de agosto.
4. Fecha de inicio de la cobertura: Se sabe que comienza en 2009. Al suponer que se contrató cierta cantidad de *puts* con inicios mensuales desde enero de 2009 hasta octubre de 2009. El inicio de cada cobertura es el primer día hábil de cada mes.
5. Fecha de ejercicio: en 2009. Suponer que los vencimientos son mensuales desde enero hasta octubre.

6. Monto nocional: 330 millones de barriles. Suponer que la cantidad de barriles se distribuye de igual manera en cada uno de los diez meses de cobertura (de enero a octubre de 2009), es decir, 33 millones de barriles mensuales. Lo cual se puede apreciar en la siguiente tabla.

Meses	No. Contratos	Nocional (barriles)
Enero	33,000	33,000,000
Febrero	33,000	33,000,000
Marzo	33,000	33,000,000
Abril	33,000	33,000,000
Mayo	33,000	33,000,000
Junio	33,000	33,000,000
Julio	33,000	33,000,000
Agosto	33,000	33,000,000
Septiembre	33,000	33,000,000
Octubre	33,000	33,000,000

7. Número de instrumentos: como ya se mencionó en párrafos anteriores, en los mercados reconocidos, cada contrato sobre petróleo equivale a 1,000 barriles. Siguiendo esta lógica, por cada mes se tienen 33 mil contratos *puts*.
8. Tasa libre de riesgo: LIBOR. El precio de los futuros sobre el petróleo se cotiza en dólares por barril. La tasa libre de riesgo para realizar operaciones con dólares es la tasa LIBOR. Por otra parte, también se puede considerar la tasa de préstamo del Gobierno Mexicano. Dicha tasa se puede obtener de los rendimientos de los bonos soberanos ⁵en dólares, que es básicamente una tasa LIBOR mas algún premio por la calificación crediticia del país (actualmente BBB, que es una calidad baja, pero aceptable). El rendimiento de este tipo de bonos en 2008 se encontraba en 6.055% con un plazo a 30 años.

En la siguiente tabla se muestra el resumen que con la información completa que

⁵Los bonos soberanos mexicanos son instrumentos de largo plazo emitidos en el extranjero. Cada emisión tiene características particulares, cuentan con gran liquidez y preferencia por los inversionistas extranjeros. Los bonos son colocados por los diferentes países para financiar sus proyectos

se va a utilizar:

CARACTERÍSTICAS DE LOS CONTRATOS CON LA INFORMACIÓN COMPLETA

Tipo de instrumentos: Opciones de venta sobre petróleo
Precio pactado (k): 70 usd/barril
Monto de la prima: 1,500 millones de dólares
Fecha de contratación: 29 agosto de 2008
Fecha de inicio de la cobertura: mensual de enero-octubre 2009
Fecha de ejercicio: mensual de enero-octubre 2009
Monto notional: 33 millones de barriles mensuales
Número de instrumentos: 33 mil mensuales
Tasa libre de riesgo: Libor

4.4. Análisis de las coberturas

A partir de la información de la sección anterior, se puede realizar un análisis de los derivados que fueron contratados, con el fin de obtener resultados a través de la teoría matemática de valuación de derivados y con información real de mercado.

El análisis básicamente consiste en tres aspectos:

1. Re calcular el valor de la prima (bajo los supuestos mencionados), con el fin de validar si existen diferencias importantes entre éste cálculo y el monto que la SHCP pagó por las contratación de las coberturas en 2008.
2. Calcular el valor de las coberturas al mes de mayo de 2009 y compararlo con lo que la SHCP pronosticó en su comunicado del 13 de noviembre de 2008.
3. Replicar los instrumentos derivados contratados (al inicio de la cobertura), con una combinación de la compra de petróleo más el activo libre de riesgo, formando con ello una cobertura sintética (con base en la metodología descrita en el capítulo 3).
4. Presentar una conclusión con base en los resultados obtenidos en los puntos anteriores.

4.4.1. Cálculo de la prima

Una opción sobre petróleo es un contrato entre dos partes, en el que una de ellas tiene el derecho de comprar (*call*) o vender (*put*) a la otra parte, una determinada

cantidad de petróleo a la fecha de ejercicio, a un precio pactado al momento de realizar el contrato.

El monto de la prima que tiene que pagar el poseedor de la opción, es el cálculo de la valuación (*MtM*) de las opciones a la fecha de su contratación.

Valuación *Black 76*

Para valuar opciones sobre futuros (en este caso sobre futuros de petróleo) se utiliza el modelo “*Black 76*”, dicho modelo es parte de un resultado que presentó *Fischer Black* en un artículo publicado en 1976 y es básicamente una modificación a la fórmula original.

Uno de los supuestos mas importantes en este modelo es que el precio del futuro sigue una distribución lognormal, de manera que solo es necesario reemplazar S_0 por F y $q = r$ de las fórmulas vistas en el capítulo anterior.

El precio de la opción europea de compra (c) y el de la opción de venta (p) se calcula con como sigue:

$$c = Fe^{-rT}N(d_1) - Ke^{-rT}N(d_2), \quad (4.1)$$

$$p = Ke^{-rT}N(-d_2) - Fe^{-rT}N(-d_1). \quad (4.2)$$

Donde:

$$d_1 = \frac{\ln(\frac{F}{K}) + (\frac{\sigma^2}{2})T}{\sigma\sqrt{T}} \quad (4.3)$$

y

$$d_2 = \frac{\ln(\frac{F}{K}) - (\frac{\sigma^2}{2})T}{\sigma\sqrt{T}} = d_1 - \sigma\sqrt{T},$$

c : *MtM* de un *call* sobre petróleo.

p : *MtM* de un *put* sobre petróleo.

F : Precio de los futuros sobre el petróleo.

K : Precio pactado del petróleo.

r : Tasa de interés libre de riesgo.

σ : Volatilidad de los futuros sobre petróleo.

T : Tiempo restante al vencimiento de la opción.

$N(x)$: Distribución de probabilidad normal estándar.

Para el cálculo de las coberturas (al suponer que se contrataron el 29 de agosto de 2008), los datos son los siguientes:

Fecha de contratación = 29 de agosto de 2009.

$K = 70$ USD/Barril.

$\sigma = 40.58\%$ ⁶.

$T =$ Vencimientos mensuales de enero a octubre de 2009

Los precios de los futuros sobre el petróleo (*Brent*) y las tasas de interés (*LIBOR*) por periodo (mensuales) se muestran en la siguiente tabla.

Vencimientos	Precio de los futuros de petróleo	Tasa de interés
2 enero 09	116.68 USD/Barril	2.951%
2 febrero 09	116.94 USD/Barril	3.036%
3 marzo 09	117.13 USD/Barril	3.118%
2 abril 09	117.27 USD/Barril	3.132%
4 mayo 09	117.38 USD/Barril	3.146%
2 junio 09	117.43 USD/Barril	3.158%
2 julio 09	117.48 USD/Barril	3.174%
3 agosto 09	117.51 USD/Barril	3.192%
2 septiembre 09	117.52 USD/Barril	3.209%
2 octubre 09	117.52 USD/Barril	3.221%

Los precios reales de los precios futuros y la volatilidad sobre petróleo descritos fueron obtenidos de “*Bloomberg*” (proveedor mundial de noticias, datos de mercado y análisis), específicamente de los futuros sobre petróleo crudo *Brent*.

Actualmente no existen precios de los futuros sobre los tipos de petróleo mexicanos, especialmente sobre el Maya, que es el más exportado⁷, por ejemplo, en 2008, el 89% de las exportaciones pertenecieron a este tipo de petróleo, lo cual se pueden observar en las Figuras 4.3 y 4.4.

Según las Políticas Comerciales del Crudo de P.M.I. Comercio Internacional, S.A. de C.V., de enero de 2005, se especifica textualmente que “*los precios del petróleo crudo para la exportación se determinarán mediante las fórmulas autorizadas para tal propósito, las cuales están referenciados a los precios internacionales de crudos y productos marcadores*”.

Lo anterior significa, entre otras cosas, que el precio del petróleo Maya se puede

⁶De la base de datos *Bloomberg*

⁷Con base en un análisis de las exportaciones de los tipos del petróleo mexicano de los años 1998-2008, se obtuvo que en general, el 79% de las exportaciones pertenecen al Maya, el 5% al Istmo y el 16% al Olmeca.

Exportaciones en Miles de Barriles Diarios [MBBL]												
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2008 [%]
Olmeca [MBBL]	468.8	434.4	397.6	317.4	244.8	215.6	221.4	215.8	230.6	172.7	129.6	89%
Istmo [MBBL]	207.6	190.1	109.8	86.8	45.8	24.9	27.4	81.0	68.3	41.1	23.0	2%
Maya [MBBL]	1058.7	929.1	1096.4	1351.4	1414.5	1603.4	1621.6	1520.3	1493.8	1472.3	1250.8	9%
Total [MBBL]	1735.1	1553.6	1603.7	1755.7	1705.1	1843.9	1870.3	1817.1	1792.7	1686.2	1403.4	100%

Figura 4.3: Exportaciones de petróleo mexicano (1998-2008). Fuente: PEMEX.



Figura 4.4: Gráfica que muestra las exportaciones por tipo de petróleo mexicano (1998-2008). Fuente: PEMEX.

calcular, con el precio del petróleo *Brent* y algunos factores adicionales (por ejemplo, el precio del combustóleo y una constante por el concepto del cargamento). No es objetivo de este trabajo el presentar la fórmula del cálculo, pero es útil conocer dicha información para entender que existe una relación entre ambos precios.

Adicionalmente se observó que durante 2008 y 2009 la mayor diferencia mensual presentada entre el precio del petróleo mexicano en comparación con el petróleo *Brent* fue de 14 USD, es decir, el precio del Maya es en promedio un 20% menor que el *Brent*, la cual se puede observar en la figura 4.5.

En cuanto a la volatilidad, se sabe que el *Brent* es mucho más líquido que cual-

Fecha	Brent (USD/BBL)	Olmeca (USD/BBL)	Istmo (USD/BBL)	Maya (USD/BBL)	Variación máxima entre el petróleo Brent y mexicano (USD/BBL)	% de Variación
ago - 08	114.98	118.61	113.05	106.87	8.11	7%
sep - 08	100.3	102.92	95.99	100.81	4.31	4%
oct - 08	87.3	85.79	83.13	92.87	4.17	5%
nov - 08	51.92	53.08	46.8	37.32	14.60	28%
dic - 08	43	44.5	38.21	31.91	11.09	26%
ene - 09	45.8	46.81	40.57	36.85	8.95	20%
feb - 09	43.91	45.1	39.19	37.83	6.08	14%
mar - 09	47.27	50.28	44.91	41.23	6.04	13%
abr - 09			50.76	45.94		
may - 09	57.86	60.76	59.08	55.29	2.57	4%
jun - 09	69.25	71.28	70.04	63.25	6.00	9%
jul - 09	64.12	65.45	63.87	58.7	5.42	8%

Figura 4.5: Variación entre los precios de petróleo Brent y Mexicanos

quiera de los tipos de petróleo mexicano, lo que significa que el *Brent* es menos volátil.

Por tanto, se considera que el cálculo realizado es una aproximación a la valuación que se tendría con los precios del petróleo mexicano.

Con base en lo anterior, se realiza el cálculo de la prima de las coberturas contratadas, el cual se puede apreciar en la tabla 4.6, en la que se desglosa periodo a periodo (en forma mensual) la valuación calculada a la fecha de contratación.

Vencimientos	Precio de los futuros sobre el petróleo (USD/BBL)	Tasa local	Volatilidad	PUT largo	MtM USD
02/01/2009	116.68	2.951%	40.58%	0.1276	4,211,901
02/02/2009	116.94	3.036%	40.58%	0.2526	8,334,923
03/03/2009	117.13	3.118%	40.58%	0.4018	13,257,920
02/04/2009	117.27	3.132%	40.58%	0.5831	19,242,839
04/05/2009	117.38	3.146%	40.58%	0.8001	26,403,810
02/06/2009	117.43	3.158%	40.58%	1.0142	33,466,973
02/07/2009	117.48	3.174%	40.58%	1.2471	41,155,371
03/08/2009	117.51	3.192%	40.58%	1.5064	49,711,990
02/09/2009	117.52	3.209%	40.58%	1.7571	57,982,971
02/10/2009	117.52	3.221%	40.58%	2.0128	66,421,554
Total					320,191,229

Figura 4.6: Cálculo de la prima de las opciones *put*

El cálculo realizado muestra un total de USD 320,191,229, lo cual significa que la SHCP tuvo que haber pagado una prima en dólares por esa misma cantidad a la fecha de contratación de las opciones contratadas.

Al comparar nuestro resultado contra el monto realmente pagado, se obtiene una

diferencia de USD 1, 179, 808, 771, la cual es bastante significativa. Hay que recordar que este resultado se obtiene al realizar los cálculos bajo el supuesto de que los derivados contratados fueron sobre el tipo *Brent*.

Cabe mencionar que el resultado obtenido puede ser modificado al mover cualquiera de los parámetros que componen el modelo de valuación, por ejemplo, los precios de los futuros del petróleo, la volatilidad, la tasa de interés, o el vencimiento de los *puts*.

El siguiente paso es tratar de encontrar cuales son las posibles razones de las diferencias tan significativas con respecto al cálculo de la prima.

Para ello, se plantean tres alternativas y en cada una de éstas se modifican algunos de los valores de los parámetros de la valuación (los que se consideran en este análisis, más significativos), es decir, los precios de los futuros sobre el petróleo y la volatilidad correspondiente.

Primera alternativa

La primera alternativa consiste en modificar el valor de la volatilidad de cada uno de los instrumentos contratados.

Con base en los cálculos de la valuación realizados se encuentra que al modificar el porcentaje de volatilidad implícita real del 40.58 % por una de 65.17 % (ver tabla 4.7), el monto de la prima de éste análisis es exactamente igual a la prima pagada por la SHCP.

Vencimientos	Precio de los futuros sobre el petróleo (USD/BBL)	Tasa local	Volatilidad	PUT largo	MtM USD
02/01/2009	116.68	2.951%	65.17%	1.4688	48,469,218
02/02/2009	116.94	3.036%	65.17%	2.1562	71,154,170
03/03/2009	117.13	3.118%	65.17%	2.8194	93,041,653
02/04/2009	117.27	3.132%	65.17%	3.5131	115,931,541
04/05/2009	117.38	3.146%	65.17%	4.2495	140,232,917
02/06/2009	117.43	3.158%	65.17%	4.9110	162,062,194
02/07/2009	117.48	3.174%	65.17%	5.5813	184,184,093
03/08/2009	117.51	3.192%	65.17%	6.2817	207,296,724
02/09/2009	117.52	3.209%	65.17%	6.9235	228,474,712
02/10/2009	117.52	3.221%	65.17%	7.5501	249,152,777
Total					1,500,000,000

Figura 4.7: Primera alternativa: cálculo de la prima modificando la volatilidad

Con lo anterior se está suponiendo que el precio del petróleo tiene una mayor volatilidad, es decir que los movimientos en el precio del petróleo mexicano son menos predecibles.

Segunda alternativa

La segunda alternativa consiste en modificar el valor de los precios de los futuros sobre el petróleo en cada uno de los meses de cobertura.

Con base en los cálculos de la valuación realizados se encuentra que al modificar los precios de los futuros del petróleo (en promedio de USD 117) por uno de USD 85.07 (ver tabla 4.8), el monto de la prima de éste análisis también coincide con la prima pagada por la SHCP.

Vencimientos	Precio de los futuros sobre el petróleo (USD/BBL)	Tasa local	Volatilidad	PUT largo	MtM USD
02/01/2009	85.07	2.951%	40.58%	2.1482	70,890,633
02/02/2009	85.07	3.036%	40.58%	2.7681	91,347,882
03/03/2009	85.07	3.118%	40.58%	3.3179	109,490,976
02/04/2009	85.07	3.132%	40.58%	3.8589	127,345,214
04/05/2009	85.07	3.146%	40.58%	4.4066	145,419,226
02/06/2009	85.07	3.158%	40.58%	4.8791	161,011,917
02/07/2009	85.07	3.174%	40.58%	5.3460	176,419,444
03/08/2009	85.07	3.192%	40.58%	5.8218	192,119,472
02/09/2009	85.07	3.209%	40.58%	6.2487	206,208,013
02/10/2009	85.07	3.221%	40.58%	6.6590	219,747,223
Total					1,500,000,000

Figura 4.8: Segunda alternativa: Cálculo de la prima modificando los precios

En resumen, si el precio promedio de los futuros sobre petróleo es menor o la volatilidad mayor a la de los futuros sobre el *Brent*, la prima calculada y la real, estarían muy próximas.

Tercera alternativa

La tercera alternativa consiste en modificar en el mismo cálculo, tanto los precios de los futuros como la volatilidad implícita.

Ambas se pueden considerar como buenas opciones, en primer lugar, como ya se había mencionado, el precio de petróleo mexicano es hasta un 20 % menor que el *Brent* (ver la comparación de precios de la Figura 4.5) y por otro lado, el petróleo mexicano es más volátil que el *Brent* (en promedio, hasta un 15 % adicional).

Entonces, si el precio promedio real de los futuros sobre el *Brent* es de USD 117 para el cálculo de la prima, al disminuirlos un 20 %, se obtiene un precio promedio de USD 93.6.

Mientras que la volatilidad real promedio es de 40.58 %, al incrementarla un

15 %, se obtienen una del 47 %.

Considerando estos cambios en los parámetros de la valuación, el modelo arroja una prima de USD 1,395,198,280, que es más cercana a la prima pagada real de 1,500,000,000 USD.

Cabe mencionar que además de los ajustes en los precios y la volatilidad, existen otros factores que pueden hacer más exacta la valuación, sin embargo, no se cuenta con la información suficiente para sustentarlos:

Estas razones se listan a continuación:

1. Tasa de interés. Las coberturas se encuentran estructuradas en USD/Barril, lo cual significa que implican una tasa de interés en dólares, como tasa de descuento. La tasa libre de riesgo en E.U.A. es la tasa Libor, ésta es la que se pacta generalmente entre los bancos e instituciones financieras, sin embargo, en éste análisis, las coberturas fueron contratadas por el Gobierno Mexicano, lo cual indica que la tasa de interés se encuentra relacionada con la tasa de fondeo que pueda conseguir el Gobierno en el extranjero, en la cual se encuentre implícito el riesgo país (México tienen una calidad crediticia de BBB, la más baja aceptable), que básicamente será la tasa Libor + puntos base.
2. Lognormalidad de los precios. Para probar la normalidad de los precios de los futuros sobre petróleo se aplicó la prueba de normalidad Xi cuadrada con 5 grados de libertad para una historia de precios de 2007-2009. En dicha prueba se aceptaba la normalidad con un α igual a 2% pero se rechazaba con un α igual al 5%. Lo anterior quiere decir que es difícil que los datos se ajusten a una distribución normal, sin embargo es válido suponerlo, debido a que el modelo de valuación utilizado (Black 76) es suficientemente robusto.
3. Modelos de valuación. El modelo de valuación utilizado por las instituciones financieras que ofrecieron esta estrategia puede ser diferente al que suponemos en este análisis, sin embargo, cabe mencionar que actualmente existen muy pocos modelos de valuación para este tipo de estructuras y en algunos de ellos solo se hacen algunas modificaciones al modelo de Black76 .
4. Costo adicional por la contratación. Hay que considerar que también existe la posibilidad de que exista un costo o premio adicional ajeno a la valuación matemática y que las instituciones financieras hayan incluido con base a sus políticas internas.

En conclusión, fue posible realizar un análisis de las coberturas contratadas que incluyera toda la teoría matemática, los datos reales de mercado y otras consideraciones (como la tasa de fondeo o costos adicionales) y según el resultado obtenido, se encontró que el monto de la prima obtenida no es igual al monto que se pagó por la contratación (pero sí una aproximación).

Las diferencias de los cálculos se encuentran en los datos de los parámetros utilizados y en diversas consideraciones adicionales a los modelos de valuación, sin embargo ninguna de ellas se puede incluir dentro del análisis debido a que no se cuenta con información pública para sustentarlas.

4.4.2. Cálculo de las coberturas a finales de mayo de 2009

A finales del mes de mayo de 2009, las únicas coberturas que estaban vigentes son las que pertenecían a los meses de junio a octubre, puesto que las restantes llegaron a su vencimiento a principios de 2009.

A casi un año de su contratación (mayo 2009), el *MtM* de los instrumentos derivados es de USD 992,715,001, es decir, las coberturas tienen un valor positivo que representa una ganancia, debido a que los precios de los futuros (en general) son menores que el precio pactado. Ver cálculo en la figura 4.9.

Vencimientos	Precio de los futuros sobre el petróleo (USD/BBL)	Tasa local	Volatilidad	PUT largo	MtM USD
02/06/2009	66.00	0.281%	39.81%	4.1040	135,431,108
02/07/2009	66.31	0.336%	39.81%	5.4879	181,100,379
03/08/2009	67.07	0.533%	39.81%	6.2594	206,561,036
02/09/2009	67.72	0.691%	39.81%	6.8381	225,655,945
02/10/2009	68.20	0.947%	39.81%	7.3929	243,966,892
Total					992,715,001

Figura 4.9: MtM al 29 de mayo de 2009

En general, si los precios de los futuros sobre petróleo son menores que el precio pactado, entonces se obtiene una ganancia (entre más alejado mayor ganancia); de lo contrario se decide no ejercer la cobertura en ese periodo.

La SHCP, en su comunicado de 13 de noviembre de 2008 pronosticó que la ganancia por la cobertura sería aproximadamente de 9,553 millones de dólares. A mayo de 2009, la cobertura arroja un monto de 992 millones de dólares. Lo cual indica que la ganancia fue menor a la esperada, sin embargo, también hay que tener en cuenta todos los resultados y consideraciones mencionadas en el punto anterior.

4.4.3. Replicación sintética de las coberturas de petróleo

En este tipo de estrategias es común que las instituciones financieras que ofrecen los derivados realicen posteriormente una cobertura sintética, lo cual significa tomar una posición sobre el activo subyacente (petróleo) de manera que la delta de la posición se mantenga igual a la opción requerida.

Como se mencionó en el tercer capítulo, para crear sintéticamente una opción de venta, se debe asegurar que en cualquier momento se haya vendido una cierta cantidad de petróleo (Δ) al mismo tiempo que se invierten dichos ingresos en activos libres de riesgo.

En la figura 4.10 se muestra la cantidad de petróleo que es necesario vender en cada uno de los meses de enero a octubre de 2009 (“Porción de petróleo”) así como los ingresos que deben ser invertidos por periodo (“Activo libre de riesgo”). Esto con el objetivo de que en todo momento el valor del portafolio mantenga un valor igual al de los *puts* adquiridos.

En el primer renglón de la figura, se muestra que se debe vender un 2.2% (Δ) de petróleo (por cada barril) e invertirse los ingresos resultantes, con el fin de obtener el valor de la opción requerida correspondiente a ese periodo que es de $4,211,892 = 0.128(33,000,000)$.

Cabe mencionar que la replicación se encuentra estructurada bajo los mismos supuestos que se utilizaron en la sección anterior con el fin de conocer el monto y la valuación de los derivados contratados.

Fechas de ajuste	Días Restantes	Precio de los futuros sobre petróleo al 29 de agosto 2008	Put	Delta	Valor del portafolio	Porción de petróleo	Activo libre de riesgo
02/01/2009	126	116.68	4,211,892	(0.02)	4,211,892	(86,137)	\$ 4,298,029
02/02/2009	157	116.94	8,335,067	(0.03)	8,335,067	(127,470)	\$ 8,462,537
03/03/2009	186	117.13	13,258,160	(0.04)	13,258,160	(167,851)	\$13,426,011
02/04/2009	216	117.27	19,243,114	(0.05)	19,243,114	(208,232)	\$19,451,346
04/05/2009	248	117.38	26,404,062	(0.06)	26,404,062	(249,982)	\$26,654,043
02/06/2009	277	117.43	33,467,165	(0.07)	33,467,165	(286,371)	\$33,753,536
02/07/2009	307	117.48	41,155,481	(0.08)	41,155,481	(322,263)	\$41,477,744
03/08/2009	339	117.51	49,712,002	(0.09)	49,712,002	(358,627)	\$50,070,629
02/09/2009	369	117.52	57,982,893	(0.10)	57,982,893	(390,976)	\$58,373,869
02/10/2009	399	117.52	66,421,393	(0.11)	66,421,393	(421,520)	\$66,842,913

Figura 4.10: Replicación sintética de las opciones de petróleo

En este análisis, la cobertura sintética es una buena opción para disminuir o mitigar los riesgos existentes a los que quedaron expuestas las instituciones financieras después de ofrecer a México la cobertura petrolera, debido a que este tipo de coberturas son muy particulares y adecuadas a las necesidades del país, por lo cual no es tan sencillo poder negociarlas posteriormente en el mercado.

Conclusiones

- Con respecto al cálculo de la prima de las coberturas al 29 de agosto de 2008.

Fue posible realizar un análisis de las coberturas contratadas que incluyera toda la teoría matemática, así como datos reales de mercado y según el resultado obtenido, se encontró que el monto de la prima obtenida no es igual al monto que se pagó por la contratación (pero sí una aproximación).

Las diferencias en los cálculos se encuentran en los datos de los parámetros utilizados, y en diversas consideraciones adicionales a los modelos de valuación, como la tasa de interés de fondeo para el Gobierno Mexicano en el extranjero, la lognormalidad de los precios del petróleo, los modelos de valuación utilizados por los bancos Goldman Sach y Barclays Capital, o los costos adicionales por la contratación, sin embargo ninguna de ellas se puede considerar para el cálculo de la prima debido a que no se cuenta con información pública que pueda sustentarla.

- Con respecto a la valuación de las coberturas al 29 de mayo de 2009.

En mayo de 2009 aún permanecía vigente la cobertura de los meses de junio a octubre, y el resultado de la valuación de estos instrumentos arrojó una ganancia para el Gobierno Mexicano, sin embargo, esta ganancia fue menor a la que se pronosticó por la SHCP en su comunicado emitido el 13 de noviembre de 2008.

La desviación de los cálculos se debe a los mismos motivos que se plantean en el punto anterior.

Por otra parte, la ganancia generada por la contratación de las coberturas, permitió compensar las pérdidas ocasionadas por exportar petróleo a un precio bajo en ese momento.

Lo anterior ejemplifica a la perfección cuál es el beneficio de adquirir instrumentos de cobertura sobre petróleo, el cual representa un riesgo inherente a la operación de las exportaciones de México.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

- Con respecto a la cobertura sintética.

Se considera que la cobertura sintética, en este caso era una buena opción para disminuir o mitigar los riesgos existentes a los que quedaron expuestas las instituciones financieras después de ofrecer a México la cobertura petrolera, debido a que este tipo de coberturas estaba adecuada específicamente a las necesidades del país, por lo cual no es tan sencillo poder negociarlas posteriormente en el mercado.

- Con respecto a la información disponible.

Actualmente existe la necesidad de tener acceso a información que contenga el nivel de detalle apropiado y suficiente de los insumos utilizados en las metodologías de valuación de derivados, así como conocer las políticas de cobertura que utilizan las diferentes compañías e instituciones. Ésto con la finalidad de poder realizar análisis más certeros y sustentados en su totalidad.

- Con respecto a las metodologías de valuación.

Los modelos cuantitativos de valuación tienen una gran utilidad en la aplicación diaria dentro de instituciones y corporativos que poseen instrumentos derivados, de allí surge su gran importancia, por lo cual sería una buena práctica que dichos modelos estuvieran disponibles como documentos de consulta.

Este trabajo pretende servir como una aportación al análisis de los instrumentos derivados y coberturas de petróleo, sin embargo es importante mencionar que no deja de tratarse de un tema poco explorado donde hay un gran campo que analizar aún.

Bibliografía

- [1] HULL, John C., Introducción a los mercados de Futuros y Opciones, 4a. ed. Pearson Prentice Hall, Madrid, 2002
- [2] HULL, John C., Options, Futures and Other Derivatives, 5a. ed. Pearson Prentice Hall, New Jersey, 2002
- [3] JACKEL, Peter., Monte Carlo Methods in Finance, 1 ed., 2002
- [4] LARA, Alfonso de H., Medición y control de riesgos financieros, 2a. ed. Limusa, México D.F., 2002
- [5] LUENBERGER, David G., Investment Science, Stanford University, 1998
- [6] MALKIEL, Burton G., Un paseo aleatorio por Wall Street, 8a. ed. Alianza, Madrid, 2006.
- [7] ODDONE, Carlos Nahuel, Mercados emergentes y crisis financiera internacional, 1a. ed. Eumed.net, Buenos Aires, 2004
- [8] PALACIOS, Ana Bertha., “Modelos de riesgo de crédito”. Director: Dr. Pablo Padilla Longoria. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ciencias. 0000.
- [9] POITRAS, Geoffrey, Risk Management, Speculation and Derivative Securities, 1a. ed. Academic Press, USA, 2002
- [10] SCHOFIELD, Neil C., Commodity Derivatives: Markets and Applications, 1a ed. John Wiley - Sons, Inglaterra, 2007
- [11] STAMPFLI, Joseph, The Mathematics of Finance: Modeling and Hedging, 1a ed. Brooks/Cole, CA USA, 2001
- [12] Alayon, David. (2008). Los instrumentos derivados para cobertura de riesgo. Obtenido el 14 de Enero de 2009 en <http://www.instituto-finanzas.com/blog/2008/09/16/C2BFpor-que-quebra-lehman-brothers/>



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

- [13] Antecedentes. Obtenido el 21 de Diciembre de 2008 en <http://www.mexder.com.mx/MEX/Antecedentes.html>
- [14] Bello, Evelin., Rangel Yaicel. (2007). Los instrumentos derivados para cobertura de riesgo. Obtenido el 18 de Enero de 2009 en <http://www.gestiopolis.com/finanzas-contaduria/operaciones-financieras-y-sus-riesgos.htm>
- [15] Delgado G., Daniella J. (2008). Instrumentos Financieros Derivados. Obtenido el 11 de Enero de 2009 en <http://www.econlink.com.ar/inversiones/derivados>
- [16] Development of derivative securities. Obtenido el 4 de Enero de 2009 en <http://www.bus.sfu.ca/homes/poitras/CHP9.pdf>
- [17] Gómez, Roberto. Introducción a los mercados financieros. Obtenido el 18 de Enero de 2009 en <http://www.eumed.net/cursecon/cursos/mmff/operaciones.htm>
- [18] Gómez, Roberto. Principales operaciones del mercado, especulación. Obtenido el 18 de Enero de 2009 en <http://www.eumed.net/cursecon/libreria/rgl-mmff/0202.htm>
- [19] González, Mario A. “Derivados ¿a la deriva?, lo bueno, lo malo, lo feo.”, Ejecutivos de finanzas. Enero 2009, 35-42
- [20] Los productos derivados (2006). Obtenido el 14 de Diciembre de 2008 en <http://www.google.com.mx/search?hl=esq=historia+de+los+derivadosmeta=>
- [21] Poitras, Geoffrey. (2000). Early History of Financial Economics. Obtenido el 13 de Diciembre de 2008 en <http://www.sfu.ca/poitras/book.htm>
- [22] De la Torre, Antonio., Tellez, Cecilia., Trujillo, Antonio. (1998). Desarrollo histórico y perspectivas futuras de los mercados financieros derivados OTC. Obtenido el 5 de Marzo de 2009 en www.pucp.edu.pe/departamento/economia.pdf
- [23] Castillo A., Ivan D. (2007). Método de Monte Carlo para la valoración de opciones exóticas. Obtenido el 22 de Mayo de 2009 en <http://www.matematicas.unal.edu.co/academia/programas/documentos-tesis/1-2007/2.pdf>
- [24] Las letras griegas. Obtenido el 21 de Mayo de 2009 en <http://www.uclm.es/profesorado/gserna/tema10bis.ppt2>

- [25] Biodisol (2008). ¿Qué es el Petróleo? Tipos de Petróleo. Obtenido el 8 de Agosto de 2009 en <http://www.biodisol.com/medio-ambiente/que-es-el-petroleo-tipos-de-petroleo-hidrocarburos-west-texas-intermediate-petroleo-brent-blend-clasificacion-del-crudo/>
- [26] Da Silva, Angel. (2009). Los Biocarburantes, ¿solución o fantasía?. Obtenido el 8 de Agosto de 2009 en <http://elmundodelpetroleo.blogspot.com/>
- [27] El Mundo del Petróleo. (2009). Coberturas Petroleras. Obtenido el 14 de Agosto de 2009 en <https://elmundodelpetroleo.com/articulos.php?id.sec=3.id.art=22>
- [28] Secretaría de Energía. (2009). Tipos de Petróleo y la Producción en México. Obtenido el 9 de Agosto de 2009 en <http://200.23.166.141/Sene.tiposdepetroleoylaproduccion.en.mexico>
- [29] Secretaría de Hacienda y Crédito Público. (2008). Cobertura de ingresos petroleros del gobierno federal para 2009. Obtenido el 29 de Noviembre de 2008 en <http://www.apartados.hacienda.gob.mx/comunicado0892008.pdf>
- [30] Secretaria de Hacienda y Crédito Público. (2008). Cobertura de Ingresos Petroleros del Gobierno Federal para 2009. Obtenido el 8 de Agosto de 2009 en <http://www.shcp.gob.mx>
- [31] Secretaria de Hacienda y Crédito Público. (2008). Evolución del Mercado Petrolero. Obtenido el 9 de Agosto de 2009 en <http://www.shcp.gob.mx/petroleo280508.pdf>
- [32] Secretaria de Hacienda y Crédito Público. (2009). Conclusión de la cobertura sobre los ingresos petroleros del gobierno federal para 2009. Obtenido el 10 de Enero de 2010 en [http://www.indetec.gob.mx/News/files/220Comunicado202007-2009.20\(Coberturas\).pdf](http://www.indetec.gob.mx/News/files/220Comunicado202007-2009.20(Coberturas).pdf)
- [33] Pemex. (2009). Comercio Internacional. Obtenido el 17 de Enero de 2010 en <http://www.ri.pemex.com/files/content.COMERCIO20INTERNACIONAL.pdf>