UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ACATLÁN

"SISTEMA DINÁMICO DE COBERTURA DE UN PORTAFOLIO DE OPCIONES EN EL MERCADO MEXICANO"

T E S I N A

PARA OBTENER EL TÍTULO DE

A C T U A R I O

P R E S E N T A

MARIANA BELTRÁN SILVERIO

ASESOR: MTRO. IVÁN MEJÍA GUEVARA

2005

Agradecimientos

A **Luis y Glorinda**, por su paciencia, sabiduría y que sin su ayuda no hubiera sido fácil llevar a cabo mis metas.

A **Augusto Leonel**, que fue el principal motor para concluir este trabajo.

A **Alejandro**, por su comprensión y ayuda.

A **Liliana**, por su apoyo incondicional.

A **Yola, Ximena, Ara y Oscar**, por ser mis apoyos en la universidad.

A mis **demás familiares**, por su ayuda, comprensión y apoyo.

Índice

Objetivo del Trabajo:

El objetivo de este trabajo es presentar un sistema dinámico de cobertura de un portafolio de opciones en el mercado mexicano ya que la volatilidad e incertidumbre están presentes a diario en los mercados financieros, lo que hace necesario que inversionistas, empresarios, administradores de fondos, tesoreros corporativos y personas físicas consideren distintas alternativas para controlar y administrar eficientemente los riesgos a los cuales se encuentran expuestos, así como para optimizar el rendimiento de sus portafolios.

Introducción

Un derivado es un instrumento financiero cuyo valor depende del valor de otro. En años recientes, los derivados se han convertido en piezas importantes del mundo financiero.

Su finalidad es distribuir el riesgo que resulta de movimientos inesperados en el precio del subyacente entre los participantes que quieren disminuirlo y aquellos que deseen asumirlo. En el primer caso, se encuentran los individuos o empresas que desean asegurar el día de hoy el precio futuro del activo subyacente, así como su disponibilidad. En el segundo caso, se trata de individuos o empresas que buscan obtener la ganancia que resulta de los cambios abruptos en el precio del activo subyacente.

Surgen como resultado de la necesidad de cobertura que algunos inversionistas tienen, ante la volatilidad de precios de los bienes subyacentes. Los dos principales mercados donde se llevan a cabo operaciones con instrumentos financieros derivados son: Bolsas Sobre el Mostrador (Over The Counter)

Los derivados intercambiados en Bolsa cuentan con características predeterminadas, las cuales no pueden ser modificadas, respecto a su fecha de vencimiento, monto del subyacente amparado en el contrato, condiciones de entrega y precio.

El inicio de operaciones del Mercado Mexicano de Derivados constituye uno de los avances más significativos en el proceso de desarrollo e internacionalización del Sistema Financiero Mexicano.

La importancia de que países como México cuenten con productos derivados, cotizados en una bolsa, ha sido destacada por organismos financieros internacionales como el Fondo Monetario Internacional (FMI)[1] y la Corporación Financiera Internacional (CFI)[2], quienes han recomendado el establecimiento de mercados de productos derivados listados para promover esquemas de estabilidad macroeconómica y facilitar el control de riesgos en intermediarios financieros y entidades económicas.

El objetivo de este trabajo es presentar un sistema dinámico de cobertura de un portafolio de opciones en el mercado mexicano ya que la volatilidad e incertidumbre están presentes a diario en los mercados financieros, lo que hace necesario que inversionistas, empresarios, administradores de fondos, tesoreros corporativos y personas físicas consideren distintas alternativas para controlar y administrar eficientemente los riesgos a los cuales se encuentran expuestos, así como para optimizar el rendimiento de sus portafolios.

El capítulo 1 trata la utilidad y los perfiles de la Administración de Riesgos, así como los diferentes tipos de riesgo. En el capítulo 2 se describen los diferentes tipos de opciones. En el capítulo 3 se aborda el tema de "Las Griegas", donde cada una de ellas mide los diferentes riesgos a los que está expuesto un portafolio de opciones. Por último, se muestran las conclusiones y resultados de un portafolio de cobertura.

[1] International Monetary Fund (IMF).
[2] International Finance Corporation (IFC).

Capítulo 1. Administración de Riesgos

1.1 Antecedentes

La medición efectiva y cuantitativa del riesgo está dada por la probabilidad asociada a una pérdida potencial. Los seres humanos deben reconocer y responder a las probabilidades que confrontan en cada decisión. La esencia de la administración de riesgos consiste en medir esas probabilidades en contextos de incertidumbre.

Quizás los primeros estudios serios de nociones de probabilidad fueron desarrollados en el siglo XVI en la época del Renacimiento. En esta etapa, la ciencia y la tecnología avanzaron a un ritmo mucho mayor que en los siglos pertenecientes a la Edad Media.

En 1952, Harry Markowitz, premio Nobel de economía, desarrolló la teoría de portafolios y el concepto de que en la medida en que se añaden activos a una cartera de inversión, el riesgo disminuye como consecuencia de la diversificación.

También propuso el concepto de covarianza y correlación, es decir, en la medida en que se tienen activos negativamente correlacionados entre sí, el riesgo de mercado de una cartera de activos disminuye.

En el período comprendido de 1970 al 2000, la proliferación de nuevos instrumentos financieros ha sido notable, así como el incremento en la volatilidad de las variables que afectan el precio de esos instrumentos, tales como tipos de cambio, tasas de interés, etc. En particular, destaca el desarrollo de productos derivados (futuros, opciones y swaps) en este período. El desarrollo más importante probablemente se dio en 1973 con la contribución que hicieron Fisher Black y Myron Scholes al proponer la fórmula para valuar el precio de las opciones financieras.

En 1994, el banco estadounidense JP Morgan propuso en su documento técnico denominado Riskmetrics, el concepto de "valor en riesgo" como modelo para medir cuantitativamente los riesgos de mercado en instrumentos financieros o portafolios con varios tipos de instrumentos. El valor en riesgo (VaR) es un modelo estadístico, basado en la teoría de probabilidad.

Como complemento del enfoque organizacional en las instituciones para realizar una efectiva administración de riesgos, vale la pena señalar que los avances en la tecnología han facilitado el proceso de identificación, evaluación y control de riesgos. El bajo costo de la computadora ha permitido procesar considerables volúmenes de información en un tiempo muy reducido.

1.2 ¿Qué es la Administración de Riesgos?

La Administración de Riesgos es el proceso mediante el cual se identifica, se mide y se controla la exposición al riesgo.

La causa aislada más importante que ha generado la necesidad de administrar riesgos, es la creciente volatilidad de las variables financieras, donde las empresas se han vuelto más sensibles a ellas. Asimismo, proporciona una protección parcial contra posibles implicaciones generadas por esa incertidumbre.

Los "Derivados" brindan un mecanismo por medio del cual las instituciones pueden cubrirse eficientemente contra los riesgo financieros.

La cobertura de los riesgos financieros es similar a la adquisición de un seguro; proporciona protección contra los efectos adversos de las variables sobre las cuales no tienen control ni los negocios ni los países.

1.3 Definición de los diferentes tipos de riesgo

Los riesgos financieros se clasifican principalmente en:

1.3.1 Riesgo de Mercado

El riesgo mercado es la pérdida potencial por cambios en los factores de riesgos que inciden sobre la valuación o sobre los resultados esperados de las operaciones activas y pasivas o causantes de pasivo contingente, tales como tasas de interés, tipo de cambio, índices de precios, entre otros.

Se deriva de los cambios en los precios de los activos y pasivos financieros y se mide por medio de los cambios en el valor de las posiciones o el valor del portafolio.

Existen diferentes tipos de riesgos de mercado en función de los factores específicos que dan lugar a la aparición de este tipo de riesgo para cada producto:

- Riesgo de tasa de interés: Es el riesgo de pérdida del valor del portafolio ante variaciones en las tasas de interés del mercado. Se puede clasificar en función de las causas que lo originan.

- Riesgo de precio: Es el riesgo de variaciones en el valor de mercado de determinados activos como consecuencia de modificaciones en sus precios, (distinto de las tasas de interés o del tipo de cambio, como sería el precio de acciones). Se aplica básicamente a los títulos de renta variable y a las materias primas.

- Riesgo de tipo de cambio: Es el riesgo asociado a la variación en el tipo de cambio asumido al negociar divisas o al mantener posición en monedas diferentes del peso mexicano

1.3.2 Riesgo de Crédito

El riesgo de crédito se define como la pérdida potencial debida al incumplimiento de pago ocasionado por cambios en la capacidad o intención de la contraparte de cumplir sus obligaciones contractuales. Esta pérdida puede significar el incumplimiento que se conoce como default o "no pago".

Se presenta cuando las contrapartes están poco dispuestas o imposibilitadas para cumplir sus obligaciones contractuales. Su efecto se mide por el costo de la reposición de flujos de efectivo, si la otra parte incumple.

La administración de riesgos de crédito tiene, tanto aspectos cualitativos como cuantitativos; la determinación de la credibilidad de una contraparte es la composición cualitativa, así como los avances recientes han conducido a la valuación cuantitativa del riesgo de crédito.

Por su naturaleza, el Riesgo de Crédito se divide en:

- Riesgo de Emisor y Contraparte. Riesgo de Crédito derivado del "no pago" de las obligaciones por parte de emisoras en los mercados financieros. Por riesgo emisor se entenderá el resultante de la compra en directo de papeles emitidos por instituciones financieras, corporativos y operaciones de "Call Money"

- Por riesgo contraparte se entenderá el resultante de las operaciones en reporto con instrumentos financieros.

- Riesgo de Crédito Puro. Derivado de la pérdida potencial por el incumplimiento en el pago de los créditos otorgados a empresas e individuos particulares. La pérdida esperada se refiere al primer elemento del riesgo de crédito, éstas dependen del deterioro que presenta la cartera en la fecha de análisis y se determinan de acuerdo a la calidad de cada uno de los acreditados por medio de su calificación. La pérdida no esperada representa el segundo elemento del riesgo de crédito, ésta surge del posible deterioro de las carteras en el tiempo por cambios en la calidad crediticia. Son pérdidas inciertas que no pueden estimarse a priori dado que dependen de la evolución de la cartera hacia el siguiente período. El riesgo de crédito derivado de la pérdida potencial de los créditos al consumo otorgados a individuos particulares se mide a través del uso de técnicas actuariales. El modelo propuesto es el Creditrisk+ desarrollado por Credit Swiss que se fundamenta en principios actuariales que se utilizan para estimar las tasas de mortalidad.

1.3.3 Riesgo de Liquidez

Es la pérdida potencial por la imposibilidad o dificultad de renovar pasivos o de contratar otros condiciones normales para la institución, por la venta anticipada o forzosa de activos a descuentos inusuales para hacer frente a sus obligaciones, o bien, por el hecho de que una posición no pueda ser oportunamente enajenada, adquirida o cubierta mediante el establecimiento de una posición contraría equivalente.

El riesgo de liquidez se determina por el nivel de bursatilidad de cada uno de los instrumentos que conforman la posición, obteniéndose una medida de valor en riesgo ajustado por liquidez, dicha metodología consiste en adicionar al valor en riesgo de mercado el costo que representaría no poder vender el instrumento por falta de liquidez en el mercado.

Por lo que el riesgo de liquidez se asume de dos formas. El primer tipo se refiere al caso en que se presenta una transacción que no puede ser conducida a los precios prevalecientes en el mercado debido a una baja operatividad en el mismo. El segundo tipo de riesgo se refiere a la incapacidad de cumplir con las obligaciones de flujo de efectivo, lo cual puede forzar a una liquidación anticipada, transformando las pérdidas en papel en pérdidas reales.

1.3.4 Riesgo Operativo

El riesgo operativo está vinculado a los errores producidos en los procedimientos de la institución, o a la falta de estos procedimientos adecuados. Se refiere a las pérdidas potenciales resultantes de sistemas inadecuados, fallas administrativas, controles defectuosos, fraude o error humano. La forma de disminuir estos riesgos está relacionada con adecuados procedimientos de control interno y auditorías, así como seguros para las distintas operativas.

El riesgo operativo afecta a todas las actividades de la institución con distinta intensidad dependiendo de factores como la estructura, la organización, la segregación de funciones, el grado de automatización, la diversificación de sistemas, el control interno, etc.

Las como posibles fuentes de pérdidas sustanciales son:

- Fraude interno: Errores intencionados en la información sobre posiciones, robos por parte de empleados, utilización de información confidencial en beneficio de la cuenta del empleado, etc.

- Fraude externo: atraco, falsificación, circulación de cheques en descubierto, daños por intrusión en los sistemas informáticos, etc.

- Relaciones laborales y seguridad en el puesto de trabajo: solicitud de indemnizaciones por parte de los empleados, infracción de las normas laborales de seguridad e higiene, organización de actividades laborales, acusaciones de discriminación, responsabilidades generales, etc.

- Prácticas con los clientes, productos y negocios: abusos de confianza, abuso de información confidencial sobre el cliente, negociación fraudulenta en las cuentas del banco, blanqueo de capitales, venta de productos no autorizados, etc.

- Daños a activos materiales: terrorismo, vandalismo, terremotos, incendios, inundaciones, etc.

- Alteraciones en la actividad y fallos en los sistemas: fallos del hardware o del software, problemas en las telecomunicaciones, interrupción en la prestación de servicios públicos, etc.

- Ejecución, entrega y procesamiento: errores en la introducción de datos, fallos en la administración del colateral, documentación jurídica incompleta, concesión de acceso no autorizado a las cuentas de los clientes, prácticas inadecuadas de contrapartes distintas de clientes, litigios con distribuidores, etc.

Por lo que la mejor protección contra el riesgo operacional consiste en la redundancia de sistemas, la definición clara de responsabilidades con fuertes controles internos y la planeación regular de contingencias.

1.3.5 Riesgo Legal

El riesgo legal se define como la posible pérdida debida al incumplimiento de las normas jurídicas y administrativas aplicables, a la emisión de resoluciones administrativas o judiciales desfavorables y a la aplicación de sanciones con relación a las operaciones que la institución lleva a cabo.

Se presenta cuando una contraparte no tiene la autoridad legal para realizar una transacción.

Se puede clasificar en función de las causas que lo originan en:

- Riesgo de documentación: Es el riesgo de que documentos incorrectos o extraviados, o la inexistencia de los mismos, incida negativamente en las actividades de negocio.

- Riesgo de legislación: Riesgo de que una operación no pueda ser ejecutada por prohibición, limitación o incertidumbre acerca de la legislación del país de residencia de alguna de las partes, o por errores en la interpretación de la misma.

- Riesgo de capacidad: Se refiere a dos conceptos: riesgo de que la contraparte no tenga capacidad legal para operar en un sector, producto o moneda determinada y el riesgo de que las personas que actúan en nombre de la contraparte no cuenten con poder legal suficiente para comprometerla.

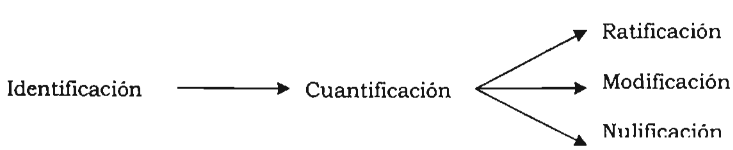
1.4 La Administración Global de Riesgos

Debido a que operan con independencia de las funciones corporativas del negocio, los administradores de riesgos pueden establecer y hacer cumplir límites de posición para los operadores y para las unidades de negocio, las cuales ahora pueden ser evaluadas desde el punto de vista de su desempeño ajustado al riesgo.

Las políticas corporativas de administración de riesgos proceden en tres pasos:

1. La alta dirección define la función objetivo. El riesgo se define, desde el punto de vista de los objetivos no cumplidos en el plan de negocios de la empresa.
2. La empresa realiza una estimación de cuánto podría perderse en un periodo debido al riesgo del precio financiero.
3. Implantar la estrategia de cobertura.

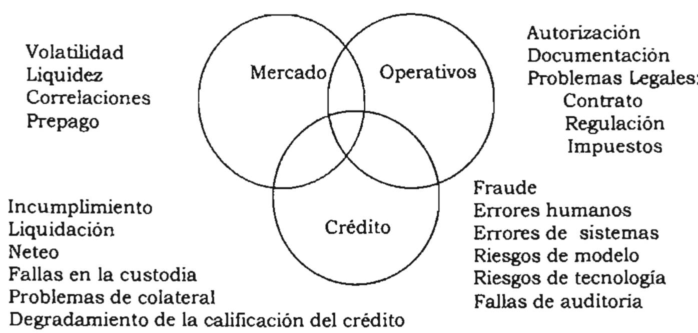
El proceso de administración de riesgos considera, en primer lugar, la identificación de riesgos, en segundo lugar su cuantificación y control mediante el establecimiento de límites de tolerancia al riesgo y, finalmente, la modificación o nulificación de dichos riesgos a través de disminuir la exposición a éstos, o de instrumentar una cobertura. En el Cuadro 1 se muestra esquemáticamente este proceso[1]:



Cuadro 1

Para lograr una efectiva identificación de riesgo, es necesario considerar las diferentes naturalezas de los riesgos que se presentan en una sola transacción.

Los de mercado están asociados a la volatilidad, estructura de correlaciones y liquidez, pero éstos no pueden estar separados de otros, tales como riesgos operativos (riesgos de modelo, de fallas humanas o de sistemas) o riesgos de crédito (incumplimiento de contrapartes, riesgos en la custodia de valores, en la liquidación, en el degradamiento de la calificación crediticia de algún instrumento o problemas con el colateral o garantías). Por ejemplo, el riesgo de comprar una opción en el mercado de derivados (fuera de bolsa OTC), implica un riesgo de mercado pero también uno de crédito y riesgos operacionales al mismo tiempo; ya que se encuentra fuera de la garantía que ofrece el OTC. En el Cuadro 2 se establece la interconexión de los diferentes tipos de riesgos, en el proceso de identificación de los mismos[2]:

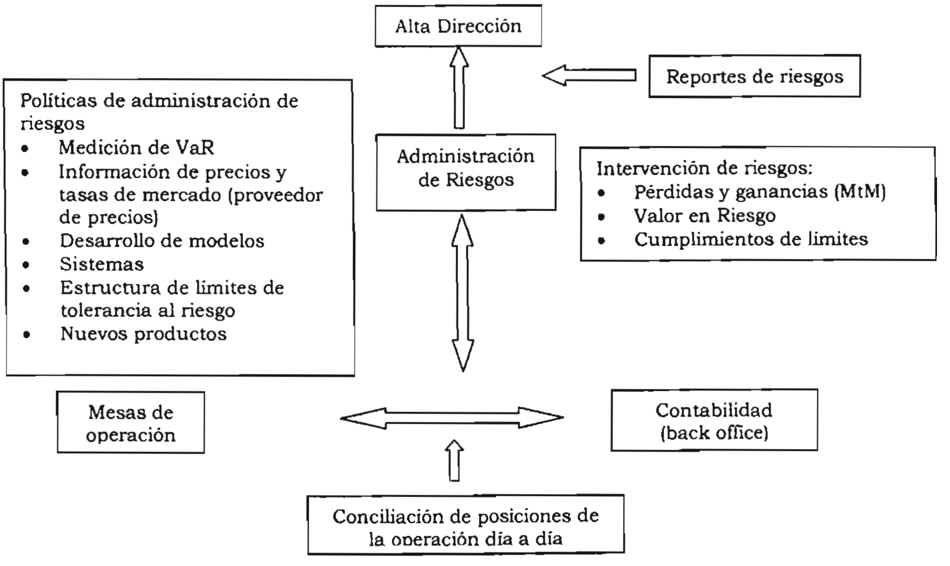


Cuadro 2

El siguiente paso en el proceso de administración de riesgos es el que se refiere a la cuantificación. Este aspecto ha sido suficientemente explorado en materia de riesgos de mercado. Existen una serie de conceptos que cuantifican el riesgo de mercado, entre ellos podemos citar: valor en riesgo, duración, convexidad, peor escenario, análisis de sensibilidad, beta, delta, etc. Muchas medidas de riesgo pueden ser utilizadas.

En el caso de riesgos de crédito, la cuantificación se realiza a partir del cálculo de la probabilidad de impago o de incumplimiento. JP Morgan ha publicado un documento técnico denominado "Creditmetrics" en el que pretende establecer un paradigma similar al del valor en riesgo pero instrumentado en riesgos de crédito. Es decir, un estimado de pérdidas esperadas por riesgo crediticio.

En el Cuadro 3 se muestra un diagrama en el que se muestra la función primordial de la administración de riesgos: por una parte, la definición de políticas de administración de riesgos: la medición del riesgo (VaR) y el desarrollo de modelos y estructuras de límites, y por otra parte, la generación de reportes a la alta dirección que permitan observar el cumplimiento de límites, las pérdidas y ganancias realizadas y no realizadas. Asimismo, es función de administración y control de riesgos, la conciliación de posiciones entre las mesas de operación y las áreas contables. A esta última función se le conoce como, "Middle office"[3].



Alta Dirección
Reportes de riesgos
Políticas de administración de riesgos
Medición de VaR
Información de precios y tasas de mercado (proveedor de precios)
Desarrollo de modelos
Sistemas
Estructura de límites de tolerancia al riesgo
Nuevos productos
Administración de Riesgos
Intervención de riesgos:
Pérdidas y ganancias (MtM)
Valor en Riesgo
Cumplimientos de limites
Mesas de operación
Contabilidad (back office)
Conciliación de posiciones de la operación día a día

Cuadro 3

Capítulo 2. Derivados

2.1. Introducción

Se denominan productos “Derivados”, a un conjunto de instrumentos financieros cuya principal característica es que su precio **deriva***(varía dependiendo)* del precio de otro bien que se le llama usualmente subyacente o de referencia.

De acuerdo al subyacente, los productos derivados se dividen en:
1) Financieros.- Tasas de interés, inflación, valores cotizados en bolsa, etc.
2) No financieros.- Oro, plata, maíz, petróleo, etc., generalmente bienes básicos llamados también “commodities”.

El objetivo primordial de los derivados financieros, es que sirven para cubrir-eliminar riesgos financieros y disminuir la incertidumbre o inseguridad económica que prevalece en épocas en donde la economía de un país no es estable. La función principal de los derivados financieros es servir de cobertura ante fluctuaciones de precio y se aplican en:

- Portafolios accionarios. Para inversionistas que requieran proteger sus portafolios de acciones contra los efectos de la volatilidad.
- Obligaciones contraídas a tasa variable. Deudores que buscan protegerse de variaciones adversas en las tasas de interés.
- Pagos o cobranzas en moneda extranjera a cierto plazo. Para importadores que requieran dar cobertura a sus compromisos de pago en divisas.

Además de lo anterior, existen participantes que quieren disminuir este riesgo 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 activo subyacente.

Los productos derivados internacionales son: las opciones, los futuros, los forwards, los swaps y las combinaciones entre éstos, que se utilizan para fines de cobertura o especulación en los mercados.

Su crecimiento se debe principalmente a la fluctuación de los precios de materias primas, tasas de interés, tipos de cambio y títulos accionarios, ya que a partir de la década de los 80's la volatilidad de estas variables ha obligado a los agentes económicos a reducir sus riesgos mediante la participación en los mercados de derivados.

Por otro lado, la existencia de un mercado de derivados se debe a:

1. Cobertura de riesgos (*Hedging*). Esto se refiere a la habilidad de minimizar los riesgos inherentes a las fluctuaciones en el precio de títulos de deuda (tasa de interés), tipos de cambio o precios de materias primas (commodities) , a través de productos derivados.
2. Determinación de precios. A través de este tipo de mercado, los precios se determinan eficientemente y llegan a un equilibrio de acuerdo a la oferta y la demanda.
3. Diseminación de precios. Por medio las telecomunicaciones y sistemas de información se pueden conocer en tiempo real los precios de los participantes en el mercado.
4. Niveles de apalancamiento. Este tipo de productos resultan más baratos que otros instrumentos financieros existentes debido al apalancamiento que tiene implícito, con un monto mucho menor al valor nocional, es posible comprar estos instrumentos.

Por lo que a continuación se definen los diferentes productos derivados.

2.2. Contrato Forward

Es particularmente un simple derivado. Es comprar o vender de un portafolio en un tiempo futuro cierto a un precio determinado. Un Forward es operado en un mercado OTC (over the counter) usualmente entre instituciones financieras.

Una de las partes de un Contrato Forward asume una posición larga y compra en una específica fecha futura para un cierto precio específico. La otra de las partes, asume una posición corta y vende en la misma fecha por el mismo precio. El precio de un Forward es conocido como *precio deliberado.* El precio deliberado es 0 para ambas partes. Esto significa que el costo no tiene nada que ver con una posición larga o corta. La posición corta es una posición asumida cuando el operador vende porciones que ellos no poseen. Una posición larga involucra la compra de un activo.

2.2.1. Precio de un Forward

El precio de un Forward es el precio deliberado. Es importante distinguir entre el precio deliberado y el precio forward. El precio del Forward dependen de su duración.

La diferencia entre un futuro y un forward consiste en que el primero es un contrato estandarizado que se cotiza en una bolsa organizada y en el cual se especifican la calidad, cantidad y la entrega del producto, así como la vigencia del acuerdo (el precio del contrato se determina en función de las fuerzas del mercado), mientras que en el segundo es un pacto bilateral fuera de la bolsa y, por lo tanto, las características de la operación se determinan únicamente entre ambas partes (comprador y vendedor).

2.3. Contrato Futuro

Como los Forwards, el contrato Futuro es comprar o vender de un cierto portafolio en un tiempo futuro cierto por un precio, pero la diferencia es que el Futuro es operado sobre un intercambio. Esto es, una de las partes del contrato no necesariamente conoce a la otra, el intercambio provee un mecanismo que da a ambas partes garantía de que el contrato es honorable.

2.3.1. Precio de un Futuro

La fórmula para el cálculo del Precio de un Futuro está dado por:

$$F = S\left(1 + r\frac{t}{360}\right)$$

donde:

S = El valor del subyacente.

r = Tasa de interés ajustada al plazo del contrato.

Sin embargo, cuando se trata de un futuro de divisas o monedas la formula es:

$$F = S\left[\frac{1 + r_d \frac{t}{360}}{1 + r_e \frac{t}{360}}\right] \text{ ó } F = Se^{(r_d - r_e)\frac{t}{360}}$$

donde:

S = El valor del subyacente.

r_d = Tasa de interés domestica.

r_e = Tasa de interés interna.

2.4. Opciones

Los contratos de opciones se diseñaron para que el comprador de la opción se beneficie de los movimientos del mercado en una dirección, pero no sufra perdidas como consecuencia de movimientos del mercado en la otra dirección. Una opción le da al tenedor el derecho pero no la obligación de ejercer el contrato (comprar o vender el bien subyacente).

Existen dos tipos de opciones de compra (*call option*) y de venta (*put option*):

- Un opción de compra es:
  - El derecho de comprar en una fecha futura.
  - Una cantidad especifica de un bien denominado subyacente.
  - A un precio previamente determinado denominado precio de ejercicio.
  - Durante la vigencia del contrato o en la fecha de vencimiento.
  - La opción de compra garantiza al tenedor el derecho de la opción, pero no le impone una obligación.

- Un opción de venta es:
  - El derecho de vender en una fecha futura.
  - Una cantidad especifica de un bien denominado subyacente.
  - A un precio previamente determinado denominado precio de ejercicio.
  - Durante la vigencia del contrato o en la fecha de vencimiento.
  - La opción de venta garantiza al tenedor el derecho de la opción, pero no le impone una obligación.

El precio en el contrato es conocido como *precio del ejercicio o precio* "strike", la fecha es conocida como *fecha de expiración o maduración.*

Existe una diferenciación entre opciones: opciones *call* europeas y americanas debido a que la opción europea puede ser ejercida al final del periodo o en la fecha de expiración y la opción americana puede ser ejercida en cualquier momento.

Los modelos de valuación de opciones constituyen uno de los aspectos más importantes en la teoría financiera. Existen diversos modelos para la valuación de opciones; el modelo de Black & Scholes asume que el comportamiento de los precios sigue una distribución lognormal y muestra como formar una posición de cobertura con un portafolios que contenga el subyacente y una posición corta de opciones. El precio de la opción es la ecuación diferencial parcial de segundo orden. Este modelo es solo aplicable a opciones europeas.

Los supuestos del modelo de Black-Scholes son los siguientes:

1. la tasa libre de riesgos de corto plazo es conocida y es constante durante la vida de la opción.
2. el precio del valor subyacente se comporta de acuerdo con una caminata aleatoria en tiempo continuo y la distribución de posibles valores de dicho precio es lognormal. La varianza de rendimientos del valor subyacente es constante durante el periodo de la opción.
3. no se considera el pago de dividendos si el valor del subyacente es una opción o el pago de intereses si dicho subyacente es un bono.
4. no hay costos de transacción en la compra o venta del subyacente o la opción.

2.4.1. Precio de una *call* europea

Es una opción para comprar un activo a un cierto precio en una cierta fecha. La fórmula para calcularla es la siguiente:

$$c = S_0 N(d_1) - e^{-rt}(XN(d_2))$$

S_0 = precio de contado en el tiempo 0

T = tiempo de maduración de la opción

r = tasa compuesta continua libre de riesgo

σ = volatilidad precio del ejercicio

X = precio de ejercicio de la opción

N(x) es la distribución de probabilidad acumulada para una variable normalmente distribuida con media 0 y desviación estándar 1.

2.4.2 Precio de una *put* europea

Es una opción para vender un activo a un cierto precio en una cierta fecha. La fórmula para calcularla es la siguiente:

$$p = e^{-rt}\left(XN(-d_2) - S_o N(-d_1)\right)$$

donde

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S_0}{X}\right) + \left(\frac{r+\sigma^2}{2}\right)T}{\sigma \cdot \sqrt{T}} \quad \text{y} \quad d_2 = \frac{\ln\left(\frac{S_0}{X}\right) + \left(\frac{r-\sigma^2}{2}\right)T}{\sigma \cdot \sqrt{T}}$$

S_0 = precio de contado en el tiempo 0

T = tiempo de maduración de la opción

r = tasa compuesta continua libre de riesgo
σ = volatilidad precio del ejercicio
X = precio de ejercicio de la opción

N(x) es la distribución de probabilidad acumulada para una variable normalmente distribuida con media 0 y desviación estándar 1.

Ejemplo:
Considerar la situación donde el precio de mercado es 42, con fecha de expiración de 6 meses, el precio de ejercicio es 40, la tasa libre de riesgo es de 10% anual y la volatilidad es 20% anual. Calcular el precio call y put.

Solución:
$S_0 = 42$
$X = 40$
$r = 0.1$
$\sigma = 0.2$
$T = 0.5$

$$d_1 = \frac{\ln(42/40) + (0.1 + 0.2^2/2)0.5}{0.2\sqrt{0.5}} = 0.7693$$

$$d_2 = \frac{\ln(42/40) + (0.1 - 0.2^2/2)0.5}{0.2\sqrt{0.5}} = 0.6278$$

N(0.7693) = 0.7791 N(-0.7693) = 0.2209
N(0.6278) = 0.7349 N(-0.6278) = 0.2651

$$c = e^{-0.05}(42N(0.7693) - 40N(0.6278)) = 3.1639$$

$$p = e^{-0.05}(40N(-0.6278) - 42N(-0.7693)) = 1.2615$$

Un modelo alternativo es el de Cox y Rubinstein, también denominado modelo binomial, que parte del concepto de replicación. Es decir, que una opción de compra puede ser reproducida sintéticamente mediante la posición larga en el subyacente adquirido con la emisión de un bono o instrumento de renta fija. Este modelo es aplicable a las opciones americanas.

2.4.3. Precio de una *call* americana[4]

$$c=\left(S_0-D_1e^{-rt_1}\right)N(b_1)+\left(S_0-D_1e^{-rt_1}\right)M\left(a_1,-b_1;-\sqrt{\frac{t_1}{T}}\right)-Xe^{-rT}M\left(a_2,-b_2;-\sqrt{\frac{t_1}{T}}\right)-\left(X-D_1\right)e^{-rt_1}N(b_2)$$

donde

$$a_1=\frac{\frac{\ln\left[S_0-D_1e^{-rt_1}\right]}{X}+\frac{r+\sigma^2}{2}T}{\sigma\cdot\sqrt{T}}$$

$$a_2=a_1-\sigma\cdot\sqrt{T}$$

$$b_1=\frac{\frac{\ln\left[S_0-D_1e^{-rt_1}\right]}{S*}+\frac{r+\sigma^2}{2}t_1}{\sigma\cdot\sqrt{t_1}}$$

$$b_2=b_1-\sigma\cdot\sqrt{t_1}$$

donde

σ	Es la volatilidad del precio "stock" del valor presente del valor del dividendo
M(a,b;ρ)	Es la probabilidad acumulativa de una distribución estandarizada normal bivariada, donde al menos el primer valor es *a*, el segundo valor es *b*, y el coeficiente de correlación es ρ
S*	Es la solución de $c(S^*)=S^*+D_1-X$

	Donde c(S*) es la solución de $S - N(d_1) - Xe^{-r(T-t_1)}N(d_2)$
D_1	Es el dividendo final
t_1	Fecha final del exdividendo

2.4.4. Precio de una *put* americana[5]

$$p = Xe^{r(r-t)}e^{\sigma(W_T^{*}-W_t^{*})}e^{-\sigma^2(r-t)\cdot 2}$$

donde

X	precio ejercicio
r	tasa de interés
t	fecha en donde se desea ejercer
T	fecha de vencimiento de la opción
σ	es la volatilidad del precio "stock"
W*	es un movimiento browniano estándar en un espacio de probabilidad

(Ω,F,P)

2.5. Posiciones de Opciones

Existes dos partes en una opción. Una de las partes es el operador que toma la posición larga (o sea, compra la opción). La otra parte, es quien toma la posición corta (o sea, vende la opción o suscribe la opción)

2.5.1.Pagos

Existen 4 posiciones de opciones básicas:

1. Posición larga en una *call* sucede cuando la posición supone la adquisición de una *call*

2. Posición larga en una *put* sucede cuando la posición supone la adquisición de una *put*
3. Posición corta en una *call* sucede cuando la posición supone la venta de una *call*
4. Posición corta en una *put* sucede cuando la posición supone la venta de una *put.*

El costo inicial de la opción no está incluido en el cálculo. Si X es el precio del ejercicio (precio "strike") y S_T es el precio final del activo subyacente, el pago de una posición larga de una *call* es:

$$\max(S_T - X, 0)$$

Esto refleja que si la opción es ejercida si $S_T > X$ y no es ejercida si $S_T < X$. El pago de una posición corta de una *call* es:

$$-\max(S_T - X, 0) = \min(X - S_T, 0)$$

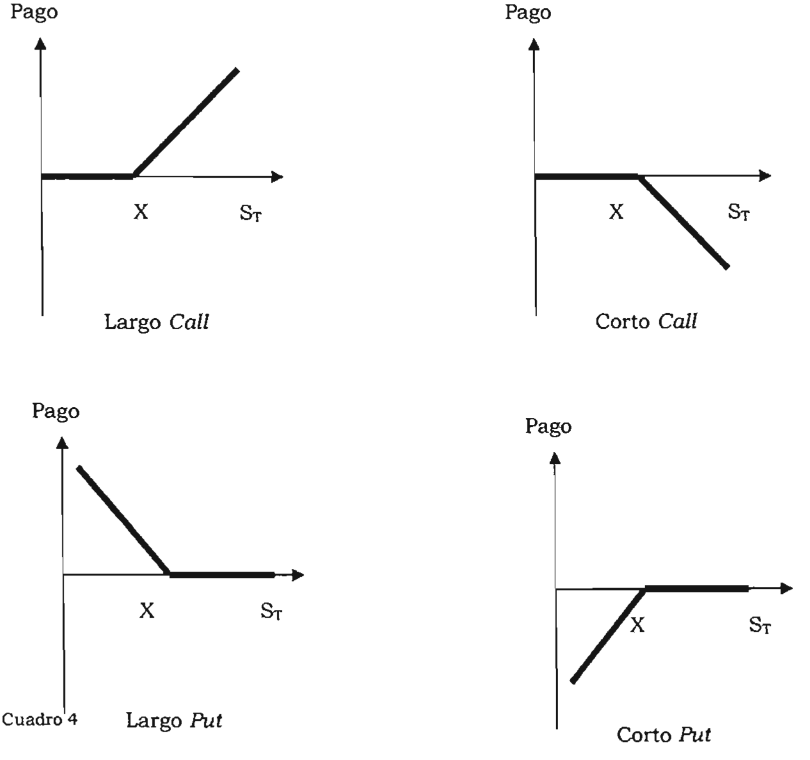
El ingreso del poseedor de una posición larga en una *put* es:

$$\max(X - S_T\ 0)$$

y el ingreso de una posición corta en una *put* es:

$$-\max(X - S_T, 0) = \min(S_T - X, 0)$$

El Cuadro 4 ilustra gráficamente estos pagos.



Cuadro 4

donde,

X = precio del ejercicio (precio "strike")

S_T = precio final

Capítulo 3. Las Griegas

3.1 Introduccción

Una institución financiera que vende una opción u otro derivado a un cliente en el OTC, tiene el problema de administrar ese riesgo. Si la opción es ejercida al mismo tiempo que una transacción en un mercado, la institución financiera puede neutralizar esa exposición comprando en el mercado la misma opción que ha sido vendida. Pero, cuando la opción ha sido adaptada a las necesidades del cliente y no corresponde a un producto estandarizado, esto significa que se tiene que asumir mucho más riesgo.

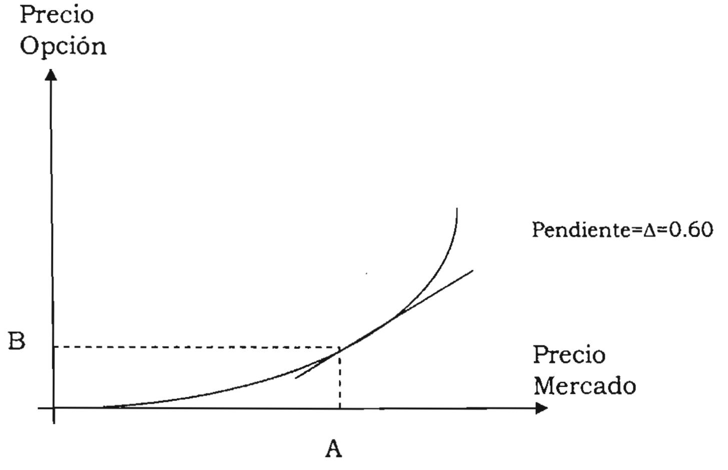
En este capítulo se darán algunas alternativas a este problema. Son comúnmente llamadas "Las Griegas", cada letra griega mide una diferente dimensión del riesgo en una opción.

3.2. Delta

La Delta mide cuanto cambia el precio de la opción cuando hay un cambio en el precio del portafolio. Si el precio del portafolio se mueve en un punto base, el precio del contrato se moverá delta veces.

Supongamos que la delta de un portafolio es 0.6. Esto significa que cuando el precio de mercado cambia en un pequeño monto, el precio de la opción cambia 60% de ese monto (ver Gráfica 1). Expresado matemáticamente, Delta es la derivada parcial del precio de una *call* con respecto al precio del subyacente:

$$\Delta = \frac{\partial c}{\partial S}$$



Gráfica 1

3.2.1. Delta de un Contrato Forward

La Delta de un contrato forward que no paga dividendos, siempre es 1, ya que cuando el precio de las acciones varía en δS, con todo lo demás permaneciendo constante, el precio de un contrato a plazo sobre las acciones también varía en δS [6].

3.2.2. Delta de una *call* europea

Para una *call* europea que no paga dividendos es:

$$\Delta = N(d_1)$$

donde

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S_0}{X}\right) + \left(\frac{r + \sigma^2}{2}\right)T}{\sigma \bar{T}}$$

S_0 = precio del ejercicio en el tiempo 0

T = tiempo de maduración de la opción

r = tasa compuesta continua libre de riesgo

σ = volatilidad precio del ejercicio

X = precio de mercado de la *call* (precio "strike")

N(x) es la distribución de probabilidad acumulada para una variable normalmente distribuida con media 0 y desviación estándar 1.

3.2.3. Delta de una *put* europea

Para una *put* europea que no paga dividendos es:

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

Esto es negativo, lo cual significa que una posición larga en una opción *put* puede ser cubierta con una posición larga en el mercado. Y una posición corta en una opción *put* puede ser cubierta con una posición corta del mercado.

donde

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S_0}{X}\right) + \left(\frac{r + \sigma^2}{2}\right)T}{\sigma . \bar{T}}$$

S_0 = precio de contado en el tiempo 0

T = tiempo de maduración de la opción

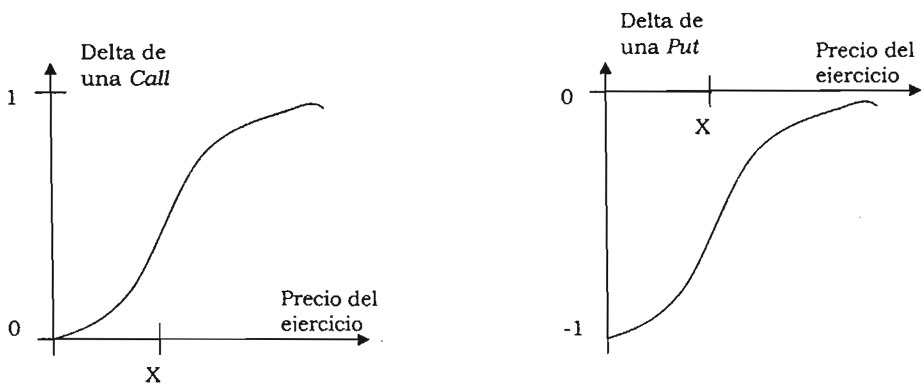
r = tasa compuesta continua libre de riesgo

σ = volatilidad precio del ejercicio

X = precio de ejercicio de la opción

N(x) es la distribución de probabilidad acumulada para una variable normalmente distribuida con media 0 y desviación estándar 1.

La Gráfica 2 muestra la variación de delta con respecto del precio del ejercicio del una opción *call* y una opción *put* que no pagan dividendos:



Gráfica 2

3.2.4. Delta de un portafolio

La Delta de un portafolio de opciones con precio S es:

$$\Delta = \frac{\partial \Pi}{\partial S}$$

donde Π es el valor del portafolio.

La Delta de un portafolio puede ser calculado de las opciones individuales en el portafolio. Si el portafolio consiste en un monto, w_i, de opción i (i=1,..,n), la Delta del portafolio es:

$$\Delta = \sum_{i=1}^{n} w_i \Delta_i$$

Δ_i = es la Delta de la i-ésima opción

Por ejemplo:

Supongamos que en el Banco X se tienen las siguientes posiciones en pesos:

- Una posición larga de 100,000 opciones call, con un precio strike de 0.55 y fecha de vencimiento en 3 meses. La delta para cada opción es 0.533
- Una posición corta de 200,000 opciones call, con un precio strike de 0.56 y fecha de vencimiento en 5 meses. La delta para cada opción es 0.468
- Una posición larga de 50,000 opciones put, con un precio strike de 0.56 y fecha de vencimiento en 2 meses. La delta para cada opción es -0.508

La delta total del portafolio es:

0.533(100,000)-0.468(200,000)-(-0.508)50,000 = -14,900

Esto significa que el portafolio puede ser delta neutral con una posición larga de 14,900 pesos.

3.3. Theta

La Theta de un portafolio de derivados, Θ, es el cambio del valor del portafolio con respecto al paso del tiempo cuando los demás parámetros son los mismos. También algunas veces llamado "time decay" *o decaimiento temporal* del subyacente.

3.3.1. Theta para una *call* europea que no paga dividendos

$$\Theta = -\frac{S_0 N'(d_1)\sigma}{2\sqrt{T}} - rXe^{-rT}N(d_2)$$

donde,

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S_0}{X}\right)+\left(\frac{r+\sigma^2}{2}\right)T}{\sigma\cdot\sqrt{T}} \text{ y } d_2 = \frac{\ln\left(\frac{S_0}{X}\right)+\left(\frac{r-\sigma^2}{2}\right)T}{\sigma\cdot\sqrt{T}} = d_1 - \sigma\sqrt{T}$$

$$N'(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}}e^{-x^2/2}$$

S_0 = precio de contado en el tiempo 0

T = tiempo de maduración de la opción

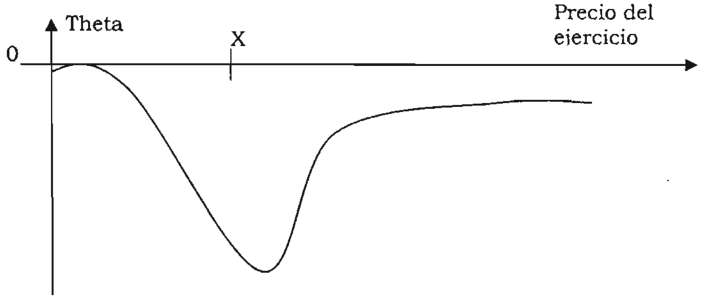
r = tasa compuesta continua libre de riesgo

σ = volatilidad precio del ejercicio

X = precio de ejercicio de la opción

N(x) es la distribución de probabilidad acumulada para una variable normalmente distribuida con media 0 y desviación estándar 1.

Theta es usualmente negativa para una opción. Esto es porque cuando el tiempo transcurre, la opción tiende a ser menos valuable. La variación de Θ con respecto al precio "strike" para una opción *call* se muestra en la Grafica 3.



Gráfica 3

Theta no es del mismo tipo del parámetro delta. Hay cierta incertidumbre acerca del precio futuro del ejercicio, pero no hay incertidumbre en el paso del tiempo.

Por ejemplo:
Considerar una opción put europea con 4 meses de duración, el precio del ejercicio es de 300, el precio de mercado 305 , la tasa libre de riesgo es de 8% anual y la volatilidad es del 25% anual. Calcular la theta de la opción,

Solución:

$S_0 = 305$

$X = 300$

$T = 1/3$

$r = 0.08$

$\sigma = 0.25$

$$\Theta = -\frac{305(0.38)0.25}{2\sqrt{0.25}} - 0.08(300)e^{-0.08(0.33)}(0.55) = -42.19$$

3.3.2. Theta para una *put* europea que no paga dividendos

$$\Theta = -\frac{S_0 N'(d_1)\sigma}{2\cdot\sqrt{T}} + rXe^{-rT}N(-d_2)$$

donde,

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S_0}{X}\right) + \left(\frac{r+\sigma^2}{2}\right)T}{\sigma\sqrt{T}} \text{ y } d_2 = \frac{\ln\left(\frac{S_0}{X}\right) + \left(\frac{r-\sigma^2}{2}\right)T}{\sigma\cdot\sqrt{T}} = d_1 - \sigma\cdot\sqrt{T}$$

S_0 = precio de contado en el tiempo 0

T = tiempo de maduración de la opción

r = tasa compuesta continua libre de riesgo

σ = volatilidad precio del ejercicio

X = precio de ejercicio de la opción

N(x) es la distribución de probabilidad acumulada para una variable normalmente distribuida con media 0 y desviación estándar 1.

3.4. Gamma

La Gamma, Γ, de un portafolio de derivados de un portafolio es el cambio del portafolio Delta con respecto al precio del portafolio. Es la segunda derivada parcial del valor del portafolio con respecto al precio:

$$\Gamma = \frac{\partial^2 \Pi}{\partial S^2}$$

Si la Gamma es pequeña, Delta cambia lentamente. Si la Gamma es grande en términos absolutos, Delta es altamente sensible al precio del portafolio.

3.4.1. Gamma de un *call* y *put* europea

La Gamma de un *call* y *put* europeo que no paga dividendos es:

$$\Gamma = \frac{N'(d_1)}{S_0 \sigma \sqrt{T}}$$

donde,

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S_0}{X}\right) + \left(\frac{r + \sigma^2}{2}\right)T}{\sigma \cdot \sqrt{T}}$$

S_0 = precio de contado en el tiempo 0

T = tiempo de maduración de la opción

r = tasa compuesta continua libre de riesgo

σ = volatilidad precio del ejercicio

X = precio de ejercicio de la opción

N(x) es la distribución de probabilidad acumulada para una variable normalmente distribuida con media 0 y desviación estándar 1.

Por ejemplo:

Considerar una opción put europea con 4 meses de duración, el precio del ejercicio es de 300, el precio de mercado 305, la tasa libre de riesgo es de

8% anual y la volatilidad es del 25% anual. Calcular la gamma de la opción,

Solución:

$S_0 = 305$

$X = 300$

$T = 1/3$

$r = 0.08$

$\sigma = 0.25$

$$\Gamma = \frac{0.38}{305(0.25)\sqrt{0.33}} = 0.01$$

3.5. Vega

La volatilidad en la práctica cambia a través del tiempo. Esto significa que el valor de la derivada cambia por los movimientos en el portafolio y con el paso del tiempo.

La Vega de un portafolio de derivados, V, es el cambio del valor del portafolio con respecto a la volatilidad del portafolio:

$$V = \frac{\partial \Pi}{\partial \sigma}$$

Si Vega es grande en términos absolutos, el valor del portafolio es muy sensible a pequeños cambios en la volatilidad. Si Vega es pequeño en términos absolutos, los cambios en la volatilidad tienen relativamente pequeño impacto sobre el valor del portafolio.

3.5.1 Vega de una *call* y *put* europea que no paga dividendos

$$V = S_0 \sqrt{T} N'(d_1)$$

donde,

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S_0}{X}\right) + \left(\frac{r+\sigma^2}{2}\right)T}{\sigma \sqrt{T}}$$

S_0 = precio de contado en el tiempo 0

T = tiempo de maduración de la opción

r = tasa compuesta continua libre de riesgo

σ = volatilidad precio del ejercicio

X = precio de ejercicio de la opción

N(x) es la distribución de probabilidad acumulada para una variable normalmente distribuida con media 0 y desviación estándar 1.

3.5.2 Vega de una *call* y *put* europea que paga dividendos continuos

$$V = S_0 \sqrt{T} N'(d_1) e^{-qT}$$

S_0 = precio de contado en el tiempo 0

T = tiempo de maduración de la opción

r = tasa compuesta continua libre de riesgo

σ = volatilidad precio del ejercicio

q = tasa compuesta continua libre de riesgo

X = precio de ejercicio de la opción

N(x) es la distribución de probabilidad acumulada para una variable normalmente distribuida con media 0 y desviación estándar 1.

Por ejemplo:
Considerar una opción put europea con 4 meses de duración, el precio del ejercicio es de 300, el precio de mercado 305 , la tasa libre de riesgo es de 8% anual y la volatilidad es del 25% anual. Calcular la vega de la opción,

Solución:
$S_0 = 305$
$X = 300$
$T = 1/3$
$r = 0.08$
$\sigma = 0.25$

$$V = 305 \cdot \overline{0.33}(0.38) = 67.5676$$

3.6 Rho

La Rho de un portafolio de derivados en el cambio del valor del portafolio con respecto de la tasa de interés:

$$Rho = \frac{\partial \Pi}{\partial r}$$

3.6.1 Rho de una *call* europea que no paga dividendos

$$Rho = XTe^{-rT} N(d_2)$$

3.5.1 Vega de una *call* y *put* europea que no paga dividendos

$$V = S_0 \sqrt{T} N'(d_1)$$

donde,

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S_0}{X}\right) + \left(\frac{r+\sigma^2}{2}\right)T}{\sigma \sqrt{T}}$$

S_0 = precio de contado en el tiempo 0

T = tiempo de maduración de la opción

r = tasa compuesta continua libre de riesgo

σ = volatilidad precio del ejercicio

X = precio de ejercicio de la opción

N(x) es la distribución de probabilidad acumulada para una variable normalmente distribuida con media 0 y desviación estándar 1.

3.5.2 Vega de una *call* y *put* europea que paga dividendos continuos

$$V = S_0 \sqrt{T} N'(d_1) e^{-qT}$$

S_0 = precio de contado en el tiempo 0

T = tiempo de maduración de la opción

r = tasa compuesta continua libre de riesgo

σ = volatilidad precio del ejercicio

q = tasa compuesta continua libre de riesgo

X = precio de ejercicio de la opción

N(x) es la distribución de probabilidad acumulada para una variable normalmente distribuida con media 0 y desviación estándar 1.

Por ejemplo:
Considerar una opción put europea con 4 meses de duración, el precio del ejercicio es de 300, el precio de mercado 305 , la tasa libre de riesgo es de 8% anual y la volatilidad es del 25% anual. Calcular la vega de la opción,

Solución:
$S_0 = 305$
$X = 300$
$T = 1/3$
$r = 0.08$
$\sigma = 0.25$

$$V = 305\sqrt{0.33}(0.38) = 67.5676$$

3.6 Rho

La Rho de un portafolio de derivados en el cambio del valor del portafolio con respecto de la tasa de interés:

$$Rho = \frac{\partial \Pi}{\partial r}$$

3.6.1 Rho de una *call* europea que no paga dividendos

$$Rho = XTe^{-rT}N(d_2)$$

donde,

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

S_0 = precio de contado en el tiempo 0

T = tiempo de maduración de la opción

r = tasa compuesta continua libre de riesgo

σ = volatilidad precio del ejercicio

q = tasa compuesta continua libre de riesgo

X = precio de ejercicio de la opción

N(x) es la distribución de probabilidad acumulada para una variable normalmente distribuida con media 0 y desviación estándar 1.

3.6.2 Rho de una *put* europea que no paga dividendos

$$Rho = -XTe^{-rT}N(-d_2)$$

donde,

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

S_0 = precio de contado en el tiempo 0

T = tiempo de maduración de la opción

r = tasa compuesta continua libre de riesgo

σ = volatilidad precio del ejercicio

q = tasa compuesta continua libre de riesgo
X = precio de ejercicio de la opción

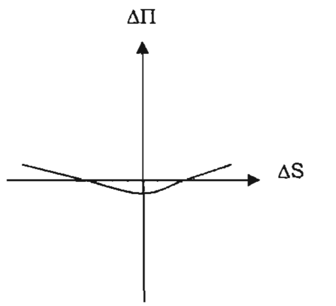
N(x) es la distribución de probabilidad acumulada para una variable normalmente distribuida con media 0 y desviación estándar 1.

Por ejemplo:
Considerar una opción put europea con 4 meses de duración, el precio del ejercicio es de 300, el precio de mercado 305 , la tasa libre de riesgo es de 8% anual y la volatilidad es del 25% anual. Calcular rho de la opción,

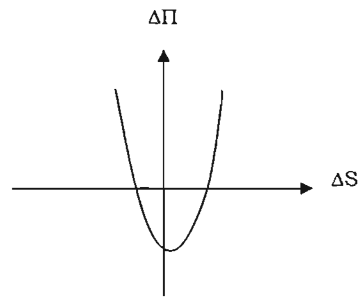
Solución:
$S_0 = 305$
X = 300
T = 1/3
r = 0.08
$\sigma = 0.25$

$$Rho = -300(0.33)e^{-(0.08)0.33}(0.40) = -38.49$$

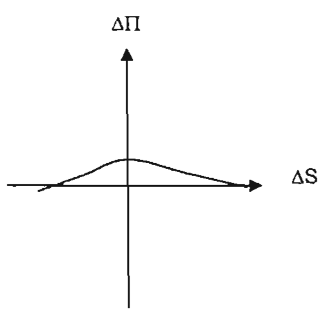
En la Gráfica 4 se muestra la naturaleza de esta relación entre $\Lambda\Pi$ y ΛS. Cuando gamma es positiva, theta tiende a ser negativa. El portafolio declina en valor si no existen cambios en S, pero incrementa en valor si existe un largo positivo o negativo cambio en S. Cuando gamma es negativo, theta tiende a ser positiva y el inverso es verdadero; es decir el portafolio incrementa en valor si no existen cambios en S, pero decrementa en valor si existe un largo positivo o negativo cambio en S. La sensibilidad del valor del portafolio incrementa S.



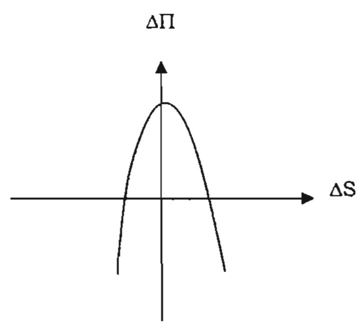
Gamma ligeramente positiva



Gamma larga positiva



Gamma ligeramente negativa



Gamma larga negativa

Gráfica 4

3.7. Posición Descubierta y de Cobertura

Una estrategia abierta a la institución financiera es no hacer nada. Esto es llamado en algunas ocasiones como *posición descubierta*. Esta es una estrategia que funciona bien si el precio del ejercicio se mantiene por encima del precio "strike" o de ejercicio.

Como una alternativa a una posición descubierta, la institución financiera puede adoptar una *posición de cobertura.* Si la opción es ejercida, esta estrategia funciona bien[7].

3.8. Relaciones entre Delta, Rho y Gamma

El precio de un simple derivado depende de un pago del ejercicio que no tiene dividendos. Esto es, el valor del portafolio, Π, satisface la siguiente ecuación:

$$\frac{\partial \Pi}{\partial t} + rS\frac{\partial \Pi}{\partial S} + \frac{1}{2}\sigma^2 S^2 \frac{\partial^2 \Pi}{\partial S^2} = r\Pi$$

porque

$$\Theta = \frac{\partial \Pi}{\partial t} \quad \Delta = \frac{\partial \Pi}{\partial S} \quad \Gamma = \frac{\partial^2 \Pi}{\partial S^2}$$

esto sigue que:

$$\Theta + rS\Delta + \frac{1}{2}\sigma^2 S^2 \Gamma = r\Pi$$

Por ejemplo:

Considerar una delta neutral, con una gamma de -5,000 y una vega de -8,000. Suponga que el operador de la opción tiene una gamma de 0.5, una vega de 2.0 y una delta de 0.6. El portafolio puede ser hecho vega neutral incluyendo una posición larga de 4,000 opciones operadas. Esto incrementaría la delta a 2,400 y requiere que 2,400 unidades del activo deberían mantener delta neutralmente. La gamma del portafolio cambiaría de -5,000 a -3,000. Hacer el portafolio gamma y vega neutral.

Supongamos que existe una segunda opción operada con una gamma de 0.8, vega de 1.2 y delta de 0.5. Si w_1 y w_2 son dos montos de las dos opciones operadas incluidas en el portafolio, requerimos que:

$$-5{,}000+0.5\ w_1+0.8\ w_2=0$$

$$-8{,}000+2.0\ w_1+1.2\ w_2=0$$

Solución:
La solución de esta ecuación es w_1= 400, w_2= 6,000. El portafolio puede entonces, ser hecho gamma y vega neutral incluyendo 400 de la primera opçión tratada y 6,000 de la segunda opción tratada. La delta del portafolio después de la adición de las posiciones en las dos opciones tratadas es 400(0.6)+6,000(0.5)=3,240. Entonces 3,240 unidades del activo tendrían que ser vendidas para mantener delta neutral.

Esto significa que cuando Θ es grande y positiva, Γ tiende a ser grande y negativa y viceversa. Esto es consistente con la siguiente gráfica explicando porque la theta debe ser considerada como una aproximación a la gamma en una cartera delta neutral.[8].

Capítulo 4. Resultados

Objetivo general:

Es presentar un sistema dinámico de cobertura de un portafolio de opciones en el mercado mexicano

Objetivo particular:

Optimizar el rendimiento del portafolio.

Metodología

Si se analizan los 5 parámetros que intervienen en el cálculo del pecio de una opción (precio del ejercicio, precio del subyacente, tipo de interés, fecha de vencimiento y volatilidad), vemos que salvo uno, el **precio del ejercicio**, los demás parámetros son variables y sus variaciones afectarán por tanto al precio de una opción durante su tiempo de vida. Los parámetros que representan estas variaciones están definidos por "Las Griegas" descritas en el capítulo anterior y vamos a analizar cada uno de estos parámetros.

Se seleccionaron las opciones europeas emitidas por el Mexder: OI IP10200 F ($call_1$), OI IP10200 I ($call_2$) y OI IP10200 R (put_1) con fecha de emisión 23, 24 y 25 de marzo de 2004, respectivamente, y todas con fecha de vencimiento 18 de junio de 2004 que serán el portafolio inicial (P_1). También se tiene una inversión inicial de 100,000 títulos para cada una de las opciones.

Se calcularon los precios para cada una de ellas hasta la fecha de vencimiento, así como el valor del portafolio semanalmente; teniendo como

$S_{0call1,put1}$ = 10,486, $\sigma_{call1,put1}$ = 15.70%, T = 0.23, X = 10,200, $r_{call1,put1}$ = 6.21% y S_{0call2} = 10,646, σ_{call2} = 13.50%, T = 0.23, X = 10,200, r_{call2} = 6.21% obteniéndose el valor del portafolio descrito en la Tabla 1:

Portafolio P1

Semana	Precios			Número de Títulos por Opción			Valor del Portafolio
	call 1	call 2	put 1	call 1	call 2	put 1	
1	484	668	193	100,000	100,000	100,000	134,500,000
2	719	892	105	100,000	100,000	100,000	171,600,000
3	726	920	90	100,000	100,000	100,000	173,600,000
4	558	764	104	100,000	100,000	100,000	142,600,000
5	534	771	93	100,000	100,000	100,000	139,800,000
6	214	443	255	100,000	100,000	100,000	91,200,000
7	29	176	776	100,000	100,000	100,000	98,100,000
8	38	229	647	100,000	100,000	100,000	91,400,000
9	75	346	401	100,000	100,000	100,000	82,200,000
10	98	404	264	100,000	100,000	100,000	76,600,000
11	211	572	75	100,000	100,000	100,000	85,800,000
12	39	410	158	100,000	100,000	100,000	60,700,000
13	25	399	59	100,000	100,000	100,000	48,300,000

Tabla 1

1. Para determinar las sensibilidades del portafolio P_1 se comenzó con la **delta** del portafolio. Se calculó la delta de cada opción (call1, call2 y put1). Y a su vez se calculó la delta del portafolio con la fórmula $\Delta P_i = \Delta o_{1i} + \Delta o_{2i} + \Delta o_{3i}$. Ya que se necesita crear el portafolio con una delta neutral. La columna Porción Ganancia/Pérdida describe cuales son los futuros que se necesitan comprar o vender, o sea, tenemos una delta inicial de 205,949,606 y se comprar futuros por 202,776,930 y en la semana siguiente el monto a cubrir es de 243,025,840, pero como la semana anterior se tenía una cobertura con futuros solamente se necesitan 37,076,234 y así sucesivamente. Ver Tabla 2.

Portafolio P1

Semana	Delta					Porción Ganancia/Pérdida	Futuros a necesitar
	call 1	call 2	put 1	Portafolio	Monto		
1	0.83	0.88	(0.17)	1.53	205,949,606	205,949,606	(202,776,930)
2	0.93	0.94	(0.07)	1.81	243,025,840	37,076,234	(36,519,676)
3	0.95	0.94	(0.05)	1.84	247,710,348	4,684,508	(4,615,227)
4	0.92	0.91	(0.08)	1.75	234,715,606	(12,994,743)	12,801,916
5	0.92	0.91	(0.08)	1.75	234,769,285	53,680	(52,892)
6	0.54	0.78	(0.46)	0.87	116,770,234	(117,999,051)	116,242,274
7	0.03	0.28	(0.97)	(0.65)	(86,878,147)	(203,648,381)	200,380,866
8	0.06	0.38	(0.94)	(0.51)	(68,588,496)	18,289,651	(17,975,063)
9	0.16	0.57	(0.84)	(0.12)	(15,928,834)	52,659,663	(51,804,382)
10	0.22	0.64	(0.78)	0.08	11,000,146	26,928,980	(26,500,882)
11	0.86	1.00	(0.14)	1.73	232,340,102	221,339,956	(217,734,141)
12	0.18	0.76	(0.82)	0.13	16,976,576	(215,363,526)	211,844,479
13	0.27	0.86	(0.73)	0.41	54,908,712	37,932,136	(37,316,988)

Tabla 2

La delta positiva nos indica una posición ganadora y una delta negativa nos indica una posición no ganadora, es decir, la *call* comprada y la *put* vendida tienen delta positiva, ya que se obtendrá beneficios ante subidas del subyacente; mientras que una *call* vendida y la *put* comprada tienen delta negativa, por lo que se obtendrá beneficios se producirán ante descensos del subyacente.

La cobertura con futuros comprados es a fin de evitar que la evolución de la volatilidad afecté el portafolio P_1. Los beneficios son: en caso de que el precio de mercado aumente y por cada punto que sube el subyacente, se tendrá un punto porcentual de beneficio. Sin embargo, el precio del mercado baja y por cada punto porcentual que baje el subyacente, las pérdidas serán de un punto porcentual.

2. Se determinó la **gamma** de cada una de las opciones (call1, call2 y put1) y la gamma total de P_1 se determinó con $\Gamma P_i = \Gamma o_{1i} + \Gamma o_{2i} + \Gamma o_{3i}$. Ver Tabla 3.

Portafolio P1

Semana	Gamma				Monto
	call 1	call 2	put 1	Portafolio	
1	0.00052	0.00029	0.00052	0.00134	134
2	0.00024	0.00016	0.00024	0.00064	64
3	0.00020	0.00016	0.00020	0.00056	56
4	0.00035	0.00023	0.00035	0.00093	93
5	0.00037	0.00023	0.00037	0.00097	97
6	0.00129	0.00053	0.00129	0.00310	310
7	0.00021	0.00069	0.00021	0.00112	112
8	0.00035	0.00075	0.00035	0.00146	146
9	0.00093	0.00072	0.00093	0.00259	259
10	0.00117	0.00092	0.00117	0.00326	326
11	0.00130	0.00000	0.00130	0.00260	260
12	0.00238	0.00121	0.00238	0.00597	597
13	0.00669	0.00147	0.00669	0.01485	1,485

Tabla 3

Los valores de gamma, tanto de las opciones *call* y *put*, son iguales para un mismo precio de ejercicio, teniendo gamma positiva las opciones compradas y gamma negativa las opciones vendidas.

3. Se determinó la **vega** de cada una de las opciones (call1, call2 y put1) y la vega total de P_1 se determinó con $VP_i = Vo_{1i} + Vo_{2i} + Vo_{3i}$. Ver Tabla 4.

Portafolio P1

Semana	Vega				
	call 1	call 2	put 1	Portafolio	Monto
1	1,272	1,498	1,272	4,043	404,259,928
2	626	910	626	2,162	216,214,907
3	473	879	473	1,825	182,526,880
4	667	1,121	667	2,455	245,546,117
5	629	1,082	629	2,340	234,014,173
6	1,438	1,879	1,438	4,755	475,453,401
7	240	1,961	240	2,440	244,011,684
8	320	2,175	320	2,815	281,516,254
9	626	2,243	626	3,495	349,495,074
10	659	2,080	659	3,398	339,762,607
11	396	-	396	791	79,148,710
12	282	1,631	282	2,195	219,541,433
13	179	1,151	179	1,509	150,881,861

Tabla 4

Una posición en opciones puede tener una vega positiva, negativa o 0.

5. Se determinó la **rho** de cada una de las opciones (call1, call2 y put1) y la rho total de P_1 se determinó con $\rho P_i = \rho o_{1i} + \upsilon o_{2i} + \rho o_{3i}$. Ver Tabla 5.

Portafolio P1

Semana	Rho				
	call 1	call 2	put 1	Portafolio	Monto
1	1,816	4,011	(447)	5,379	537,891,249
2	1,907	4,178	(164)	5,921	592,068,448
3	1,767	4,015	(110)	5,672	567,215,678
4	1,520	3,708	(162)	5,066	506,594,872
5	1,345	3,548	(144)	4,749	474,915,181
6	671	2,837	(622)	2,886	288,603,466
7	32	899	(1,064)	(133)	(13,318,075)
8	44	1,160	(858)	346	34,598,727
9	102	1,688	(603)	1,187	118,741,038
10	104	1,856	(404)	1,556	155,555,924
11	266	2,837	(45)	3,058	305,846,415
12	20	1,967	(93)	1,894	189,359,499
13	8	2,185	(21)	2,172	217,204,041

Tabla 5

De los parámetros que afectan al cálculo de los precios teóricos de las opciones el tipo de interés libre de riesgo es el que menos importancia tiene, debido a que las variaciones de los tipos de interés afectan mínimamente a los precios de las opciones. Además, cuanto mayor es el tiempo a vencimiento, mayor es el valor de rho.

Haciendo un portafolio delta, gamma, vega y rho neutral

Para crear un portafolio delta, gamma, vega y rho neutral se seleccionaron tres opciones diferentes al portafolio inicial P_1 (una *call* y 2 *put*) que llamaremos portafolio P2.Son opciones europeas emitidas por el Mexder: OI IP10200 L (call21), OI IP10200 X (put21) y OI IP10200 U (put22) con fecha de emisión 23 de marzo de 2004 y con fecha de vencimiento 18 de junio de 2004. Al igual que el portafolio P_2 se tiene una inversión inicial de 100,000 títulos para cada una de las opciones descritos abajo en la Tabla 6.

Portafolio P2

Semana	Precios		
	call 21	put 21	put 22
1	293	381	778
2	210	283	1030
3	137	178	1121
4	207	275	949
5	196	268	975
6	359	419	620
7	777	766	309
8	696	723	404
9	497	556	544
10	412	478	619
11	872	267	303
12	732	380	373
13	588	327	423

Tabla 6

1. Se calculó la delta por cada opción semanalmente y la del portafolio ΔP2 es presentada en la Tabla 7:

Portafolio P2

Semana	Delta			
	call 21	put 21	put 22	Portafolio
1	0.87	(0.13)	(0.15)	0.59
2	0.91	(0.09)	(0.09)	0.74
3	0.94	(0.06)	(0.06)	0.83
4	0.91	(0.09)	(0.10)	0.71
5	0.91	(0.09)	(0.10)	0.71
6	0.82	(0.18)	(0.25)	0.39
7	0.57	(0.43)	(0.71)	(0.56)
8	0.63	(0.37)	(0.60)	(0.34)
9	0.73	(0.27)	(0.43)	0.02
10	0.78	(0.22)	(0.35)	0.22
11	0.87	(0.13)	(0.20)	0.54
12	0.80	(0.20)	(0.35)	0.25
13	0.78	(0.22)	(0.34)	0.21

Tabla 7

2. Se calculó la gamma por cada opción semanalmente y la del portafolio ΓP2 es presentada en la Tabla 8:

Portafolio P2

Semana	Gamma				
	call 21	put 21	put 22	Portafolio	Monto
1	0.00020	0.00020	0.00031	0.00071	134
2	0.00014	0.00014	0.00018	0.00047	64
3	0.00011	0.00011	0.00016	0.00039	56
4	0.00016	0.00016	0.00024	0.00057	93
5	0.00017	0.00017	0.00024	0.00057	97
6	0.00029	0.00029	0.00051	0.00109	310
7	0.00049	0.00049	0.00062	0.00160	112
8	0.00044	0.00044	0.00067	0.00155	146
9	0.00039	0.00039	0.00071	0.00149	259
10	0.00034	0.00034	0.00068	0.00136	326
11	0.00023	0.00023	0.00050	0.00096	260
12	0.00038	0.00038	0.00072	0.00147	597
13	0.00039	0.00039	0.00083	0.00161	1,485

Tabla 8

3. Se calculó la vega por cada opción semanalmente y la del portafolio *V*P2 es presentada en la Tabla 9:

Portafolio P2

Semana	Vega				
	call 21	put 21	put 22	Portafolio	Monto
1	1,979	1,979	1,707	5,665	404,259,928
2	1,506	1,506	1,179	4,191	216,214,907
3	1,077	1,077	883	3,037	182,526,880
4	1,528	1,528	1,249	4,305	245,546,117
5	1,503	1,503	1,194	4,200	234,014,173
6	2,235	2,235	2,017	6,487	475,453,401
7	3,083	3,083	1,987	8,153	244,011,684
8	2,956	2,956	2,207	8,119	281,516,254
9	2,620	2,620	2,243	7,484	349,495,074
10	2,316	2,316	2,080	6,712	339,762,607
11	1,699	1,699	1,559	4,957	79,148,710
12	2,123	2,123	1,937	6,182	219,541,433
13	2,251	2,251	1,890	6,391	150,881,861

Tabla 9

4. Se calculó la rho por cada opción semanalmente y la del portafolio ρP2 es presentada en la Tabla 10:

Portafolio P2

Semana	Rho				
	call 21	put 21	put 22	Portafolio	Monto
1	6,009	(1,293)	(876)	3,840	537,891,249
2	6,245	(884)	(523)	4,837	592,068,448
3	6,392	(560)	(348)	5,483	567,215,678
4	5,896	(873)	(539)	4,484	506,594,872
5	5,746	(843)	(498)	4,405	474,915,181
6	4,937	(1,465)	(1,088)	2,384	288,603,466
7	3,146	(3,055)	(2,684)	(2,592)	(13,318,075)
8	3,373	(2,628)	(2,197)	(1,451)	34,598,727
9	3,910	(1,921)	(1,532)	457	118,741,038
10	4,138	(1,515)	(1,190)	1,433	155,555,924
11	4,533	(931)	(658)	2,944	305,846,415
12	4,010	(1,269)	(1,022)	1,720	189,359,499
13	3,795	(1,405)	(957)	1,433	217,204,041

Tabla 10

5. Para calcular el número de títulos que se necesitan comprar (o vender) para obtener una delta neutral en el portafolio total (ΔP1+ΔP2=ΔP), se resolvió el siguiente sistema de ecuaciones:

$$\Gamma_{P_1} = \Gamma_{P_2} w_1 + \Gamma_{P_2} w_2 + \Gamma_{P_2} w_3$$
$$V_{P_1} = V_{P_2} w_1 + V_{P_2} w_2 + V_{P_2} w_3$$
$$\rho_{P_1} = \rho_{P_2} w_1 + \rho_{P_2} w_2 + \rho_{P_2} w_3$$

donde w_i son los títulos necesarios para comprar (o vender)

Desglosado en la Tabla 11:

Semana	Títulos		
	w1	w2	W3
1	87,662	(467,830)	677,399
2	86,431	(418,741)	607,915
3	86,314	(376,313)	560,714
4	79,113	(439,144)	637,169
5	74,409	(453,500)	673,518
6	56,707	(757,100)	1,011,763
7	64,250	(138,414)	237,833
8	59,429	(192,556)	305,823
9	53,805	(383,763)	541,154
10	44,911	(551,382)	727,221
11	33,005	(778,215)	863,047
12	22,535	(1,272,053)	1,482,713
13	(63,764)	(2,289,282)	2,881,758

Tabla 11

6. Para calcular la delta neutral del portafolio total (ΔP) se suman las deltas de cada portafolio P_1 y P_2. Se rebalancea de nuevo el portafolio P. Asimismo se inmuniza el portafolio total (P) con futuros. Véase Tabla 12.

La cobertura con futuros comprados es a fin de evitar que la evolución de la volatilidad afecté el portafolio P. Los beneficios son: en caso de que el precio de mercado aumente y por cada punto que sube el subyacente, se tendrá un punto porcentual de beneficio. Sin embargo, el precio del mercado baja y por cada punto porcentual que baje el subyacente, las pérdidas serán de un punto porcentual.

Por lo tanto en la semana 1 se tienen que vender 186,034 futuros para inmunizar el portafolio P. Lo mismo ocurre en la semana 2 y 3. En la semana 4, se tiene una delta negativa, por lo que, se tiene comprar 29,951 futuros.

Portafolio P1+P2

Semana	Delta Neutral	Delta Rebalanceada	Valor del Futuro	Futuros Compra/Venta
1	188,945	188,945	0.9846	(186,034)
2	243,209	54,264	0.9850	(53,449)
3	252,630	9,422	0.9852	(9,282)
4	222,228	(30,402)	0.9852	29,951
5	217,633	(4,595)	0.9853	4,527
6	19,646	(197,987)	0.9851	195,040
7	(136,888)	(156,534)	0.9840	154,022
8	(125,841)	11,047	0.9828	(10,857)
9	(102,598)	23,243	0.9838	(22,866)
10	(93,903)	8,695	0.9841	(8,557)
11	129,900	223,803	0.9837	(220,157)
12	(233,332)	(363,232)	0.9837	357,296
13	(479,940)	(246,608)	0.9838	242,609

Tabla 12

Sensibilidades para el portafolio P_1

Para observar que elementos contribuyen más a la variación del valor del portafolio, se aislaron todos los parámetros por separado S_i, r_i, σ_i y los resultados se presentan a continuación:

1. Variaciones del precio del ejercicio.

Valuando el portafolio P_1 con la siguiente función $f(S_{i+1}, r_i, \sigma_i)$ así como sus precios dando como resultado la Tabla 13:

Semana	Precios			Total Portafolio Si+1
1	484	668	193	134,500,000
2	898	1,067	276	224,132,932
3	741	910	86	173,702,351
4	590	793	130	151,322,592
5	543	773	101	141,699,066
6	255	524	314	109,348,710
7	4	177	763	94,394,714
8	47	216	629	89,198,496
9	94	308	406	80,805,017
10	98	384	272	75,329,233
11	218	369	59	64,577,576
12	29	-	139	16,834,907
13	29	154	61	24,541,340

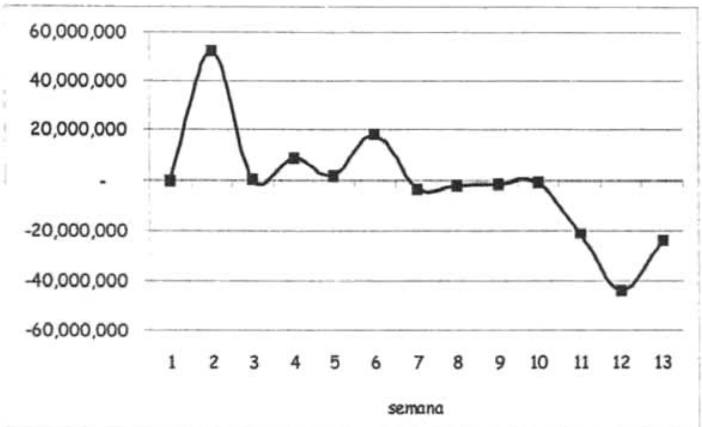
Tabla 13

Se calculó la diferencia entre el portafolio P_1 valuado en $f(S_{i+1}, r_i, \sigma_i)$ y $f(S_i, r_i, \sigma_i)$. Ver Tabla 14.

Semana	Valor del Portafolio en Si+1	Valor del Portafolio P1	Diferencias
1	134,500,000	134,500,000	-
2	224,132,932	171,600,000	52,532,932
3	173,702,351	173,600,000	102,351
4	151,322,592	142,600,000	8,722,592
5	141,699,066	139,800,000	1,899,066
6	109,348,710	91,200,000	18,148,710
7	94,394,714	98,100,000	(3,705,286)
8	89,198,496	91,400,000	(2,201,504)
9	80,805,017	82,200,000	(1,394,983)
10	75,329,233	76,600,000	(1,270,767)
11	64,577,576	85,800,000	(21,222,424)
12	16,834,907	60,700,000	(43,865,093)
13	24,541,340	48,300,000	(23,758,660)

Tabla 14

Esta diferencia es para medir la variación de $f(S_i, r_i, \sigma_i)$ a $f(S_{i+1}, r_i, \sigma_i)$ semanalmente mostrado en la Gráfica 1 en donde en las semanas 7 a la 10 es casi 0, o sea, que en la semana 2 y 12 el precio de ejercicio (S_i) afectó de manera considerable el portafolio.



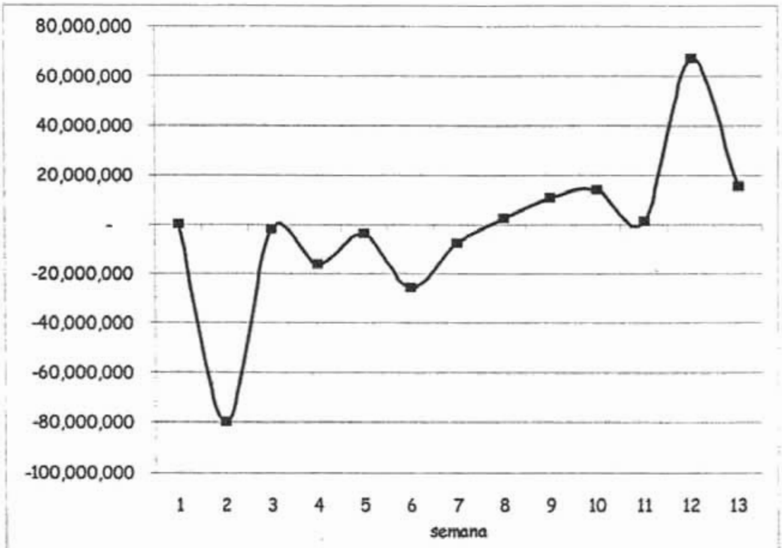
Gráfica 1

Se calculó el portafolio con $f(S_{i+1}, r_i, \sigma_i)$ +cobertura con futuros$_i$ y $f(S_i, r_i, \sigma_i)$ +cobertura en futuros$_i$. Ver Tabla 15.

Valor del Portafolio P1	futuros Si	P1+futuros P1	Valor del Portafolio en Si+1	Si+1+futuros Si+1	Diferencias
134,500,000	(202,776,930)	(68,276,930)	134,500,000	(68,276,930)	-
171,600,000	(239,377,733)	(67,777,733)	224,132,932	12,385,878	(80,163,610)
173,600,000	(244,046,825)	(70,446,825)	173,702,351	(68,627,814)	(1,819,012)
142,600,000	(231,232,707)	(88,632,707)	151,322,592	(72,781,269)	(15,851,438)
139,800,000	(231,326,069)	(91,526,069)	141,699,066	(87,863,887)	(3,662,182)
91,200,000	(115,031,752)	(23,831,752)	109,348,710	2,036,356	(25,868,107)
98,100,000	85,484,197	183,584,197	94,394,714	191,246,004	(7,661,807)
91,400,000	67,408,750	158,808,750	89,198,496	156,210,106	2,598,644
82,200,000	15,670,123	97,870,123	80,805,017	87,035,367	10,834,756
76,600,000	(10,825,274)	65,774,726	75,329,233	51,332,462	14,442,264
85,800,000	(228,555,086)	(142,755,086)	64,577,576	(144,269,672)	1,514,586
60,700,000	(16,699,179)	44,000,821	16,834,907	(23,060,524)	67,061,345
48,300,000	(54,018,254)	(5,718,254)	24,541,340	(21,099,830)	15,381,576

Tabla 15

La última columna llamada "Diferencias" es para identificar cuanto ha variado de $f(S_i, r_i, \sigma_i)$ +cobertura en futuros$_i$ a $f(S_{i+1}, r_i, \sigma_i)$ +cobertura con futuros$_i$. Ver Gráfica 2.



Gráfica 2

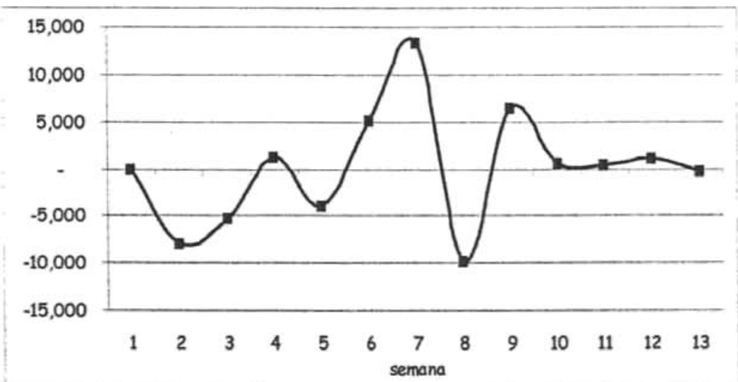
La Gráfica 2 nos muestra que aunque se realizó la cobertura con futuros sigue afectando de manera considerable el valor del portafolio variando el precio de ejercicio S_i en la semana 2 y 12.

Se calcularon ambos portafolios ($f(S_{i+1}, r_i, \sigma_i)$ y $f(S_i, r_i, \sigma_i)$) por número de títulos de cada futuro para identificar si esos títulos contribuyen a la sensibilidad del valor del portafolio. Ver Tabla 16.

# Títulos FuturosSi	Preciofuturo Si+1*títulos futuro Si	Preciofuturo Si*títulos futuro Si	Diferencias Títulos	Diferencia portafolios Si+1-Si
(20,277,693)	(19,965,313)	(19,965,313)	-	-
(23,937,773)	(19,973,301)	(23,578,439)	(7,988)	89,632,932
(24,404,683)	(23,583,745)	(24,043,748)	(5,306)	2,102,351
(23,123,271)	(24,042,546)	(22,780,149)	1,202	(22,277,408)
(23,132,607)	(22,784,136)	(22,793,335)	(3,987)	(900,934)
(11,503,175)	(22,788,207)	(11,331,915)	5,128	(30,451,290)
8,548,420	(11,318,608)	8,411,261	13,307	3,194,714
6,740,875	8,401,384	6,624,930	(9,877)	(8,901,504)
1,567,012	6,631,392	1,541,561	6,462	(10,594,983)
(1,082,527)	1,542,101	(1,065,318)	540	(6,870,767)
(22,855,509)	(1,064,892)	(22,483,173)	426	(12,022,424)
(1,669,918)	(22,482,049)	(1,642,631)	1,124	(68,965,093)
(5,401,825)	(1,642,837)	(5,314,224)	(205)	(36,158,660)

Tabla 16

Graficando únicamente las diferencias entre el valor de los títulos de la Tabla 16 "Diferencias Títulos". Se muestra que en la semana 2 y 3 se observa la venta de títulos. En la semana 4, se observa una adquisición de títulos. En la semana 5, venta de títulos. En la semana 6 y 7, adquisición de títulos. En la semana 8, hubo una venta muy fuerte de títulos. En la semana 9 a la 13 hubo adquisiciones. Ver Gráfica 3.



Gráfica 3

2. *Variaciones de la volatilidad*

Valuando el mismo portafolio P1 con la función $f(S_i, r_i, \sigma_{i+1})$, esto con el fin de medir si la volatilidad afecta el valor del portafolio. Los resultados se presentan en la Tabla 17.

Semana	Precios			Total Portafolio sigmai+1
1	484	668	193	134,500,000
2	696	887	414	199,633,640
3	707	886	84	167,704,686
4	716	913	59	168,763,555
5	544	760	82	138,659,448
6	518	763	73	135,400,983
7	194	429	254	87,712,737
8	17	166	782	96,505,751
9	21	217	608	84,602,782
10	46	336	361	74,357,532
11	59	256	236	55,076,514
12	172	240	12	42,356,100
13	4	157	114	27,495,915

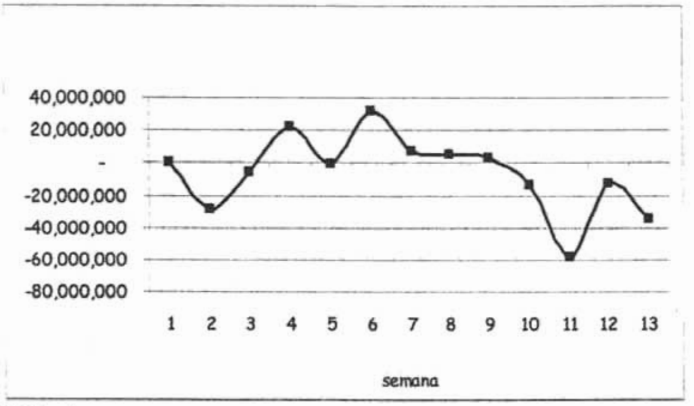
Tabla 17

Asimismo, se calculó la diferencia entre el portafolio P1 valuado en $f(S_i, r_i, \sigma_{i+1})$ y $f(S_i, r_i, \sigma_i)$. La columna "Diferencias" de la Tabla 18 indica la variación de $f(S_i, r_i, \sigma_i)$ a $f(S_i, r_i, \sigma_{i+1})$ semanalmente.

Semana	Valor del Portafolio en sigmai+1	Valor del Portafolio P1	Diferencias
1	134,500,000	134,500,000	-
2	143,169,310	171,600,000	(28,430,690)
3	167,742,585	173,600,000	(5,857,415)
4	164,300,248	142,600,000	21,700,248
5	138,964,253	139,800,000	(835,747)
6	122,827,317	91,200,000	31,627,317
7	105,162,623	98,100,000	7,062,623
8	96,408,065	91,400,000	5,008,065
9	85,880,306	82,200,000	3,680,306
10	62,674,062	76,600,000	(13,925,938)
11	28,000,049	85,800,000	(57,799,951)
12	48,026,680	60,700,000	(12,673,320)
13	14,059,642	48,300,000	(34,240,358)

Tabla 18

En la Gráfica 4 se muestran éstas diferencias. Se puede observar que en las semanas 5, 7, 8 y 9 es casi nula.



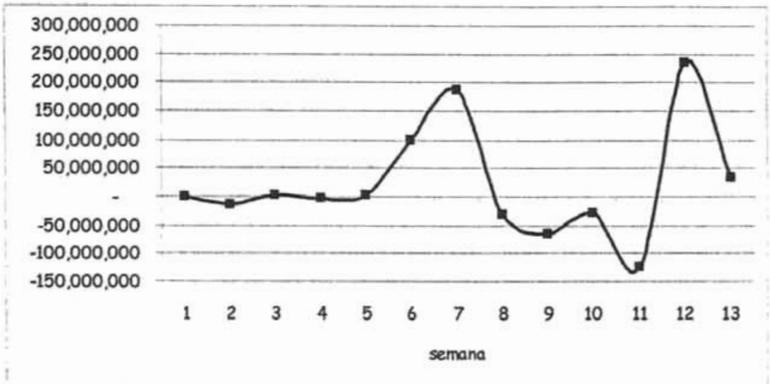
Gráfica 4

Adicionalmente se calculó el portafolio P1 con $f(S_i, r_i, \sigma_{i+1})$ +cobertura con futuros$_i$ y $f(S_i, r_i, \sigma_i)$ +cobertura en futuros$_i$ desglosado en la Tabla 19:

Valor del Portafolio P1	futuros Si	P1+futuros P1	Valor del Portafolio en sigmai+1	Sigmai+1+futurs	Diferencias
134,500,000	(202,776,930)	(68,276,930)	134,500,000	(68,276,930)	-
171,600,000	(239,377,733)	(67,777,733)	143,169,310	(53,012,766)	(14,764,966)
173,600,000	(244,046,825)	(70,446,825)	167,742,585	(73,873,481)	3,426,656
142,600,000	(231,232,707)	(88,632,707)	164,300,248	(84,856,565)	(3,776,141)
139,800,000	(231,326,069)	(91,526,069)	138,964,253	(94,058,529)	2,532,461
91,200,000	(115,031,752)	(23,831,752)	122,827,317	(122,725,992)	98,894,241
98,100,000	85,484,197	183,584,197	105,162,623	(3,244,348)	186,828,545
91,400,000	67,408,750	158,808,750	96,408,065	190,558,981	(31,750,231)
82,200,000	15,670,123	97,870,123	85,880,306	163,255,716	(65,385,593)
76,600,000	(10,825,274)	65,774,726	62,674,062	92,724,453	(26,949,727)
85,800,000	(228,555,086)	(142,755,086)	28,000,049	(17,221,032)	(125,534,054)
60,700,000	(16,699,179)	44,000,821	48,026,680	(191,817,281)	235,818,102
48,300,000	(54,018,254)	(5,718,254)	14,059,642	(40,235,848)	34,517,594

Tabla 19

La columna "Diferencias" de la Tabla 19 se muestra en la Gráfica 5, donde la cobertura con futuros está inmunizado en las semanas 1 a la 5. En las semanas restantes hay compras (semana 6, 7, 12 y 13) y ventas (semana 8, 9, 10 y 11).



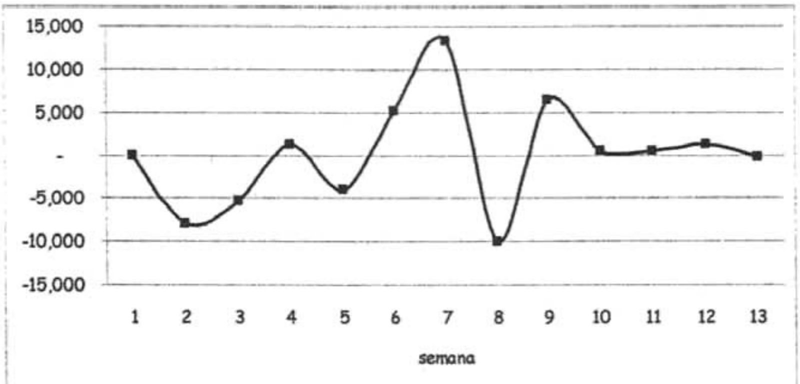
Gráfica 5

Para finalizar con el análisis de la variación del precio del ejercicio , se calcularon dos portafolios ($f(S_i, r_i, \sigma_{i+1})$ y $f(S_i, r_i, \sigma_i)$) por número de títulos de cada futuro. El motivo es para identificar si la variación de la volatilidad contribuye en la adquisición o venta de títulos. Ver Tabla 20.

# Títulos FuturosSi	preciofuturo Sigmai+1*títulos futuro Si	preciofuturo Si*títulos futuro Si	Diferencias Títulos	diferencia portafolios Si+1-Si
(20,277,693)	(19,965,313)	(19,965,313)	-	-
(23,937,773)	(19,973,301)	(23,578,439)	(7,988)	8,669,310
(24,404,683)	(23,583,745)	(24,043,748)	(5,306)	(3,857,415)
(23,123,271)	(24,042,546)	(22,780,149)	1,202	(9,299,752)
(23,132,607)	(22,784,136)	(22,793,335)	(3,987)	(3,635,747)
(11,503,175)	(22,788,207)	(11,331,915)	5,128	(16,972,683)
8,548,420	(11,318,608)	8,411,261	13,307	13,962,623
6,740,875	8,401,384	6,624,930	(9,877)	(1,691,935)
1,567,012	6,631,392	1,541,561	6,462	(5,519,694)
(1,082,527)	1,542,101	(1,065,318)	540	(19,525,938)
(22,855,509)	(1,064,892)	(22,483,173)	426	(48,599,951)
(1,669,918)	(22,482,049)	(1,642,631)	1,124	(37,773,320)
(5,401,825)	(1,642,837)	(5,314,224)	(205)	(46,640,358)

Tabla 20

La Gráfica 6 muestra las "Diferencias" entre el valor de los títulos de la Tabla 20. En donde se puede observar que se mantuvo prácticamente la tenencia de los títulos a partir de la semana 10.



Gráfica 6

3. *Variaciones de la tasa de interés*

Por último se muestra al portafolio P_1 valuado con la siguiente función $f(S_i, r_{i+1}, \sigma_i)$ para analizar como la tasa de interés afecta el valor del portafolio semanalmente. Ver Tabla 21.

Semana	Precios			Total Portafolio tasai+1	Total Portafolio Original
1	484	668	193	134,500,000	134,500,000
2	696	887	414	199,633,640	171,600,000
3	707	886	84	167,704,686	173,600,000
4	716	913	59	168,763,555	142,600,000
5	544	760	82	138,659,448	139,800,000
6	518	763	73	135,400,983	91,200,000
7	194	429	254	87,712,737	98,100,000
8	17	166	782	96,505,751	91,400,000
9	21	217	608	84,602,782	82,200,000
10	46	336	361	74,357,532	76,600,000
11	59	256	236	55,076,514	85,800,000
12	172	240	12	42,356,100	60,700,000
13	4	157	114	27,495,915	48,300,000

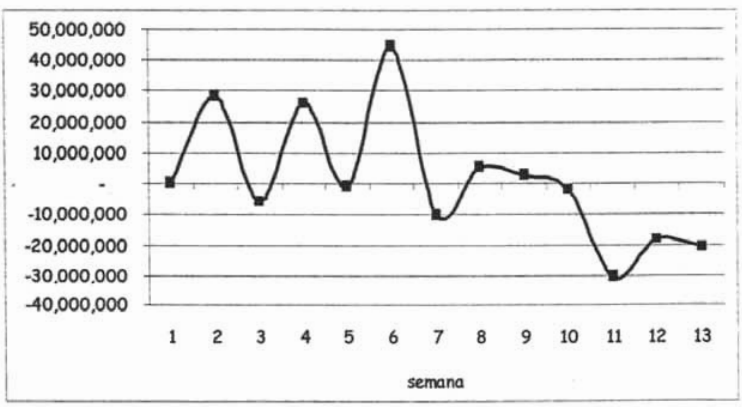
Tabla 21

Asimismo, se calculó la diferencia entre el portafolio P_1 valuado en $f(S_i, r_{i+1}, \sigma_i)$ y $f(S_i, r_i, \sigma_i)$. Ver Tabla 22.

Semana	Valor del Portafolio en tasai+1	Valor del Portafolio P1	Diferencias
1	134,500,000	134,500,000	-
2	199,633,640	171,600,000	28,033,640
3	167,704,686	173,600,000	(5,895,314)
4	168,763,555	142,600,000	26,163,555
5	138,659,448	139,800,000	(1,140,552)
6	135,400,983	91,200,000	44,200,983
7	87,712,737	98,100,000	(10,387,263)
8	96,505,751	91,400,000	5,105,751
9	84,602,782	82,200,000	2,402,782
10	74,357,532	76,600,000	(2,242,468)
11	55,076,514	85,800,000	(30,723,486)
12	42,356,100	60,700,000	(18,343,900)
13	27,495,915	48,300,000	(20,804,085)

Tabla 22

Esta diferencia es para medir la variación de $f(S_i, r_i, \sigma_i)$ a $f(S_i, r_{i+1}, \sigma_i)$ semanalmente. La Gráfica 7 muestra como el valor del portafolio es afectado por la variación en la tasa de interés. En las semanas 2, 4 y 6, la variación en la tasa de interés afecto de manera considerable al valor del portafolio. No obstante, en las semanas 3, 5 y 10 la variación fue casi nula.



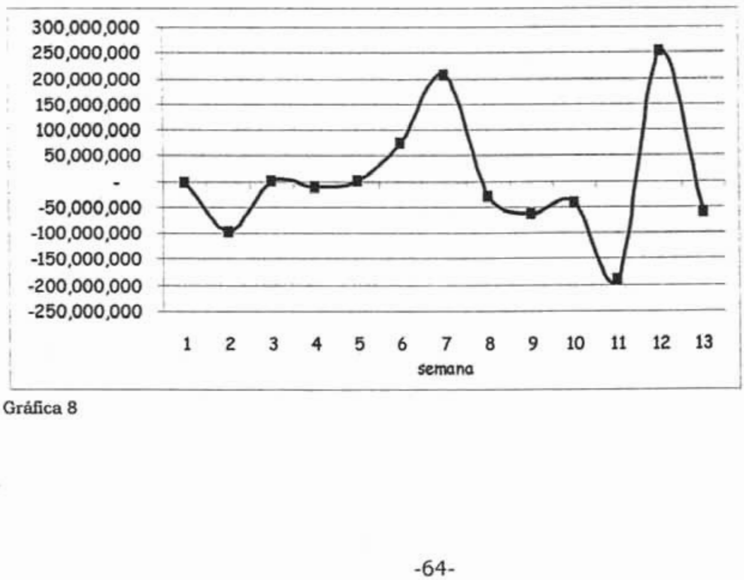
Gráfica 7

Adicionalmente se calculó el portafolio con $f(S_i, r_{i+1}, \sigma_i)$ +cobertura con futuros$_i$ y $f(S_i, r_i, \sigma_i)$ +cobertura en futuros$_i$. Ver Tabla 23.

Valor del Portafolio P1	futurosi	P1+futuros P1	Valor del Portafolio en tasai+1	tasai+1+futurosi	Diferencias
134,500,000	(202,776,930)	(68,276,930)	134,500,000	(68,276,930)	-
171,600,000	(239,377,733)	(67,777,733)	199,633,640	30,042,678	(97,820,411)
173,600,000	(244,046,825)	(70,446,825)	167,704,686	(73,531,533)	3,084,707
142,600,000	(231,232,707)	(88,632,707)	168,763,555	(77,067,394)	(11,565,313)
139,800,000	(231,326,069)	(91,526,069)	138,659,448	(94,426,314)	2,900,246
91,200,000	(115,031,752)	(23,831,752)	135,400,983	(98,961,108)	75,129,357
98,100,000	85,484,197	183,584,197	87,712,737	(23,198,285)	206,782,482
91,400,000	67,408,750	158,808,750	96,505,751	188,621,099	(29,812,349)
82,200,000	15,670,123	97,870,123	84,602,782	161,878,901	(64,008,778)
76,600,000	(10,825,274)	65,774,726	74,357,532	105,493,986	(39,719,260)
85,800,000	(228,555,086)	(142,755,086)	55,076,514	47,175,859	(189,930,945)
60,700,000	(16,699,179)	44,000,821	42,356,100	(210,209,807)	254,210,628
48,300,000	(54,018,254)	(5,718,254)	27,495,915	52,783,509	(58,501,763)

Tabla 23

La última columna llamada "Diferencias" es para identificar cuanto ha variado de $f(S_i, r_i, \sigma_i)$ +cobertura en futuros$_i$ a $f(S_i, r_{i+1}, \sigma_i)$ +cobertura con futuros$_i$. En la Gráfica 8 se puede observar que en la semana 3, 4, 5 y 8 la cobertura con futuros funcionó adecuadamente.



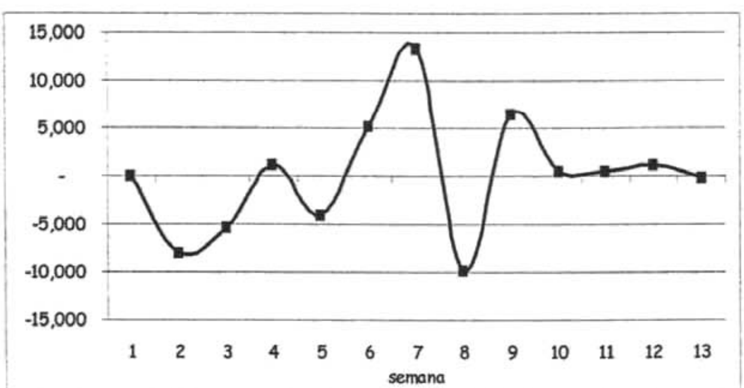
Gráfica 8

También se calcularon ambos portafolios ($f(S_i, r_i, \sigma_i)$ y $f(S_i, r_{i+1}, \sigma_i)$) por número de títulos de cada futuro para identificar si esos títulos contribuyen a la variación del valor del portafolio. Ver Tabla 24.

# Títulos Futurosi	preciofuturo tasai+1*títulos futuroi	preciofuturo tasai*títulos futuroi	Diferencias Títulos	diferencia portafolios Si+1-Si
(20,277,693)	(19,965,313)	(19,965,313)	-	-
(23,937,773)	(19,973,301)	(23,578,439)	(7,988)	65,133,640
(24,404,683)	(23,583,745)	(24,043,748)	(5,306)	(3,895,314)
(23,123,271)	(24,042,546)	(22,780,149)	1,202	(4,836,445)
(23,132,607)	(22,784,136)	(22,793,335)	(3,987)	(3,940,552)
(11,503,175)	(22,788,207)	(11,331,915)	5,128	(4,399,017)
8,548,420	(11,318,608)	8,411,261	13,307	(3,487,263)
6,740,875	8,401,384	6,624,930	(9,877)	(1,594,249)
1,567,012	6,631,392	1,541,561	6,462	(6,797,218)
(1,082,527)	1,542,101	(1,065,318)	540	(7,842,468)
(22,855,509)	(1,064,892)	(22,483,173)	426	(21,523,486)
(1,669,918)	(22,482,049)	(1,642,631)	1,124	(43,443,900)
(5,401,825)	(1,642,837)	(5,314,224)	(205)	(33,204,085)

Tabla 24

De la Tabla 24 se graficaron las diferencias entre el valor de los títulos (Diferencias Títulos). Lo que se puede observar que en las semanas 11, 12 y 13 fue casi nula la variación de títulos con respecto a la semana anterior. Ver Gráfica 9.



Gráfica 9

Sensibilidades para el portafolio P_2

Para el portafolio P_2 (recordemos que éste fue empleado para crear un portafolio delta neutral) también se analizaron cuales elementos contribuyen más a la variación del valor del portafolio, se aislaron todos los parámetros por separado S_i, r_i, σ_i y los resultados se presentan a continuación:

1. Variaciones del precio de ejercicio

Valuando el portafolio P_2 con la siguiente función $f(S_{i+1}, r_i, \sigma_i)$ así como sus precios dando como resultado la Tabla 25:

Semana	Precios			Total Portafolio Si+1
	put21	call21	put22	
1	293	778	381	(80,197,631)
2	273	1104	168	(336,284,596)
3	222	1166	191	(312,616,063)
4	243	982	196	(287,110,281)
5	269	1008	194	(306,472,561)
6	460	777	409	(148,277,653)
7	800	482	787	171,891,518
8	689	478	672	154,352,865
9	558	606	514	75,857,844
10	450	666	408	(50,396,466)
11	296	827	251	(417,130,315)
12	489	686	394	(276,774,106)
13	391	553	379	(198,181,608)

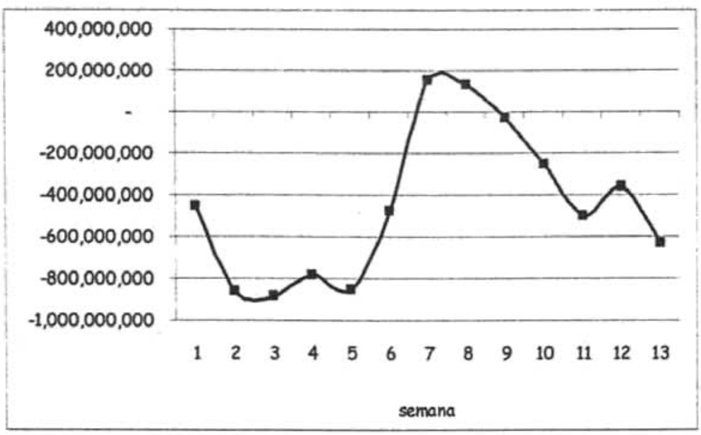
Tabla 25

Se calculó la diferencia entre el portafolio P_2 valuado en $f(S_{i+1}, r_i, \sigma_i)$ y $f(S_i, r_i, \sigma_i)$. Ver Tabla 26.

Semana	Total Portafolio Si+1	Total Portafolio Si	Diferencias
1	(80,197,631)	374,458,437	(454,656,068)
2	(336,284,596)	525,799,201	(862,083,797)
3	(312,616,063)	573,401,665	(886,017,728)
4	(287,110,281)	500,285,052	(787,395,333)
5	(306,472,561)	549,725,944	(856,198,505)
6	(148,277,653)	330,425,594	(478,703,247)
7	171,891,518	17,387,441	154,504,077
8	154,352,865	25,697,292	128,655,573
9	75,857,844	107,756,682	(31,898,837)
10	(50,396,466)	205,092,327	(255,488,793)
11	(417,130,315)	82,499,699	(499,630,014)
12	(276,774,106)	86,167,603	(362,941,709)
13	(198,181,608)	432,895,120	(631,076,728)

Tabla 26

Esta diferencia es para medir la variación de $f(S_i, r_i, \sigma_i)$ a $f(S_{i+1}, r_i, \sigma_i)$ semanalmente mostrado en la Gráfica 10 en donde prácticamente en todas las semanas el precio de ejercicio (S_i) afectó de manera considerable el portafolio.



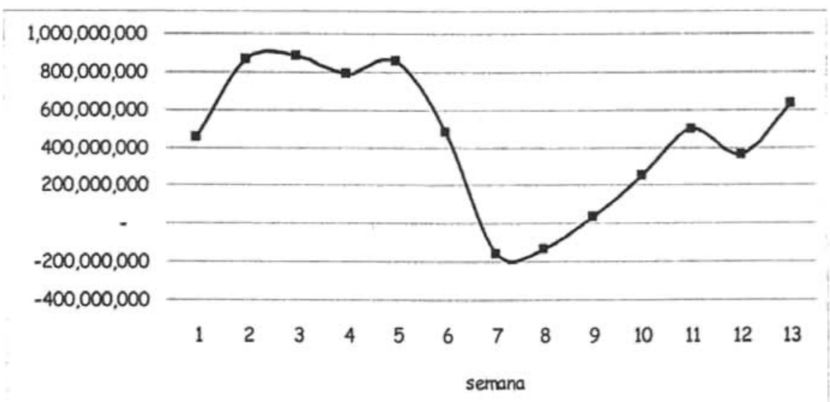
Gráfica 10

Se calculó el portafolio con $f(S_{i+1}, r_i, \sigma_i)$ +cobertura con futuros$_i$ y $f(S_i, r_i, \sigma_i)$ +cobertura en futuros$_i$. Ver Tabla 27.

Valor del Portafolio P2	futuros Si	P2+futuros P2	Valor del Portafolio en Si+1	Si+1+futuros Si+1	Diferencias
374,458,437	(35,270)	374,423,166	(80,197,631)	(80,232,902)	454,656,068
525,799,201	(61,582)	525,737,619	(336,284,596)	(336,354,075)	862,091,694
573,401,665	(67,446)	573,334,219	(312,616,063)	(312,676,352)	886,010,571
500,285,052	(47,010)	500,238,042	(287,110,281)	(287,156,770)	787,394,812
549,725,944	(42,452)	549,683,492	(306,472,561)	(306,515,797)	856,199,289
330,425,594	66,172	330,491,766	(148,277,653)	(148,201,833)	478,693,599
17,387,441	71,135	17,458,576	171,891,518	171,962,661	(154,504,085)
25,697,292	73,559	25,770,851	154,352,865	154,431,037	(128,660,186)
107,756,682	89,281	107,845,963	75,857,844	75,945,276	31,900,687
205,092,327	100,459	205,192,786	(50,396,466)	(50,295,667)	255,488,453
82,499,699	42,146	82,541,845	(417,130,315)	(417,088,261)	499,630,106
86,167,603	241,935	86,409,538	(276,774,106)	(276,566,254)	362,975,791
432,895,120	512,319	433,407,439	(198,181,608)	(197,605,447)	631,012,886

Tabla 27

La última columna llamada "Diferencias" es para identificar cuanto ha variado de $f(S_i, r_i, \sigma_i)$ +cobertura en futuros$_i$ a $f(S_{i+1}, r_i, \sigma_i)$ +cobertura con futuros$_i$. Ver Gráfica 11.



Gráfica 11

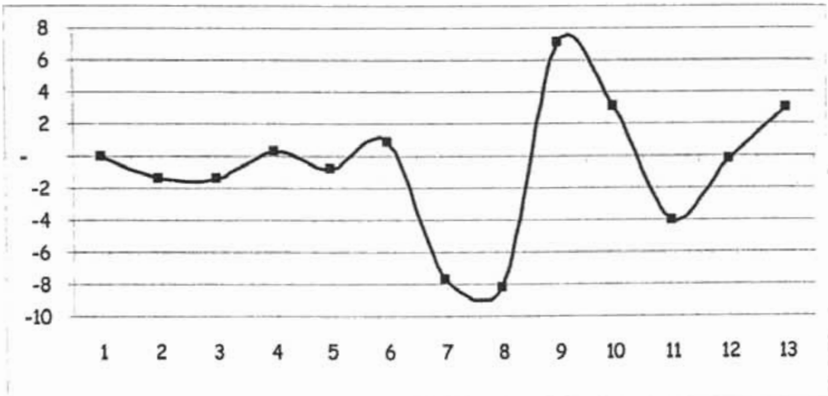
La Gráfica 11 nos muestra que aunque se realizó la cobertura con futuros sigue afectando el precio de ejercicio S_i al valor del portafolio prácticamente en todas las semanas.

Se calcularon ambos portafolios ($f(S_{i+1},r_i,\sigma_i)$ y $f(S_i,r_i,\sigma_i)$) por número de títulos de cada futuro para identificar si esos títulos contribuyen a la sensibilidad de la variación en el valor del portafolio con respecto al precio de ejercicio S_i. Ver Tabla 28.

# Títulos FuturosSi	preciofuturo Si+1*títulos futuro Si	preciofuturo Si*títulos futuro Si	Diferencias Títulos	diferencia portafolios Si+1-Si
(3,527)	(3,473)	(3,473)	-	(454,656,068)
(6,158)	(3,474)	(6,066)	(1.389)	(710,743,033)
(6,745)	(6,067)	(6,645)	(1.365)	(838,415,264)
(4,701)	(6,645)	(4,631)	0.332	(860,511,946)
(4,245)	(4,632)	(4,183)	(0.811)	(806,757,613)
6,617	(4,182)	6,519	0.941	(698,003,597)
7,113	6,511	6,999	(7.655)	(158,534,075)
7,356	6,991	7,229	(8.219)	136,965,424
8,928	7,236	8,783	7.052	50,160,552
10,046	8,786	9,886	3.075	(158,153,147)
4,215	9,882	4,146	(3.954)	(622,222,642)
24,194	4,146	23,798	(0.207)	(359,273,805)
51,232	23,801	50,401	2.975	(284,349,211)

Tabla 28

Graficando únicamente las diferencias entre el valor de los títulos de la Tabla 28 (Diferencias Títulos). Se muestra que en la semana 2 y 3 se observa la venta de títulos. En la semana 4, se observa una adquisición de títulos. En la semana 5, venta de títulos. En la semana 6 compra; en la 7 y 8, hubo venta; en la 9 y 10, compra. En la 11, compra; en la 12 y 13 venta. Esto debido a que este portafolio se utilizó para crear un portafolio delta neutral. Ver Gráfica 12.



Gráfica 12

2. Variaciones de la volatilidad

Valuando el portafolio P2 con la función $f(S_i, r_i, \sigma_{i+1})$ para analizar si el valor del portafolio es afectado por la volatilidad. Ver Tabla 29.

Semana	Precios			Total Portafolio Sigmai+1
	put21	call21	put22	
1	293	778	381	(80,197,631)
2	273	1104	168	(154,230,504)
3	222	1166	191	(293,657,652)
4	243	982	196	(398,903,884)
5	269	1008	194	(302,019,869)
6	460	777	409	(572,157,555)
7	800	482	787	7,972,506
8	689	478	672	194,665,976
9	558	606	514	204,969,728
10	450	666	408	45,120,894
11	296	827	251	(171,935,626)
12	489	686	394	(577,390,994)
13	391	553	379	(471,703,045)

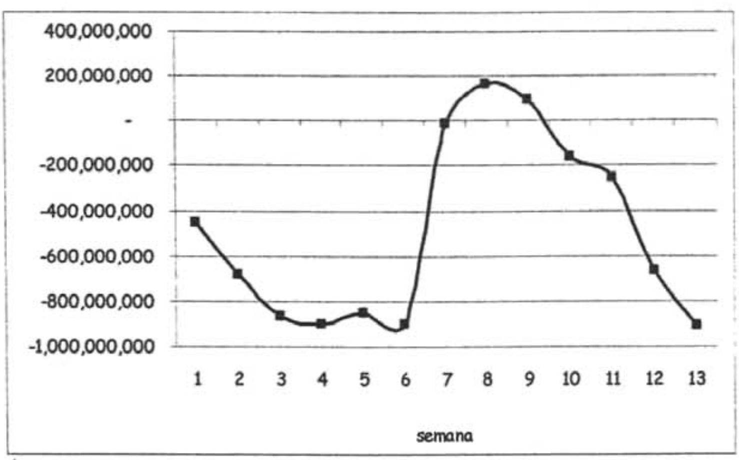
Tabla 29

Asimismo, se calculó la diferencia del portafolio P2 valuado en $f(S_i, r_i, \sigma_{i+1})$ y $f(S_i, r_i, \sigma_i)$. Ver Tabla 30.

Semana	Total Portafolio Sigmai+1	Total Portafolio Si	Diferencias
1	(80,197,631)	374,458,437	(454,656,068)
2	(154,230,504)	525,799,201	(680,029,705)
3	(293,657,652)	573,401,665	(867,059,317)
4	(398,903,884)	500,285,052	(899,188,936)
5	(302,019,869)	549,725,944	(851,745,813)
6	(572,157,555)	330,425,594	(902,583,149)
7	7,972,506	17,387,441	(9,414,935)
8	194,665,976	25,697,292	168,968,684
9	204,969,728	107,756,682	97,213,047
10	45,120,894	205,092,327	(159,971,433)
11	(171,935,626)	82,499,699	(254,435,325)
12	(577,390,994)	86,167,603	(663,558,597)
13	(471,703,045)	432,895,120	(904,598,165)

Tabla 30

Esta diferencia es para medir la variación de $f(S_i,r_i,\sigma_i)$ a $f(S_i,r_i,\sigma_{i+1})$ semanalmente; observándose que solamente en la semana 7 fue nula la variación. Ver Gráfica 13.



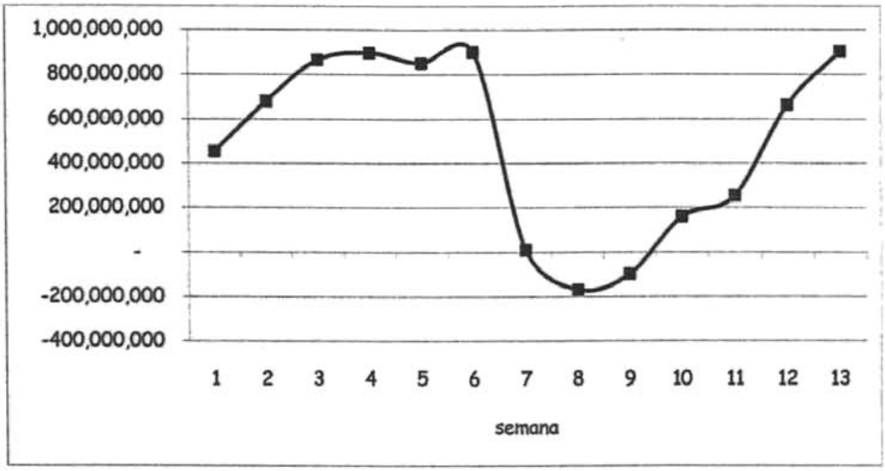
Gráfica 13

Adicionalmente se calculó el portafolio con $f(S_i,r_i,\sigma_{i+1})$ +cobertura con futuros$_i$ y $f(S_i,r_i,\sigma_i)$ +cobertura en futuros$_i$. Ver Tabla 31.

Valor del Portafolio P2	futurosi	P2+futuros P2	Valor del Portafolio en Sigmai+1	Sigmai+1+futurosi+1	Diferencias
374,458,437	(35,270)	374,423,166	(80,197,631)	(80,232,902)	454,656,068
525,799,201	(61,582)	525,737,619	(154,230,504)	(154,259,582)	679,997,201
573,401,665	(67,446)	573,334,219	(293,657,652)	(293,726,729)	867,060,947
500,285,052	(47,010)	500,238,042	(398,903,884)	(398,964,884)	899,202,925
549,725,944	(42,452)	549,683,492	(302,019,869)	(302,060,670)	851,744,161
330,425,594	66,172	330,491,766	(572,157,555)	(572,191,460)	902,683,226
17,387,441	71,135	17,458,576	7,972,506	7,954,054	9,504,522
25,697,292	73,559	25,770,851	194,665,976	194,763,733	(168,992,882)
107,756,682	89,281	107,845,963	204,969,728	205,125,593	(97,279,631)
205,092,327	100,459	205,192,786	45,120,894	45,254,840	159,937,946
82,499,699	42,146	82,541,845	(171,935,626)	(171,825,920)	254,367,765
86,167,603	241,935	86,409,538	(577,390,994)	(577,248,274)	663,657,812
432,895,120	512,319	433,407,439	(471,703,045)	(471,171,766)	904,579,205

Tabla 31

La última columna llamada "Diferencias" es para identificar cuanto ha variado de $f(S_i,r_i,\sigma_i)$ +cobertura en futuros$_i$ a $f(S_i,r_i,\sigma_{i+1})$ +cobertura con futuros$_i$. En la Gráfica 14 se puede observar las variaciones del portafolio. En la semana 7 se reitera nula variación.



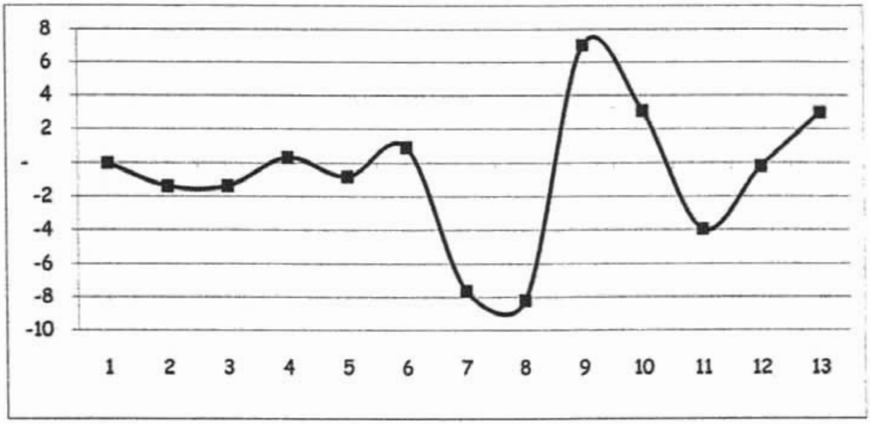
Gráfica 14

Por último, se calcularon dos portafolios ($f(S_i, r_i, \sigma_{i+1})$ y $f(S_i, r_i, \sigma_i)$) por número de títulos de cada futuro para identificar si la variación en la volatilidad contribuye a la variación del valor del portafolio. Ver Tabla 32.

# Títulos Futuroi	preciofuturoi+1 *títulos futuroi	preciofuturo i*títulos futuroi	Diferencias Títulos	diferencia portafolios i+1-i
(3,527)	(3,473)	(3,473)	-	(454,656,068)
(6,158)	(3,474)	(6,066)	(1.389)	(528,688,941)
(6,745)	(6,067)	(6,645)	(1.365)	(819,456,853)
(4,701)	(6,645)	(4,631)	0.332	(972,305,549)
(4,245)	(4,632)	(4,183)	(0.811)	(802,304,922)
6,617	(4,182)	6,519	0.941	(1,121,883,499)
7,113	6,511	6,999	(7.655)	(322,453,088)
7,356	6,991	7,229	(8.219)	177,278,535
8,928	7,236	8,783	7.052	179,272,436
10,046	8,786	9,886	3.075	(62,635,787)
4,215	9,882	4,146	(3.954)	(377,027,953)
24,194	4,146	23,798	(0.207)	(659,890,693)
51,232	23,801	50,401	2.975	(557,870,648)

Tabla 32

En la Gráfica 15 se muestra que la diferencia de la cobertura con futuros es casi 0 durante las semanas 1 a la 5, pero a partir de la semana 6 las diferencias son más notables.



Gráfica 15

3. Variaciones de la tasa de interés

Se valúa el portafolio P_2 con la función $f(S_i, r_{i+1}, \sigma_i)$ mostrando los resultados en la Tabla 34.

Semana	Precios			Total Portafolio i+1
	put21	call21	put22	
1	293	778	381	374,458,437
2	273	1104	168	525,799,201
3	222	1166	191	573,401,665
4	243	982	196	500,285,052
5	269	1008	194	549,725,944
6	460	777	409	330,425,594
7	800	482	787	17,387,441
8	689	478	672	25,697,292
9	558	606	514	107,756,682
10	450	666	408	205,092,327
11	296	827	251	82,499,699
12	489	686	394	86,167,603
13	391	553	379	432,895,120

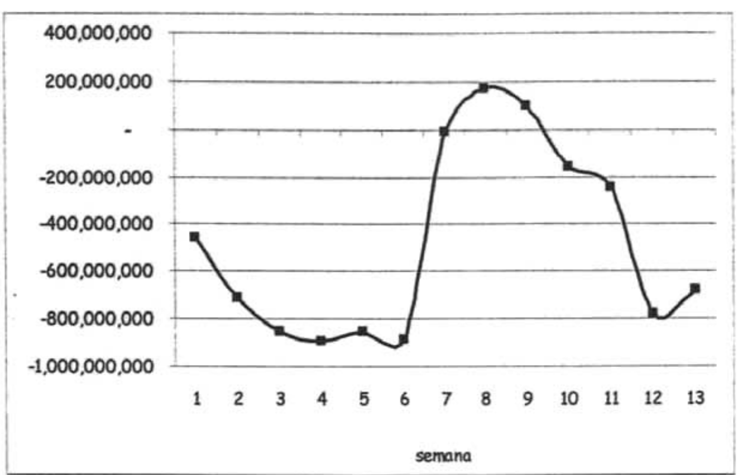
Tabla 34

Asimismo, se calculó la diferencia entre el portafolio P_2 valuado en $f(S_i, r_{i+1}, \sigma_i)$ y $f(S_i, r_i, \sigma_i)$. Ver Tabla 35.

Semana	Total Portafolio i+1	Total Portafolioi	Diferencias
1	(80,197,631)	374,458,437	(454,656,068)
2	(185,519,447)	525,799,201	(711,318,648)
3	(276,705,982)	573,401,665	(850,107,647)
4	(394,530,705)	500,285,052	(894,815,757)
5	(304,106,859)	549,725,944	(853,832,803)
6	(553,525,800)	330,425,594	(883,951,394)
7	8,331,537	17,387,441	(9,055,905)
8	195,462,812	25,697,292	169,765,520
9	209,637,288	107,756,682	101,880,607
10	48,218,759	205,092,327	(156,873,568)
11	(161,667,551)	82,499,699	(244,167,250)
12	(689,951,176)	86,167,603	(776,118,778)
13	(242,505,495)	432,895,120	(675,400,615)

Tabla 35

Esta diferencia es para medir la variación de $f(S_i, r_i, \sigma_i)$ a $f(S_i, r_{i+1}, \sigma_i)$ semanalmente. En la Gráfica 16, se observa como la tasa de interés afecta de manera notable el valor del portafolio.



Gráfica 16

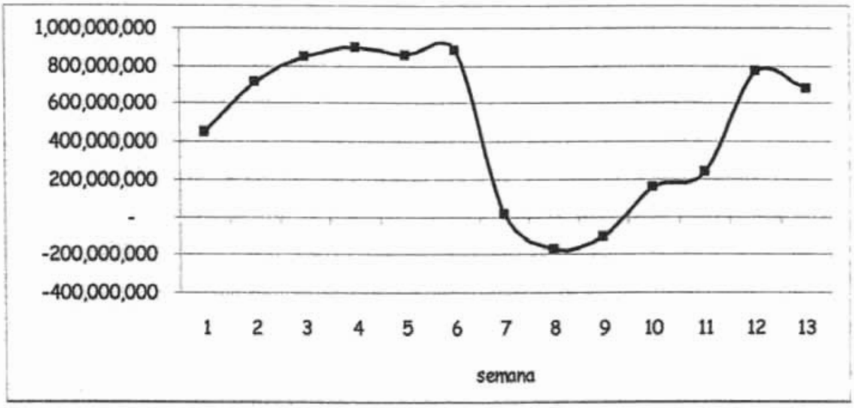
Adicionalmente se calculó el portafolio con $f(S_i, r_{i+1}, \sigma_i)$ +cobertura con futuros$_i$ y $f(S_i, r_i, \sigma_i)$ +cobertura en futuros$_i$. Ver Tabla 36.

Valor del Portafolio P2	futurosi	P2+futuros P2	Valor del Portafolio eni+1	tasai+1+futurosi+1	Diferencias
374,458,437	(35,270)	374,423,166	(80,197,631)	(80,232,902)	454,656,068
525,799,201	(61,582)	525,737,619	(185,519,447)	(185,557,536)	711,295,155
573,401,665	(67,446)	573,334,219	(276,705,982)	(276,767,607)	850,101,826
500,285,052	(47,010)	500,238,042	(394,530,705)	(394,591,265)	894,829,307
549,725,944	(42,452)	549,683,492	(304,106,859)	(304,148,121)	853,831,613
330,425,594	66,172	330,491,766	(553,525,800)	(553,549,061)	884,040,827
17,387,441	71,135	17,458,576	8,331,537	8,312,078	9,146,498
25,697,292	73,559	25,770,851	195,462,812	195,563,394	(169,792,544)
107,756,682	89,281	107,845,963	209,637,288	209,790,132	(101,944,169)
205,092,327	100,459	205,192,786	48,218,759	48,354,386	156,838,400
82,499,699	42,146	82,541,845	(161,667,551)	(161,555,734)	244,097,580
86,167,603	241,935	86,409,538	(689,951,176)	(689,841,580)	776,251,117
432,895,120	512,319	433,407,439	(242,505,495)	(241,909,117)	675,316,556

Tabla 36

La última columna de la Tabla 36 llamada "Diferencias" es para identificar cuanto ha variado de $f(S_i, r_i, \sigma_i)$ +cobertura en futuros$_i$ a $f(S_i, r_{i+1}, \sigma_i)$ +cobertura con futuros$_i$.

En la Gráfica 17 se observa que el valor del portafolio, aún con una cobertura de futuros, es muy alta a excepción de la semana 7 que es nula.



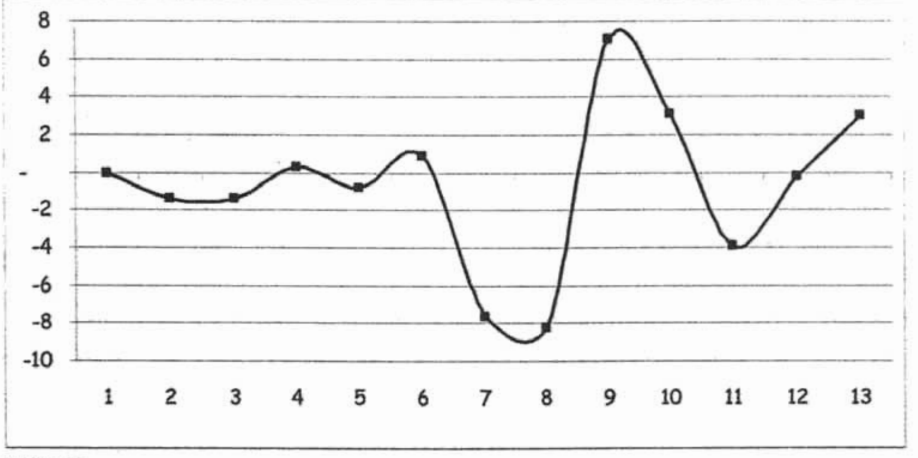
Gráfica 17

Se calcularon dos portafolios ($f(S_i,r_i,\sigma_i)$ y $f(S_i,r_{i+1},\sigma_i)$) por número de títulos de cada futuro para identificar si esos títulos contribuyen a la variación del valor del portafolio. Ver Tabla 37.

# Títulos Futurosi	preciofuturo i+1*titulos futuroi	preciofuturo i*titulos futuroi	Diferencias Títulos	diferencia portafolios i+1-i
(3,527)	(3,473)	(3,473)	-	(454,656,068)
(6,158)	(3,474)	(6,066)	(1.389)	(559,977,884)
(6,745)	(6,067)	(6,645)	(1.365)	(802,505,182)
(4,701)	(6,645)	(4,631)	0.332	(967,932,370)
(4,245)	(4,632)	(4,183)	(0.811)	(804,391,911)
6,617	(4,182)	6,519	0.941	(1,103,251,744)
7,113	6,511	6,999	(7.655)	(322,094,057)
7,356	6,991	7,229	(8.219)	178,075,371
8,928	7,236	8,783	7.052	183,939,996
10,046	8,786	9,886	3.075	(59,537,923)
4,215	9,882	4,146	(3.954)	(366,759,878)
24,194	4,146	23,798	(0.207)	(772,450,875)
51,232	23,801	50,401	2.975	(328,673,098)

Tabla 37

En la Gráfica 18 se muestra las diferencias entre el valor de los títulos de la Tabla 37. Se observa la variación es casi nula.



Gráfica 18

Conclusiones

Como se mencionó anteriormente, el inicio de operaciones del Mercado Mexicano de Derivados constituye uno de los avances más significativos en el proceso de desarrollo e internacionalización del Sistema Financiero Mexicano, ya que no hubiera sido posible enfocar el trabajo hacia nuestro sistema financiero.

"Las Griegas", utilizadas en este trabajo para presentar un sistema dinámico de cobertura de un portafolio de opciones en el mercado mexicano, permitió eficientemente controlar y administrar los riesgos a los cuales se encuentran expuestos los mercados financieros, así como para optimizar el rendimiento del portafolio. Ya que se pudo construir una posición en las opciones tal que cada movimiento en el precio del mercado queda perfectamente anulado por otro movimiento en la opción.

Es importante mencionar que en este caso específico se utilizó como ejemplo las opciones emitidas en el Mercado Mexicano de Derivados, pero en un caso mas general, "Las Griegas" son útiles para la medición de los diferentes riesgos a los que está expuesto un portafolio de opciones en cualquier mercado de opciones del mundo.

Finalmente es importante aclarar la importancia de la confiabilidad de la información, ya que la veracidad de las metas y de los tiempos dependen de la calidad de la información. Pero esto es una característica no solo de este trabajo sino que es una conclusión que se debe cuidar en todo trabajo de investigación.

Notas

[1] De Lara Haro, Alfonso. Medición y control de riesgos financieros. Limusa-Noriega, 2001, pp. 17
[2] De Lara Haro, Alfonso. Medición y control de riesgos financieros, Limusa-Noriega, 2001, pp. 18
[3] De Lara Haro, Alfonso. Medición y control de riesgos financieros, Limusa-Noriega, 2001, pp. 20
[4] Hull, John, Options, Introducción a los Mercados de Futuros y Opciones, Pretince Hall, 2002, pp. 286
[5] Margalef-Roig, Juan, Miret-Artes, Salvador, Cálculo estocástico aplicado a las finanzas: Precio de las opciones según el modelo Black-Scholes-Merton y algunas generalizaciones, pp. 302
[6] Hull, John, Options, Introducción a los Mercados de Futuros y Opciones, Pretince Hall, 2002, pp. 350
[7] Hull, John, Options, Introducción a los Mercados de Futuros y Opciones, Pretince Hall, 2002, pp. 344
[8] Hull, John, Options, Introducción a los Mercados de Futuros y Opciones, Pretince Hall, 2002, pp. 363

Bibliografía

Aragones, José Ramón, Blanco Carlos
Valor en Riesgo, aplicación a la gestión empresarial
Ed. Pirámide
Madrid, 2000

Butler, Cormac
Mastering Value at Risk, A step-by-step guide to understanding and applying VaR
Ed. Pretince Hall
Inglaterra, 1999

De Lara, Alfonso
Medición y Control de Riesgos Financieros
Ed. Limusa
México, 2001

Dowd, Kevin
Beyond Value at Risk
Ed. Jonh Wiley & Sons
Nueva York, 1999

Heyman, Timothy
Inversión en la Globalización, Análisis y Administración de las nuevas inversiones mexicanas
Ed. ITAM, Bolsa Mexicana de Valores, Milenio, Instituto Mexicano de Ejecutivos de Finanzas
México,1998

Hull, John
Optios, Futures & Other Derivatives
Ed. Pretince Hall
Canada, 2000

Jorion, Philippe
Valor en Riesgo
Ed. Limusa
México,1999

Sánchez Cerón, Carlos
Valor en Riesgo y otras aproximaciones
Ed. Valuación, Análisis y Riesgos, S.C.
México, 2001