

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY

CAMPUS CIUDAD DE MÉXICO



METODOLOGIA DE DETERMINACIÓN DE MÁRGENES PARA
PORTAFOLIOS DE CONTRATOS DERIVADOS

DOCTORADO EN CIENCIAS FINANCIERAS

TESIS PRESENTADA POR

JAIME DIAZ TINOCO

DIRECTOR

DR. FRANCISCO VENEGAS MARTÍNEZ

CO-DIRECTOR

DR. IGOR RIVERA GONZÁLEZ

LECTORES

DR. JOSE ANTONIO NUÑEZ MORA

DR. FERNANDO CRUZ ARANDA



TECNOLÓGICO
DE MONTERREY

ENERO 2008

Biblioteca
Campus Ciudad de México

Resumen

En el presente trabajo se desarrolla el modelo de marginación que se ha venido implementando en Asigna, Compensación y Liquidación para cubrir el riesgo que asume como Contraparte de las operaciones que con Productos Derivados se realizan en el Mercado Mexicano de Derivados. Se desarrollan los Modelos de Valuación, tanto para Futuros como para Opciones, utilizados para la determinación de precios de estos productos, así como la forma en que se estiman y/o calcular. cada uno de los parámetros requeridos y su respectiva fuente de información.

Se describe de manera detallada el algoritmo utilizado para determinar el margen considerando cada uno de los componentes de éste. Se ilustra con diferentes ejemplos de portafolios con precios e información de mercado disponible a la fecha en que se desarrolla el trabajo.

De igual forma, se desarrolla un ejercicio de Evaluación en Retrospectiva de los cálculos de margen y se plantea una agenda de investigación sobre la que se puede trabajar en este tema.

Índice

1. Introducción	6
2. El papel de los Márgenes Iniciales en los Esquemas de Administración de Riesgos de las Contrapartes Centrales.....	9
2.1 Salvaguardas Financieras.....	10
2.2 El Papel de los Márgenes Iniciales	12
3. Valuación de Contratos Derivados.	19
3.1 Contratos de Futuro.....	19
3.2 Contratos de Opción	23
4. Parámetros Generales del Modelo de Marginación	43
4.1 Variación Máxima Esperada.....	43
4.2 Grupos Clase y Grupos Producto.....	48
4.3 Parámetro de Margen por Posiciones Opuestas.....	49
4.4 Parámetro de Margen por Entrega	51
4.5 Margen Mínimo para Opciones Cortas.....	52
5. La Medición del Riesgo de Contratos Derivados a través de un Modelo de Marginación.	53
5.1 Margen por Riesgo para Contratos de Futuro.....	54
5.2 Margen Opuesto para Contratos de Futuro	57
5.3 Margen por Entrega para Contratos de Futuro	58
5.4 Margen Total para Contratos de Futuro	59
5.5 Aplicación de Metodología a Contratos de Futuro	61
5.6 Margen por Prima para Contratos de Opción	65
5.7 Margen por Riesgo para Contratos de Opción.....	68
5.8 Margen por Entrega para Contratos de Opción	72
5.9 Margen Total para Contratos de Opción.....	74
5.10 Aplicación de Metodología a Contratos de Opción.....	76
6. Evaluación de Eficiencia y Cobertura.....	82
7. Conclusiones	97
8. Bibliografía.	100

Índice de Gráficas

Gráfica 6.1 <i>Back Testing</i> del Contrato de Futuro sobre el IPC con vencimiento a 3 meses	85
Gráfica 6.2 <i>Back Testing</i> del Contrato de Futuro sobre el IPC con vencimiento a 6 meses	85
Gráfica 6.3 <i>Back Testing</i> del Contrato de Futuro sobre el IPC con vencimiento a 9 meses	86
Gráfica 6.4 <i>Back Testing</i> del Contrato de Futuro sobre el IPC con vencimiento a 12 meses	87
Gráfica 6.5 <i>Back Testing</i> del Contrato de Futuro sobre el Dólar con vencimiento a 3 meses	89
Gráfica 6.6 <i>Back Testing</i> del Contrato de Futuro sobre el Dólar con vencimiento a 6 meses	89
Gráfica 6.7 <i>Back Testing</i> del Contrato de Futuro sobre el Dólar con vencimiento a 9 meses	90
Gráfica 6.8 <i>Back Testing</i> del Contrato de Futuro sobre el Dólar con vencimiento a 12 meses	90
Gráfica 6.9 Análisis de Cobertura y Eficiencia para un Portafolio de Futuros y Opciones	96

1. Introducción

La impredecible y creciente volatilidad en los mercados financieros ha impulsado el desarrollo de instrumentos que actúan como seguros contra contingencias financieras. El precio de dichos instrumentos se deriva de subyacentes tales como: divisas, tasas, acciones e índices bursátiles, lo que justifica el término común de “derivados”. Actualmente, dichos productos derivados son negociados en los mercados sobre mostrador, también denominados OTC (“*over the counter*”), y en los mercados organizados y reconocidos por las autoridades financieras y fiscales (bolsas de derivados). Existen diferencias significativas entre estos mercados: el primero ofrece derivados hechos a la medida, en términos del tamaño del contrato y la fecha de vencimiento, y el segundo, ofrece derivados estandarizados que se liquidan todos los días. La característica común es, por supuesto, que el precio se determina por la oferta y la demanda por dichos instrumentos.

Ante tal contexto, la figura de Contraparte Central, la cual garantiza el cumplimiento de las obligaciones adquiridas por los participantes en un mercado, ha tomado cada vez mayor importancia para los mercados de derivados y el sistema financiero internacional en su conjunto. Lo anterior se ha visto reflejado en aspectos como la diversificación de sus servicios hacia nuevos mercados y productos, el crecimiento de los mercados financieros para los cuales proveen sus servicios y la cuantiosa participación de organismos financieros internacionales, entidades gubernamentales, integrantes de la comunidad académica y los propios mercados financieros y Cámaras de Compensación en la elaboración y difusión de recomendaciones internacionales, metodologías, estudios comparativos, documentos de investigación, manuales técnicos y foros de análisis en materia de Contrapartes Centrales.

Los procedimientos de administración de riesgo de las Cámaras de Compensación han significado el principal instrumento para proveer cobertura a los participantes en los mercados de derivados. En este aspecto, el cálculo de márgenes iniciales significa uno de los principales mecanismos de administración de riesgo para las Cámaras de

Compensación, ya que consiste en desarrollar mecanismos de garantías, los cuales son determinados diariamente tomando en consideración, principalmente, la exposición al riesgo crédito de los participantes en el mercado.

A diferencia de otras metodologías con sustento teórico empleadas en el campo de las finanzas empíricas, los modelos para determinar márgenes iniciales tienen su origen en el interior de los propios mercados o Cámaras de Compensación, por lo que su análisis y evaluación científica ha sido posterior a su implementación formal en el terreno empírico¹. En este sentido, Mercados de Derivados y Cámaras de Compensación como: Options Clearing Corporation (OCC), Chicago Mercantile Exchange (CME), Asigna, Compensación y Liquidación, StockholmBorsen, Cassa de Compensazione e Garanza (CC&G), London Clearing House (LCH), Australian Stock Exchange (ASX) y Eurex, han realizado esfuerzos importantes para difundir las metodologías de marginación utilizadas en sus respectivos contextos².

Aunque la importancia de los márgenes iniciales para los mercados ha sido ampliamente evaluada desde principios de la década de los ochenta con trabajos como los de Telser (1981), Anderson (1981), Hartzmark (1986), Kalavathi y Shanker (1991), y Hardouvelis y Kim (1995), donde se examina el impacto de los márgenes en la liquidez de los mercados, así como en las aportaciones de Fenn y Kupiec (1993), Baer, France y Moser (1996) y Day y Lewis (1999), los cuales desarrollan e implementan modelos teóricos para determinar márgenes iniciales. La evaluación científica e integral de las metodologías de marginación desarrolladas por los mercados y Cámaras de Compensación aún se puede calificar de incipiente. Considerando lo anterior, Bylund (2002), realiza un análisis detallado de las características fundamentales de tres distintas metodologías de marginación.

¹ No obstante emplear supuestos y técnicas de teoría de portafolio como sustento, la concepción de las metodologías de marginación se desarrollo en su totalidad en los mercados o Cámaras de Compensación.

² Cada una de las entidades financieras citadas cuenta con un manual detallado sobre su metodología de marginación. Para el caso de México, Asigna utiliza el modelo TIMS desarrollado por The Options Clearing Corporation y dueña de los derechos.

En otra dinámica, Russo (2000) realiza una aproximación del modelo de marginación empleado por la Cámara de Compensación del mercado italiano hacia instrumentos del mercado “*over the counter*” como “*interest rate swaps*”. Por otra parte, Díaz y Venegas (2004) exponen en su trabajo la determinación de uno de los componentes fundamentales de la metodología de marginación empleada por la Cámara de Compensación del Mercado Mexicano de Derivados, asimismo efectúan un ejercicio que en términos generales permite eficientar el cálculo del citado componente.

En términos descriptivos, Dale (1998) efectúa un comparativo de los principales procedimientos de administración de riesgos, incluyendo las metodologías de marginación empleadas por las Contrapartes Centrales en los Estados Unidos.

En este contexto, el presente trabajo tiene como objetivo analizar y profundizar en el modelo de marginación para la Cámara de Compensación (Asigna, Compensación y Liquidación) del Mercado Mexicano de Derivados; plantear y resolver los problemas de valuación de los distintos productos derivados que se incorporan en los portafolios; proporcionar alternativas de estimación de los diferentes parámetros que se incorporan en el proceso de marginación; así como efectuar un análisis sistemático sobre la administración de márgenes y de riesgos de una Cámara de Compensación de derivados. En este sentido, la presente investigación se encuentra organizada de la siguiente manera. En la siguiente sección, se incorpora una inspección a los principales mecanismos de administración de riesgos de la Cámara de Compensación y se realiza una aproximación a la importancia de los márgenes iniciales para dichos mecanismos. En la sección 3, se detalla los métodos de valuación de contratos derivados de futuro y contratos derivados de opción y las fuentes de información que se utilizan. En las secciones 4 y 5 se presenta los parámetros básicos y el análisis detallado del funcionamiento del modelo de marginación, incluyendo casos prácticos de su aplicación a portafolios de futuros y opciones, de igual forma se señala la forma en que estos son calculados o en su caso, estimados. En la sección 7, se incorpora la conclusión al presente estudio y los retos que en investigación se encuentran abiertos en esta rama. Todas las referencias bibliográficas consultadas, se incorporan en la sección 8.

2. El papel de los Márgenes Iniciales en los Esquemas de Administración de Riesgos de las Contrapartes Centrales.

Desde su implementación, la función principal de las Cámaras de Compensación ha sido el control y mitigación del riesgo crédito asociado con las transacciones en mercados de derivados organizados. Las Contrapartes Centrales cumplen con el objetivo principal de mitigar el riesgo crédito, compensando y liquidando todas las obligaciones derivadas de las transacciones efectuadas³. Así, dado que “las Cámaras se convierten en la Contraparte de cada una de las transacciones efectuadas en el mercado”⁴, éstas han apuntalado el crecimiento de los mercados de derivados, otorgando solidez y certidumbre a cada una de las operaciones. La confianza otorgada a los mercados de derivados ha hecho de las Cámaras de Compensación entidades sólidas con alta calidad crediticia y credibilidad importante, lo cual ha permitido a la gran mayoría de las Contrapartes Centrales expandir su horizonte de operaciones hacia nuevos mercados y productos, por ejemplo, las Cámaras de Londres (LCH) y Estocolmo (Stockholmborsen Clearing) en Europa y Brasil (BM&FC) en América Latina, han sido pioneras en la expansión de operaciones hacia mercados de derivados a la medida (*over the counter, OTC*).

Por estos motivos, la administración de riesgos en las Cámaras se ha convertido en un proceso cada vez más complejo, lo cual ha despertado desde hace varios años el interés de diversos organismos financieros internacionales, resultando en una serie de iniciativas que resaltan la importancia para las Contrapartes Centrales de establecer mecanismos de administración de riesgos que permitan controlar de manera eficaz los riesgos asociados con las operaciones en mercados de derivados organizados y extra bursátiles. En ésta dirección, la instrumentación de propuestas y recomendaciones se ha intensificado desde el colapso de Barings⁵ en el año de 1995, destacando como las de mayor trascendencia la declaración de Windsor sobre procedimientos en caso de incumplimiento y cooperación

³“La Compensación es un elemento fundamental para los mercados de derivados, ya que si los productos derivados no pueden ser compensados pierden liquidez y parte de su atractivo para los participantes en el mercado” Hills Bob and Rule David (1999). *Central Counterparty Clearing Houses and Financial Stability*. Bank of England. pp 125.

⁴ Moser James (1994). “Origins of the Modern Exchange Clearing House”, *Working Paper, Federal Reserve Bank of Chicago*.

⁵ Sobre todo el intercambio de información entre mercados, concentración de posiciones, supervisión y evaluación de la exposición de los miembros.

entre los mercados, formulada en mayo de 1995 por el Comité de Basilea y la Organización Internacional de Comisiones de Valores (IOSCO por sus siglas en ingles); los Acuerdos para Derivados negociados en mercados organizados, instrumentados por el Comité de Basilea en el año de 1997; los Estándares utilizados por las Cámaras de Compensación para la Gestión de Riesgos, publicados en el año de 2001 por la Asociación Europea de Cámaras de Compensación (EACH por sus siglas en ingles). La más reciente publicación “Recommendations for Centralcounterparties”⁶, formulada conjuntamente por IOSCO y el Comité de Basilea, concentra las recomendaciones para la instrumentación de esquemas en materia de procedimientos y mecanismos de administración de riesgos realizadas anteriormente e incorpora nuevas propuestas en dicha materia.

De acuerdo al estudio World’s Clearing Houses 2004, “La administración de riesgos se ha convertido en un punto cada vez más crítico para las Cámaras y los mercados financieros, ya que la expansión de los mercados ha incrementado la complejidad y tamaño de los riesgos, por lo que la habilidad para medir y controlarlos demanda adaptación a los cambios gestados en el entorno internacional en los últimos años”⁷.

Bajo esta perspectiva, en el presente apartado se realiza una exploración exhaustiva de las principales técnicas de administración de riesgos empleadas por las Cámaras de Compensación, enfocándose particularmente en los esquemas de salvaguardas financieras, por representar estos la principal fuente de solidez y certidumbre para dichas entidades.

2.1 Salvaguardas Financieras.

Las salvaguardas financieras de las Cámaras de Compensación incorporan tres elementos fundamentales, en primer lugar, los miembros deben contar con un capital mínimo requerido. La instrumentación de requerimientos financieros de participación que

⁶ Bank for International Settlements. “Recommendations for Central Counterparties”. BIS. November 2004. pp. 1-73

⁷ FOW (2004). “The World’s Clearing Houses”. *FOW*.

garanticen la solvencia financiera de los miembros de las Cámaras, ha representado una de las principales fuentes de protección para las Contrapartes Centrales, permitiendo minimizar significativamente el riesgo de incumplimiento por parte de alguno de los participantes en el mercado. De acuerdo con la empresa calificadora Standard and Poor's, "La primera línea de defensa de una Cámara de Compensación es la calidad crediticia de sus participantes"⁸.

En segundo término, las Contrapartes Centrales cuentan con un régimen de márgenes iniciales, los cuales se estructuran bajo el supuesto del costo de neutralizar de manera inmediata un portafolio. Por este motivo, los requerimientos de margen simulan el costo máximo neutralización durante una estructura de tiempo dada (generalmente un día). De manera tal que la metodología utilizada para calcular los márgenes iniciales tiene la difícil tarea de determinar la exposición al riesgo de cada uno de los portafolios en el mercado, pero además encontrar el balance adecuado entre cobertura y liquidez, dado que la estimación de márgenes excesivos puede deteriorar la liquidez del mercado.

Las metodologías para determinar los márgenes iniciales en las Cámaras de Compensación, toman en consideración la pérdida máxima que podrían enfrentar los portafolios de los clientes, por lo que la mayor parte de las pérdidas posibles se encuentran cubiertas por los márgenes iniciales, sin embargo, cabe la posibilidad de que los recursos financieros depositados por los miembros sean insuficientes para cubrir las pérdidas asociadas al incumpliendo. Por ésta razón, la totalidad de las Contrapartes Centrales cuenta con salvaguardas financieras adicionales que les permita mitigar las pérdidas no cubiertas por los márgenes iniciales.

Considerando lo anterior, las Cámaras de Compensación cuentan con salvaguardas adicionales, materializadas en fondos de compensación, los cuales están conformados por aportaciones de cada uno de los miembros y tienen la característica principal de mutualizarse entre miembros cumplidos y no cumplidos, lo que significa que en caso de que los márgenes iniciales depositados por un miembro no sean suficientes para cubrir las

⁸ Standard and Poor's (1995). *Financial Institutions Rating Service: Credit Comments*, November 30, p. 230

pérdidas de su incumplimiento, el resto de los miembros participará con una parte de sus aportaciones al fondo de compensación en la mitigación de dichas pérdidas.

2.2 El Papel de los Márgenes Iniciales

La determinación de márgenes iniciales ha representado la principal articulación de los esquemas de salvaguardas financieras. De acuerdo a las recomendaciones para Contrapartes Centrales del Comité de Basilea, “En la práctica, las Cámaras de Compensación pueden relajar sus políticas de requerimientos mínimos y de requerimientos adicionales de capital, debido a que los riesgos asociados al incumplimiento de algún cliente, se pueden mitigar sustancialmente mediante la determinación de un régimen de márgenes iniciales”⁹.

La suficiencia de márgenes iniciales es esencial para cubrir posibles pérdidas derivadas de movimientos extremos en los precios de los subyacentes en un periodo específico de tiempo. Por tal motivo el parámetro fundamental para determinar los márgenes requeridos para un contrato de futuro o un contrato de opción define la posible máxima fluctuación a la alza o a la baja en el precio del activo subyacente para un horizonte de tiempo y considerando un nivel de confianza¹⁰. En este sentido, Díaz y Venegas (2004), resaltan en su investigación que el monto de los márgenes o garantías requeridas a los participantes en el Mercado Mexicano de Derivados se determina considerando que este sea suficiente para cubrir un movimiento de hasta 3.5 veces la desviación estándar.

Considerando una medida de riesgo Ω que resulte del máximo entre los cálculos de los percentiles:

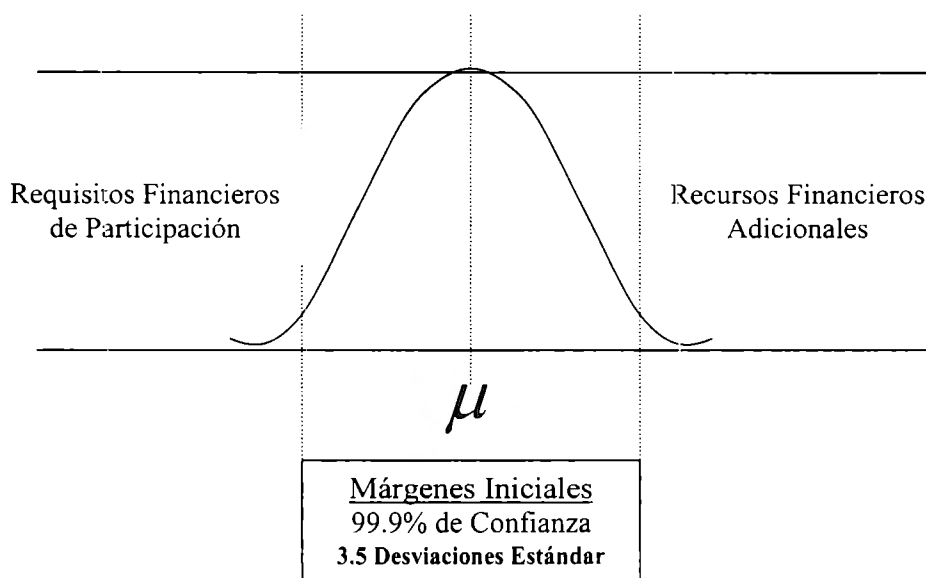
$$\Omega = \max(m_t^{0.001}, m_t^{0.999}) \quad (2.2.1)$$

Se puede contextualizar y destacar la importancia de los márgenes iniciales mediante el siguiente esquema, donde se observa que fundamentalmente, los márgenes iniciales se

⁹ Bank for International Settlements (2004). *Recommendations for Central Counterparties*,. pp. 2.

¹⁰ En la sección “Parámetros Generales del Modelo” se efectúa una discusión más extensiva sobre el factor base, empleado para determinar los requerimientos de márgenes iniciales para contratos derivados.

estructuran con la finalidad de reducir a su mínima expresión la posibilidad de un incumplimiento, otorgando una protección de hasta 3.5 desviaciones estándar, por lo que el propósito fundamental del resto de los recursos que conforman los esquemas de salvaguardas financieras de las Cámaras de Compensación estriba en proveer protección ante movimientos extremos de mercado, fuera de los niveles de confianza establecidos por los márgenes iniciales.



Ante tales circunstancias, el resto de los recursos que componen las salvaguardas financieras, toman como referencia el monto de márgenes iniciales determinados, para fungir como una protección adicional. En este sentido, los requerimientos financieros de participación pueden expresarse a través de la siguiente ecuación:

$$QRp = \max(\Lambda, (IM_i) * (t)) \quad (2.2.2)$$

Donde QRp se refiere a la contribución del participante en el mercado a los requerimientos financieros de participación, y $\max(\Lambda, (IM_i) * (t))$ denota el máximo entre un monto fijo determinado por la Cámara de Compensación y un factor de contribución, el cual multiplicado por los márgenes requeridos para el participante en cuestión,

representa el nivel de cobertura adicional respecto de los márgenes iniciales calculados tomando como base un nivel de confianza del 99.9 por ciento.

Bajo el mismo supuesto, las contribuciones al fondo de compensación o bien recursos financieros adicionales se basan en la exposición de cada uno de los participantes, dicha exposición definida como los requerimientos de márgenes iniciales. Así, la contribución al fondo de compensación se expresa:

$$QCx = \max(\omega, (IM_i) * (t)) \quad (2.2.3)$$

Donde QCx se refiere a la contribución del participante en el mercado al fondo de compensación, y $\max(\omega, (IM_i) * (t))$ denota el máximo entre un monto fijo determinado por la Cámara de Compensación y un factor de contribución, el cual multiplicado por los márgenes requeridos para el participante en cuestión, representa el nivel de cobertura adicional respecto de los márgenes.

Cabe resaltar que a pesar de que la práctica más común para determinar el monto de contribución a los recursos financieros adicionales por parte de los participantes en un mercado de derivados se fundamenta en el criterio expuesto en la ecuación (2.2.3), las recomendaciones internacionales del Comité de Basilea destacan como factor fundamental para implementar esquemas de recursos financieros adicionales eficientes la realización de exámenes de adecuación de recursos. Para cumplir con tal propósito, las Contrapartes Centrales pueden realizar diferentes tipos de pruebas de retrospectivas (*stress testing*)¹¹, las cuales deben contemplar condiciones de mercado “extremas pero verosímiles”, es decir, los espacios de tiempo de mayor volatilidad por los que han atravesado los mercados del país de origen de la Cámara de Compensación.

¹¹ Pruebas en las que se evalúa la respuesta de los recursos financieros de la Cámara ante situaciones extremas de mercado. Estas situaciones extremas pueden ser escenarios creados de manera expresa para este fin y pueden ser referencias de situaciones observadas en crisis locales o exteriores que tuvieron impactos en las variables financieras locales. En la penúltima sección de este trabajo se incluye un análisis retrospectivo (*stress testing*) para tratar de ilustrar el comportamiento real de las variaciones en el valor de algunos derivados y portafolios de estos y la suficiencia de los márgenes calculados con el algoritmo que se desarrolla en este trabajo.

A partir de los resultados de las pruebas de stress, la Cámara debe pronunciarse acerca de su solidez financiera, debiendo considerar como condición mínima de solvencia financiera aquella que le permita cubrir las pérdidas derivadas del incumplimiento del miembro con la mayor exposición en el mercado (Uncovered Risk) bajo condiciones extremas de mercado¹². Así, Contrapartes Centrales como la Companhia Brasileira de Liquidacao e Custodia (CBLC), la Casa di Compensazione e Garanzia (CC&G), la London Clearing House (LCH), la Sydney Futures Exchange Clearing House (SFE) que determinaban su fondo de compensación como un determinado porcentaje del total de las aportaciones iniciales mínimas, han redimensionado sus métodos de formulación del fondo de compensación, adoptando de manera tácita las Recomendaciones del Comité de Basilea e instrumentando la metodología de Riesgo no Cubierto (Uncovered Risk), lo cual significa que el fondo de compensación debe ser equivalente a las pérdidas no cubiertas por los márgenes iniciales en un escenario extremo (escenarios de mayor volatilidad en los mercados de origen de la Cámara).

De acuerdo a la Cassa de Compensazione e Garanza de Italia “Con la finalidad de asegurar la integridad del mercado, aún en eventos de incumplimiento ante condiciones extremas y en concordancia con las mejores prácticas internacionales, el fondo de compensación se determina tomando como base el examen de adecuación de recursos arrojado por pruebas de stress (stress test) y permite cubrir de manera adecuada las pérdidas simuladas para el participante con mayor exposición en el mercado”¹³.

La metodología de riesgo no cubierto funciona de la siguiente manera. En primera instancia, se determina el nivel de Riesgo no Cubierto del participante con la mayor exposición en el mercado, ya que en algunos casos, este indicador representa el nivel requerido de recursos para ostentar un nivel de cobertura adecuado. Dicho indicador se determina:

$$\alpha_i = \text{Max}(0, S\text{Loss}_i - IM_i) \quad (2.2.4)$$

¹² Bank for International Settlements. *Recommendations for Central Counterparties*. November 2004. pp. 24

¹³ Gruppo Borsa Italiana. *Default Fund*. CC&G, 24 May 2005. pp. 1

Donde α_i se refiere al riesgo no cubierto asociado al participante con la mayor exposición en el mercado i , $SLoss_i$ a las pérdidas derivadas de un escenario extremo para el participante i e IM_i constituye los márgenes iniciales del participante i .

En segundo término, la metodología identifica el riesgo no cubierto de la totalidad de los participantes en el mercado, efectuando una segregación por miembro liquidador¹⁴, a través de la siguiente ecuación:

$$\alpha_j = \sum_{l=i}^n \alpha_i \quad (2.2.5)$$

Donde α_j se refiere al riesgo no cubierto asociado al miembro liquidador j y $\sum_{l=i}^n \alpha_i$ se refiere a la sumatoria del riesgo no cubierto asociado de cada uno de los participantes vinculados al referido miembro liquidador.

Finalmente, el riesgo no cubierto asociado al mercado en su conjunto se calcula como la sumatoria del riesgo no cubierto asociado a cada uno de los miembros liquidadores:

$$\alpha_{mkt} = \sum_{l=i}^n \alpha_j \quad (2.2.6)$$

Donde α_{mkt} se refiere al riesgo no cubierto del mercado y $\sum_{l=i}^n \alpha_j$ se refiere a la sumatoria del riesgo no cubierto de la totalidad de los miembros liquidadores.

¹⁴ El término miembro liquidador se refiere a una figura especializada en los Mercados de Derivados, la cual tiene una relación y obligaciones directas con la Cámara de Compensación, además de tener la capacidad de efectuar operaciones tanto por cuenta propia como por cuenta de clientes diversos, por lo que dicha figura asume la responsabilidad, en la mayoría de los casos, de requerir a sus propios clientes, los requerimientos de márgenes iniciales que la Cámara de Compensación solicite.

Una vez determinado el monto de riesgo no cubierto del mercado, la contribución al fondo de compensación de cada uno de los participantes puede obtenerse a través de dos criterios distintos. En primer lugar, el criterio que pondera el riesgo del participante con la mayor exposición y el riesgo no cubierto para un miembro liquidador en específico, respecto del riesgo no cubierto del mercado:

$$QCx = \frac{(\alpha_i) * (\alpha_j)}{(\alpha_{mkt})} \quad (2.2.7)$$

Donde QCx se refiere a la contribución al fondo de compensación, α_i se refiere al riesgo no cubierto asociado al participante con la mayor exposición en el mercado, α_j se refiere al riesgo no cubierto asociado al miembro liquidador y α_{mkt} se refiere al riesgo no cubierto del mercado.

Mientras que un segundo criterio estriba en obtener el promedio de los márgenes iniciales depositados por cada uno de los participantes en el mercado y ésta cifra es multiplicada por el riesgo no cubierto del mercado de la siguiente forma:

$$QCx = \alpha_{mkt} * IM_i \quad (2.2.8)$$

Donde QCx se refiere a la contribución al fondo de compensación, α_{mkt} se refiere al riesgo no cubierto del mercado e IM_i constituye los márgenes iniciales del participante i .

A pesar de que las premisas sobre las que se encuentra estructurado el enfoque de riesgo no cubierto se sustentan en el supuesto de que una variación extrema en el precio de un activo subyacente tiene la capacidad de influir en el valor de las posiciones de contratos derivados hasta por un monto no cubierto por los márgenes iniciales. Los márgenes iniciales permanecen como la variable fundamental para que la Cámara de Compensación cumpla con su objetivo fundamental de proveer el más alto grado de protección.

De este modo y a pesar de los continuos avances en técnicas para determinar el resto de los recursos que conforman los esquemas de salvaguardas financieras, los márgenes iniciales constituyen la herramienta medular de administración de riesgos para las Cámaras de Compensación, ya que representan la base para medir el nivel de exposición de cada uno de los portafolios de contratos derivados, otorgando un nivel de confianza de 99.9 por ciento, y permitiendo al mismo tiempo determinar el nivel de cobertura adicional necesaria para hacer frente a situaciones extremas de mercado.

Ante tal contexto, la presente investigación, en sus siguientes apartados se avoca a realizar una evaluación exhaustiva de los parámetros básicos, los aspectos fundamentales y la eficiencia del modelo para determinar el riesgo asociado a los productos derivados negociados en el Mercado Mexicano de Derivados.

3. Valuación de Contratos Derivados.

La valuación de contratos de futuro y especialmente de los contratos de opción, representa uno de los aspectos clave, junto con la determinación de la variación máxima esperada, para determinar el riesgo asociado a un portafolio conformado por contratos de futuro y/o contratos de opción. Ante tal hecho, la siguiente sección detalla las principales metodologías de valuación de los contratos negociados en el mercado mexicano de derivados, puntualizando en el caso de los futuro, las fórmulas de valuación para los principales contratos negociados en el referido mercado mexicano de derivados, y en el caso de los contratos de opción, en primer término se presenta de manera general el desarrollo de las principales metodologías para valorar opciones en el contexto internacional y de forma final, se comenta las principales insumos empleados por la Cámara de Compensación del Mercado Mexicano de Derivados para obtener el valor final de las primas de los contratos de opción relevantes.

3.1 Contratos de Futuro

En este trabajo, los precios futuros son los precios teóricos libres de arbitraje¹⁵ que se estiman a partir de los precios vigentes en los mercados nacional y extranjero de contado (“*spot*”) y del valor del dinero en el tiempo. Se supone que no hay costos de acarreo distintos al de oportunidad del dinero, ya que los subyacentes analizados son instrumentos financieros. Las fórmulas de valuación teórica de los diferentes precios futuros en que los que se concentra este trabajo se describen a continuación¹⁶:

a) Futuro del Dólar. Para determinar e futuro del dólar, se empleará la siguiente fórmula de valuación teórica:

¹⁵ Un arbitraje se entiende como un conjunto de operaciones simultaneas en distintos mercados autofinanciables y que generan un rendimiento mayor al de libre de riesgos. Cuando se hace referencia a un mercado libre de arbitraje, se está señalando que no es posible realizar beneficios superiores al rendimiento libre de riesgo. Bajo este concepto se asocia la existencia de mercados eficientes en el sentido débil y se menciona que no hay posibilidades de arbitraje, al menos permanentes. cuando los mercados son eficientes (Joshi, M. 2003).

¹⁶ Véase, para más detalles sobre precios teóricos, por ejemplo, Díaz Tinoco y Hernández Trillo (2000); Hull, J. (2002), Wilmont, et al. (1995).

$$F_{t,T}^{\text{DEUA}} = S_t^D \left(\frac{1 + R_{t,T}^{\text{MEX}} \left(\frac{T-t}{360} \right)}{1 + R_{t,T}^{\text{USA}} \left(\frac{T-t}{360} \right)} \right), \quad (3.1.1)$$

Donde, $F_{t,T}^{\text{DEUA}}$ es el precio, al tiempo t , del futuro de dólar con vencimiento en T ; S_t^D es el tipo de cambio “spot”; $R_{t,T}^{\text{MEX}}$ es la tasa anual de interés nominal en el país (expresada como tasa de rendimiento anualizada); y $R_{t,T}^{\text{USA}}$ es la tasa anual de interés nominal en los Estados Unidos de Norteamérica,¹⁷ y $T - t$ es el plazo del contrato.

b) Futuro del CETE a 91 días. Para valuar el futuro del CETE, a 91 días, se utilizará:

$$F_{t,T,T+91}^{\text{CT91}} = \text{CETE}_T \left[\frac{1 + r_{t,T} \left(\frac{T-t}{360} \right)}{1 + r_{t,T+91} \left(\frac{T+91-t}{360} \right)} \right], \quad (3.1.2)$$

Donde $F_{t,T,T+91}^{\text{CT91}}$ es el precio del futuro del CETE a 91 días, observado al tiempo t , con vencimiento en T y plazo de inversión $T+91$; CETE_T es el valor nominal del CETE (=10.00 pesos); $r_{t,T+91}$ es la tasa de rendimiento estimada de CETES en el intervalo $[t, T+91]$; y $r_{t,T}$ es la tasa de rendimiento estimada de CETES en $[t, T]$.

c) Futuro de la TIIE a 28 días. La valuación teórica para el futuro de TIIE, a 28 días, se estima como sigue:

¹⁷ Para fines de este trabajo se utilizará como tipo de cambio “spot”, el tipo de cambio FIX publicado por Banco de México; la tasa anual de interés nominal en el país, será estimada con la tasa de CETES derivada del vector de precios dada por el proveedor de precios Valmer (Valores de Mercado S. A.) para el plazo exacto; y la tasa anual de interés nominal en los Estados Unidos de Norteamérica y se estima con la tasa de los T-bills, será la reportada por Reuters en el mercado de dinero estadounidense.

$$F_{t,T,T+28}^{T128} = TIE_T \left[\frac{1 + R_{t,T} \left(\frac{T-t}{360} \right)}{1 + R_{t,T+28} \left(\frac{T+28-t}{360} \right)} \right], \quad (3.1.3)$$

Donde $F_{t,T,T+28}^{T128}$ es el precio del futuro de TIEE a 28 días, observada al tiempo t, con vencimiento en T y plazo de inversión T+28; TIE_T es el valor nominal de un depósito que paga tasa de interés TIEE al tiempo T; $R_{t,T+28}$ es la tasa anual de rendimiento estimada de aceptaciones bancarias y pagarés en [t, T+28]; y $R_{t,T}$ es la tasa anual de rendimiento estimada de aceptaciones bancarias y pagarés en [t, T]. Las tasas $R_{t,T+28}$ y $R_{t,T}$ son publicadas por los distintos proveedores de Precios, para nuestro caso utilizamos la información de Valmer, Valuadora de Mercado, S.A. de C.V.

Como se puede observar en 3.1.3. la tasa a futuro no es más que la tasa forward o adelantada del plazo de 28 implícita entre la tasa spot del plazo del contrato y la tasa spot de plazo equivalente a los día de vencimiento del contrato más 28 días.

En la mayoría de los mercados de derivados la base de negociación de estos contratos es un “índice” formado por 100 menos la tasa. Lo anterior implica que las variaciones en el “precio del contrato a futuro” sean lineales y por ello cada punto base de variación tenga un valor constante sin importar el nivel, por lo que la liquidación de las pérdidas y ganancias que esto genera son fácil de calcular. En el caso del mercado mexicano de derivados la negociación se realiza con en base en la tasa, por lo que se reconoce la convexidad del precio del contrato y por ello las liquidaciones que la Cámara de Compensación realiza, implican un cálculo del valor del contrato igual al valor presente del valor nominal del mismo descontado, precisamente, con la tasa negociada para un plazo de 28 días.

d) Futuro sobre acciones e índices. Para el caso de futuros sobre acciones e índices, se utilizara:

$$F_t^A = A_t \left(1 + R_{t,T} \left(\frac{T-t}{360} \right) \right), \quad (3.1.4)$$

Donde A_t es el precio “spot” de la acción y el nivel del índice, en su caso, y $R_{t,T}$ se toma como en la subsección 2.1. El precio de la acción o el nivel de índice se toma directamente de la información publicada por la Bolsa Mexicana de Valores. En el caso que se tengan dividendos, estos se consideran como una tasa porcentual respecto al precio de la acción o en su caso, del nivel del índice y se obtiene de la Bolsa Mexicana de Valores (BMV) considerando el porcentaje de dividendos pagados en el año anterior y se va “consumiendo” o capitalizando a lo largo del año.¹⁸

¹⁸ En Díaz, T. y Hernández T. (). Se puede revisar y verificar que cada uno de estos precios señalados se derivan de condiciones libre de arbitraje entre los distintos mercados que se pueden involucrar en cada uno de los contratos a futuro.

3.2 Contratos de Opción

a) El Modelo de Black & Scholes. De acuerdo con Elroy Dimson y Massoud Mussavian (1999), los antecedentes teóricos para valuar los derivados, particularmente las opciones, se encuentran en Bachelier (1900), Keynes (1930) y Hicks (1934). Sin embargo, hay que resaltar el trabajo de Louis Bachelier “la Théorie de la Spéculation” delinea y aplica por primera vez al campo de las finanzas la noción del movimiento browniano para explicar las fluctuaciones de los rendimientos de los precios; denomina la volatilidad como nerviosismo; predice la posibilidad de desarrollar un modelo analítico que permita estimar la probabilidad de ejercer y, por lo tanto, la prima de una opción, es decir, sienta los fundamentos sobre los que serían desarrollados posteriormente los modelos más populares actualmente, el Black & Scholes (1973), el Black 76 (1976), Binomial (1979) y Barone Adesi & Whaley (1987)¹⁹. En 1969 Fischer Black y Myron Scholes habían concebido la ecuación para determinar el precio “justo” (de no arbitraje) que un inversionista debe pagar por el derecho a comprar o vender un activo financiero (con unas características particulares) en un tiempo pactado previamente. El artículo fue rechazado en dos revistas importantes: *Journal of Political Economy* y *Review of Economics*. Sin embargo, fue hasta 1973, cuando después de realizar algunos ajustes sugeridos por Merton Miller y Eugene Fama cuando se publicó en el *Journal of Political Economy*²⁰.

El supuesto más importante de estos autores es que el comportamiento del precio de un activo sigue un movimiento browniano geométrico. Para entenderlo es preciso conocer las propiedades del llamado movimiento browniano o proceso Gauss-Wiener estándar²¹. El análisis se sostiene en las hipótesis: a) no hay costos de transacción; b) los precios se forman continuamente; c) no hay restricciones a la venta en corto; d) las tasas de captación y de colocación de recursos en una economía son iguales y se usa como proxy de la tasa de rendimiento de un activo libre de riesgo, esta tasa se supone conocida y

¹⁹ Dimson E. and Mussavian M. (1999)

²⁰ Dimson E. and Mussavian M. (1998), “A brief history of market efficiency”, London Business School, Published in *European Financial Management*, Volume 4, Number 1, (pp 91-193).

²¹ Villamil J. (2006).

constante; e) el activo subyacente a los derivados financieros no paga dividendos; f) el movimiento browniano geométrico es el proceso que se asume rige el precio del activo; y g) la opción sólo puede ser ejercida al vencimiento (europea).

Para analizar Black & Scholes se asume la existencia de dos instrumentos: uno de ellos es un activo libre de riesgo $\{B(t)\}$, el cual puede expresarse su evolución en el precio como $\{dB(t)\}$, con base en el supuesto d) señalado previamente, a través de un proceso determinístico, y el otro es un activo subyacente $\{S(t)\}$, que con base en el f), la expresión $\{dS(t)\}$ describe el comportamiento de la variable que sigue un movimiento browniano geométrico²². Sigue un proceso estocástico que relaciona el valor actual de una variable a sus propios valores previos y a un término aleatorio de error.

$$\begin{cases} dB(t) = rB(t)dt \\ dS(t) = \mu S(t)dt + \sigma S(t)dW(t) \end{cases} \quad (3.2.1)$$

r es la tasa de rendimiento del bono, μ es el retorno logarítmico esperado y σ es la desviación estándar de los retornos logarítmicos esperados de S_t , los cuales son constantes reales. Y W es un proceso de Gauss-Wiener.

Ahora supongamos que $f(t) = F(t, S_t)$ es el precio de una opción sobre la acción S valuado en t . Construyamos ahora un portafolio auto financiado (I) compuesto de la acción S y del derivado (f) y entonces empleemos la fórmula de Lema Itô²³ para

²² A una expresión del tipo $dX = \mu(X, t)dt + \sigma(X, t)dW$, donde $\mu(\bullet)$ y $\sigma(\bullet)$ son funciones de valor real y W un proceso Gauss-Wiener se le conoce como ecuación diferencial estocástica y su solución requiere de la aplicación del Lema de Itô.

²³ Lema de Itô sea un proceso estocástico X_t que satisface $dX = \mu(X, t)dt + \sigma(X, t)dW$ y $f(X, t)$ una función no aleatoria con derivadas parciales continuas, entonces la variable $Y_t = f(X, t)$ sigue un proceso estocástico que viene dado por

$$dY = \left[\frac{\partial f}{\partial t} + \mu(X, t) \frac{\partial f}{\partial X} + \frac{1}{2} (\sigma(X, t))^2 \frac{\partial^2 f}{\partial X^2} \right] dt + \sigma(X, t) \frac{\partial f}{\partial X} dW.$$

establecer una relación entre un pequeño cambio observado en una función de una variable aleatoria y la propia variación pequeña.

$$I = \alpha f + \beta S \quad (3.2.2)$$

Donde el valor de la opción $f(S_t, t; X, T, \sigma, \mu, r)$ es una función de distintas variables, tales como el precio del activo subyacente (S_t) y la fecha de valuación del contrato (t), además del precio de ejercicio (X), la fecha de vencimiento del contrato (T), la volatilidad del activo subyacente (σ), el rendimiento esperado del activo subyacente (μ) y la tasa de interés (r) que prevalece a fin de calcular el valor del dinero en el tiempo, en donde podemos apreciar que S_t y t son las variables relevantes de la opción, permitiéndonos excluir el resto de las variables, quedando la expresión como $f = f(S_t, t)$.

Durante el intervalo de tiempo $[t, t + dt]$, el activo subyacente cambia de S_t a $S_t + dS_t$, en consecuencia, el precio de la opción cambia de $f(S_t, t)$ a $f + df$. El cambio marginal en el precio de la opción se obtiene mediante el Lema Itô, como:

$$dI = \alpha df + \beta dS = \{Itô\} = \quad (3.2.3)$$

Donde:

$$df = \left[\frac{\partial f}{\partial t} + \frac{\partial f}{\partial S_t} \mu S_t + \frac{1}{2} \sigma^2 S_t^2 \frac{\partial^2 f}{\partial S_t^2} \right] dt + \frac{\partial f}{\partial S_t} \sigma S_t dW_t \quad (3.2.4)$$

$$df = \left[f_t + f_s \mu S_t + \frac{1}{2} \sigma^2 S_t^2 f_{ss} \right] dt + f_s \sigma S_t dW_t$$

Retomando la expresión (3.2.3), en la que sustituimos la ecuación (3.2.4) y (3.2.1) para obtener lo siguiente:

$$dI = \alpha \left[\left(f_t + f_s \mu S_t + \frac{1}{2} \sigma^2 S_t^2 f_{ss} \right) dt + f_s \sigma S_t dW \right] + \beta [\mu S_t dt + \sigma S_t dW_t] \quad (3.2.5)$$

$$dI = \alpha \left(f_t + f_s \mu S_t + \frac{1}{2} \sigma^2 S_t^2 f_{ss} \right) dt + \beta \mu S_t dt + (\alpha f_s + \beta) \sigma S_t dW_t$$

Ahora bien, asumiendo que el portafolio I no tiene riesgo, asumiendo una cobertura lograda con $\beta = -\alpha f_s$ obtenemos lo siguiente:

$$dI = \alpha \left(f_t + f_s \mu S_t + \frac{1}{2} \sigma^2 S_t^2 f_{ss} \right) dt + (-\alpha f_s) \mu S_t dt + ((-\beta) + \beta) \sigma S_t dW_t$$

$$dI = \alpha \left(f_t + f_s \mu S_t + \frac{1}{2} \sigma^2 S_t^2 f_{ss} \right) dt + (-\alpha f_s) \mu S_t dt \quad (3.2.6)$$

$$dI = \alpha \left(f_t + f_s \mu S_t - f_s \mu S_t + \frac{1}{2} \sigma^2 S_t^2 f_{ss} \right) dt$$

$$dI = \alpha \left(f_t + \frac{1}{2} \sigma^2 S_t^2 f_{ss} \right) dt$$

Descartamos la existencia de oportunidades de arbitraje, a través de $dI = rI dt$ para obtener:

$$dI = r(\alpha f + \beta S_t) dt \quad (3.2.7)$$

En donde, si consideramos que $\beta = -\alpha f_s$, entonces llegamos a:

$$dI = r(\alpha f - \alpha f_s S_t) dt \quad (3.2.8)$$

Obtenemos entonces la siguiente expresión:

$$f_t + rS_t f_s + \frac{1}{2} \sigma^2 S_t^2 f_{ss} - rf = 0 \quad \text{donde } t < T$$

$$f(t) = F(S, T)$$
(3.2.9)

Esta es la ecuación diferencial de Black & Scholes. Resolviendo esta ecuación con la función $f_t = \max(S(T) - X, 0)$ para una opción *call* europea o $f_t = \max(X - S(T), 0)$ para una opción *put* europea. La solución puede obtenerse mediante Series de Fourier o por medio del método de solución por similitudes expuesto en Almgren (1998) y en Wilmott et al. (1995, 76).

Black & Scholes plantea que el precio de una opción *call* y una opción *put* europeas sobre un activo subyacente que no paga dividendos esta dado por las siguientes expresiones:

$$c = S_t N(d_1) - X e^{-r(T-t)} N(d_2)$$

$$p = X e^{-r(T-t)} N(-d_2) - S_t N(-d_1)$$
(3.2.10)

Aquí $N(\bullet)$ corresponde a la función de densidad acumulativa para una variable gaussiana con media 0 y desviación estándar de 1. S_t corresponde al precio de la acción en el día $t = 0$, X el precio de ejercicio, r la tasa de interés libre de riesgo continuamente compuesta, σ es la volatilidad del precio de la acción y $T - t$ se refiere al plazo para el vencimiento en términos anuales de la opción.

Donde d_1 y d_2 se obtienen de la siguiente manera:

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S_t}{X}\right) + \left(r + \frac{\sigma^2}{2}\right)(T-t)}{\sigma\sqrt{T-t}} \quad \text{y} \quad (3.2.11)$$

$$d_2 = \frac{\ln\left(\frac{S_t}{X}\right) + \left(r - \frac{\sigma^2}{2}\right)(T-t)}{\sigma\sqrt{T-t}} = d_1 - \sigma\sqrt{T-t}$$

En caso de que activo subyacente presente dividendos en efectivo, debemos considerar que $S_t = S - D_1 e^{-rt_1} - \dots - D_n e^{-rt_n}$, ($t_n < T$)²⁴. Y finalmente, en caso de considerar una tasa de dividendos, basta con reemplazar S_0 por $S_0 e^{-q(T-t)}$ en la expresión (3.2.10) para reconocerla en la determinación del precio de la opción *call* y *put*, logrando la siguiente expresión:

$$\begin{aligned} c &= S_0 e^{-q(T-t)} N(d_1) - X e^{-r(T-t)} N(d_2) \\ p &= X e^{-r(T-t)} N(-d_2) - S_0 e^{-q(T-t)} N(-d_1) \end{aligned} \quad (3.2.12)$$

Lo anterior, debido a que

$$\ln\left(\frac{S_0 e^{-q(T-t)}}{X}\right) = \ln\left(\frac{S_0}{X}\right) - q(T-t) \quad (3.2.13)$$

Donde d_1 y d_2 se obtienen a través de las siguientes expresiones:

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S_0}{X}\right) + \left(r - q + \frac{\sigma^2}{2}\right)(T-t)}{\sigma\sqrt{T-t}} \quad \text{y} \quad (3.2.14)$$

²⁴ Black F. (1976), "The Pricing of Commodity Contracts", *Journal of Financial Economics*, Vol. 3, No.1-2, pp. 167-179 y Espen G. (1998), *The Complete Guide to Option Pricing Formulas* (pp. 2-5)

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

b) El Modelo de Black 76. En 1976, F. Black resolvió su ecuación conocida como Black 76 para determinar el precio de las opciones europeas sobre futuros. El supuesto sobre el activo subyacente es que los futuros tienen la misma propiedad log-normal que se asumió para las acciones previamente²⁵. De tal forma que el precio del futuro sigue un proceso:

$$dF = \mu F dt + \sigma F dW \quad (3.2.15)$$

Considerando que el portafolio está compuesto de α en la opción y β en el futuro, donde se define a V como el valor del portafolio. Porque este cuenta nada para entrar dentro de un contrato de futuro.

$$V = \alpha f \quad (3.2.16)$$

Definimos dW como el cambio total en el peso del portafolio de cobertura en el tiempo dt , obtenemos que:

$$\begin{aligned} dW &= \alpha df + \beta dS = \{It\dot{o}\} = \\ &\alpha \left(\left(f_t + \mu F f_F + \frac{1}{2} \sigma^2 F^2 f_{FF} \right) dt + \sigma F f_F dW \right) + \beta (\mu F dt + \sigma F dW) \\ &\alpha \left(f_t + \mu F f_F + \frac{1}{2} \sigma^2 F^2 f_{FF} \right) dt + \beta \mu F dt + (\alpha f_F + \beta) \sigma F dW \end{aligned} \quad (3.2.17)$$

Ahora, como en el modelo Black & Scholes asumamos que el portafolio I está libre de riesgo; por ejemplo $\beta = -\alpha f_F$, entonces

²⁵ Bylund M. (2002), "A Comparison of Margin Calculation Methods for Exchange Traded Contracts", pp. 20-21.

$$\begin{aligned}
dW &= \alpha \left(f_t + \mu F f_F + \frac{1}{2} \sigma^2 F^2 f_{FF} \right) dt + \beta \mu F dt \\
&= \alpha \left(f_t + \mu F f_F - \mu F f_F + \frac{1}{2} \sigma^2 F^2 f_{FF} \right) dt \\
&= \alpha \left(f_t + \frac{1}{2} \sigma^2 F^2 f_{FF} \right) dt
\end{aligned} \tag{3.2.18}$$

Esto es sin riesgo, por lo tanto debe cumplir con

$$dW = rVdt \tag{3.2.19}$$

Usando $V = \alpha f$ obtenemos

$$dW = r\alpha f dt \tag{3.2.20}$$

Finalmente, obtenemos la ecuación diferencial para un derivado sobre un precio futuro.

$$f_t + \frac{1}{2} \sigma^2 F^2 f_{FF} = r_f \tag{3.2.21}$$

Resolviendo esta ecuación diferencial para la opción *call* u opción *put* europeas sobre el futuro llegamos a las siguientes fórmulas para determinar el precio de los contratos:

$$\begin{aligned}
c &= e^{-r(T-t)} [F_0 N(d_1) - XN(d_2)] \\
p &= e^{-r(T-t)} [N(-d_2) - F_0 N(-d_1)]
\end{aligned} \tag{3.2.22}$$

En las siguientes expresiones reemplazamos el precio de la acción S_0 por el precio del futuro F_0 , logrando obtener lo siguiente:

$$d_1 = \frac{\ln(F_0 / X) + (\sigma^2 / 2)(T - t)}{\sigma \sqrt{T - t}}$$

$$d_2 = \frac{\ln(F_0 / X) - (\sigma^2 / 2)(T - t)}{\sigma \sqrt{T - t}} = d_1 - \sigma \sqrt{T - t} \quad (3.23)$$

c) El Modelo de Cox-Ross-Rubinstein. Después de Black & Scholes, Cox, Rubinstein y Ross desarrollaron un modelo que pretendía facilitar la comprensión y el cálculo de la prima de una opción, para comprender su lógica, supongamos que el precio del activo subyacente se comporta bajo un proceso multiplicativo binomial en períodos discretos, que la volatilidad y la tasa de interés libre de riesgo son constantes y positivas durante el período y que no hay pagos de impuestos ni costos de transacción. Para analizar el modelo, asumamos que el precio actual de la acción es S y que el movimiento del precio del activo podría ser ascendente Su o descendente Sd respecto de un precio S .

$$S_0 = S$$

$$S_1 = \begin{cases} uS, & \text{con probabilidad } p. \\ dS, & \text{con probabilidad } 1 - p. \end{cases} \quad (3.2.24)$$

Donde, “ u ” se refiere a un factor de crecimiento, “ d ” a un factor de decrecimiento y “ t ” al factor tiempo en términos anualizados ($T - t$), con esta relación podemos apreciar que el modelo considera volatilidad constante en todo el período.

$$u = e^{\sigma \sqrt{T-t}} \quad \text{Y} \quad d = e^{-\sigma \sqrt{T-t}} = 1/u \quad (3.2.25)$$

Por otra parte, las probabilidades de crecimiento o decrecimiento se definen en un rango de 0 y 1, quedando clara la relación $p + (1 - p) = 1$. Y la probabilidad se determina como:

$$p = \frac{e^{r(T-t)} - d}{u - d} \quad (3.2.26)$$

Por otra parte, tenemos que asumir que en mercado de derivados existe un contrato de opción *call*, que en su fecha de vencimiento estará definido por lo que resulte mayor del diferencial del precio del activo subyacente simulado y el precio de ejercicio (X) del contrato y cero.

$$f = \begin{cases} fu = \max(0, Su - X) \\ fd = \max(0, Sd - X) \end{cases} \quad (3.2.27)$$

Si la posición en la opción *call* es corta, el suscriptor tiene un riesgo enorme: que la opción venza profundamente dentro del dinero y por lo tanto pierda una cantidad considerable, al verse obligado a comprar en el mercado spot acciones a precio elevado con el fin de cumplir su obligación, a raíz del corto en la opción de compra, de venderlas al precio de ejercicio. Evidentemente la estrategia de cobertura sería comprar anticipadamente acciones, es decir, asumir una posición larga en el subyacente, pero no por todo el monto amparado por la opción, sino sólo por el equivalente a la probabilidad de ejercer, es decir, un número Δ de acciones tal que el *call* corto sea inmune a las variaciones que el spot pudiera observar al vencimiento. Ahora bien, tenemos supongamos que adquirimos una posición vendedora (corta) en un contrato de opción *call* que a cambio de una prima nos obliga a vender el activo subyacente al precio de ejercicio (X) y en la fecha preestablecida. Sin embargo, el riesgo que ello implica es grande si no se tiene el activo subyacente, ya que en caso de resultar “asignados” nos obligaría a salir al mercado de contado para adquirirlo y asumir la pérdida. Sin embargo, podríamos cubrir el portafolio comprando anticipadamente el activo subyacente, es decir, asumiendo una posición larga en el activo subyacente, pero no por todo el monto amparado por la opción, sino sólo por el equivalente a la probabilidad de ejercer, es decir, un número Δ de acciones tal que nuestra posición corta en el contrato de opción *call* sea inmune a las variaciones que el precio del activo subyacente pudiera observar al vencimiento ($S\Delta$). De tal forma que se establece una relación libre de riesgo con el portafolio de posiciones largas en el activo subyacente y cortas en la opción *call*, cumpliendo además con la ausencia de oportunidades de arbitraje $+B = f - S\Delta$. Si suponemos que formamos un portafolio que contenga el monto específico de acciones (Δ) necesarias y un bono libres

de riesgo o valor gubernamental (B), el costo actual del portafolio será $S\Delta + B$ y al final del período será:

$$S\Delta + B = C \quad \begin{cases} uS\Delta + (1+r_f)B = fu \\ dS\Delta + (1+r_f)B = fd \end{cases} \quad (3.2.28)$$

Al final del período igualamos los valores del portafolio con los valores de la opción *call* con el propósito de inmunizarlo ante el riesgo de las variaciones en el precio del activo subyacente.

$$\begin{aligned} uS\Delta + (1+r_f)B &= f_u \\ dS\Delta + (1+r_f)B &= f_d \end{aligned} \quad (3.2.29)$$

Resolviendo simultáneamente las ecuaciones podemos obtener la “delta hedge” o el número de acciones y el número de bonos que replican o reproducen el comportamiento de la opción *call*.

$$\Delta = \frac{f_u - f_d}{(u-d)S} \quad \text{y} \quad B = \frac{uf_d - df_u}{(u-d)r} \quad (3.2.30)$$

Estos parámetros son valores de “no” **arbitraje**, en otros términos, la igualdad y los parámetros anteriores son los que evitaría que se realicen arbitrajes entre los mercados, por ejemplo: a) si $f < S\Delta + B$ entonces el inversionista compraría la opción y vendería la cartera el contrato de opción en el mercado, realizando en ambos casos una ganancia sin riesgo o arbitraje financiero; y b) si $f > S\Delta + B$ entonces el inversionista compraría la cartera y vendería el contrato de opción en el mercado, realizando en ambos casos una ganancia sin riesgo o arbitraje financiero.

Si lo anterior es cierto, entonces se puede concluir que para evitar arbitrajes se tiene que cumplir la relación $f = S\Delta + B$. En la cual, si sustituimos los parámetros Δ , B y “ p ” para obtener:

$$f = \frac{pf_u + (1-p)f_d}{r} \quad (3.2.31)$$

Hasta aquí hemos visto el modelo Binomial para un solo período, sin embargo, es posible generalizarlo en más períodos, para ello es necesario determinar el intervalo de tiempo, τ que se refiere a la fracción obtenida con el número de días por vencer de la opción en un número dado de intervalos que, mientras más pequeño sea, generará estimaciones más precisas, convergentes al Black & Scholes. τ se obtiene con la fracción obtenida con el diferencial de días en términos anuales entre el número de intervalos considerados en el modelo.

$$\tau = (T - t) / n \quad (3.2.32)$$

Asimismo, suponiendo que el precio del activo subyacente es S , simulamos movimientos ascendentes cada intervalo de tiempo desde Su, Su^2 hasta Su^n y simulamos movimientos descendentes cada intervalo de tiempo desde Sd, Sd^2 hasta Sd^n , en donde “ u ” también se refiere al factor de crecimiento, “ d ” al factor de decrecimiento y “ τ ” al factor tiempo en términos anualizados.

$$u = e^{\sigma \tau} \text{ Y } d = e^{-\sigma \tau} = 1/u \quad (3.2.33)$$

También, las probabilidades de crecimiento o decrecimiento se definen en un rango de 0 y 1, quedando clara la relación $p + (1 - p) = 1$, en donde la probabilidad se determina como:

$$p = \frac{e^{r\tau} - d}{u - d} \quad (3.2.34)$$

La prima de la opción se determina siguiendo la relación: $f = S\Delta + B$, donde sustituimos los parámetros Δ , B y p para obtener:

$$f_u = \frac{pf_{uu} + (1-p)f_{ud}}{r} \quad \text{y} \quad f_d = \frac{pf_{ud} + (1-p)f_{dd}}{r} \quad (3.2.35)$$

En una opción europea tenemos que al final del período el valor de la opción *call* europea (para las americanas hay una consideración adicional) estará definida como:

El valor intrínseco de la opción *call* la expresamos como :

$$f_{N,j} = \max\{0, (Su^j d^{N-j} - X)\} \quad \text{para } j = 0, \dots \text{ hasta } N \quad (3.2.36)$$

Y el valor intrínseco de la opción *put* la expresamos como:

$$f_{N,j} = \max\{0, (X - Su^j d^{N-j})\} \quad \text{para } j = 0, \dots \text{ hasta } N \quad (3.2.37)$$

El precio de la opción en el intervalo (i,j), cuando $j = 1, 2, \dots, N-1$, es indiferente entre *call* y *put* y lo expresamos como:

$$f_{i,j} = \max\{0, e^{-r\Delta t} [pf_{i+1,j+1} + (1-p)f_{i+1,j}]\} \quad (3.2.38)$$

Que en el caso de una opción que pueda ejercerse antes del vencimiento (americana), la forma de valuación tiene que incluir el pago por ejercerla anticipadamente. En cada nodo debe verificarse la conveniencia de ejercer la opción y en caso de ser así, el precio de la opción deberá ser la ganancia por ejercerla.

Para el caso de la opción *call*, el precio en el intervalo (i,j) se obtiene con:

$$f_{i,j} = \max \left\{ \left(X - Su^j d^{i-j} \right), e^{-r\Delta t} \left[pf_{i+1,j+1} + (1-p)f_{i+1,j} \right] \right\} \quad (3.2.39)$$

El precio del *put* en el intervalo (i,j) lo expresamos como:

$$f_{i,j} = \max \left\{ \left(Su^j d^{i-j} - X \right), e^{-r\Delta t} \left[pf_{i+1,j+1} + (1-p)f_{i+1,j} \right] \right\} \quad (3.2.40)$$

Finalmente, en ambos casos, el precio del *call* y del *put* lo obtenemos con $f_{i=0,j=0}$.

d) Barone Adesi & Whaley. Barone Adesi & Whaley es un método de aproximación cuadrática desarrollado en 1987 que puede emplearse para determinar el precio de una opción *call* y de una opción *put* americanas sobre un activo subyacente con un costo de acarreo b . Cuando $b \geq r$, el precio de la opción *call* americana es equivalente al precio de la opción *call* europea y puede entonces encontrarse empleando la fórmula generalizada de Black & Scholes.

Para el caso de una opción *call* americana tenemos que:

$$f_{call}(S, X, T-t) = \begin{cases} f_{call_{FGNS}}(S, X, T-t) + A_2 \left(S/S^* \right)^{q_2}, & \text{donde } S < S^* \\ S - X, & \text{donde } S \geq S^* \end{cases} \quad (3.2.41)$$

Donde $f_{call_{FGNS}}(S, X, T-t)$ es la fórmula general de Black & Scholes para una opción *call*, y

$$A_2 = \frac{S^*}{q_2} \left\{ 1 - e^{(b-r)(T-t)} N \left[d_1(S^*) \right] \right\} \quad (3.2.42)$$

$$d_1(S) = \frac{\ln(S/X) + (b + \sigma^2/2)(T-t)}{\sigma \sqrt{T-t}} \quad (3.2.43)$$

$$q_2 = \frac{-(N-1) + \sqrt{(N-1)^2 + 4MK}}{2} \quad (3.2.44)$$

Donde $M = 2r \sigma^2$, $N = 2b \sigma^2$ y $K = 1 - e^{-r(T-t)}$.

Para el caso de una opción *put* americana se tiene:

$$f_{put}(S, X, T-t) = \begin{cases} f_{put_{RHS}}(S, X, T-t) + A_1 (S/S^{**})^{q_1}, & \text{donde } S > S^{**} \\ X - S, & \text{donde } S \leq S^{**} \end{cases} \quad (3.2.45)$$

Donde $f_{put_{RHS}}(S, X, T-t)$ es la fórmula general de Black & Scholes para una opción *put*,
y

$$A_1 = \frac{S^{**}}{q_1} \left\{ 1 - e^{(b-r)(T-t)} N[-d_1(S^{**})] \right\} \quad (3.2.46)$$

$$q_1 = \frac{-(N-1) + \sqrt{(N-1)^2 + 4MK}}{2} \quad (3.2.47)$$

Donde S^* es el precio crítico del commodity para la opción *call* que satisface

$$S^* - X = f_{call}(S^*, X, T-t) + \left\{ 1 - e^{(b-r)(T-t)} N[d_1(S^*)] \right\} S^* \frac{1}{q_2} \quad (3.2.48)$$

$$LHS(S_i) = S_i - X \quad (3.2.49)$$

$$RHS(S_i) = f_{call}(S_i, X, T-t) + \left\{ 1 - e^{(b-r)(T-t)} N[d_1(S_i)] \right\} S_i \frac{1}{q_2} \quad (3.2.50)$$

Estas ecuaciones pueden resolverse a través del algoritmo Newton-Raphson.

$$\frac{\partial RHS}{\partial S_i} = b_i = e^{(b-r)(T-t)} N[d_1(S_i)] \left(1 - \frac{1}{q_2} \right) + \left\{ 1 - \frac{e^{(b-r)(T-t)} n[d_1(S_i)]}{\sigma \cdot T - t} \right\} \frac{1}{q_2} \quad (3.2.51)$$

Dado un valor inicial de S_i , sigue directamente del método de la siguiente y mejor estimación, S_{i+1} es

$$S_{i+1} = \frac{[X + RHS(S_i) - b_i S_i]}{(1 - b_i)} \quad (3.2.52)$$

El proceso iterativo debería continuar hasta que caiga el error absoluto relativo con un determinado nivel de tolerancia de $LHS(S_i) - RHS(S_i) / X < 0.00001$. Y S^{**} el precio crítico del *commodity* para la opción *put* que satisface:

$$X - S^{**} = f_{put}(S^{**}, X, T - t) + \left\{ 1 - e^{(b-r)(T-t)} N[-d_1(S^{**})] \right\} S^{**} \frac{1}{q_2} \quad (3.2.53)$$

$$VS(S_j) = X - S_j \quad (3.2.54)$$

$$HS(S_j) = f_{put}(S_j, X, T - t) - \left\{ 1 - e^{(b-r)(T-t)} N[-d_1(S_j)] \right\} S_j \frac{1}{q_1} \quad (3.2.55)$$

$$\frac{\partial HS}{\partial S_j} = b_j = -e^{(b-r)(T-t)} N[-d_1(S_j)] \left(1 - \frac{1}{q_1} \right) - \left\{ 1 + \frac{e^{(b-r)(T-t)} n[-d_1(S_j)]}{\sigma \cdot T - t} \right\} \frac{1}{q_1} \quad (3.2.56)$$

$$S_{j+1} = \frac{X + HS(S_j) + b_j S_j}{(1 + b_j)} \quad (3.2.57)$$

Como siempre, con el uso del método de Newton-Rhapson, permitirá determinar el precio. Barone- Adesi & Whaley sugiere emplear:

$$S_1^* = X + [S^*(\infty) - X]1 - e^{h_2} \quad (3.2.58)$$

$$h_2 = -(bT + 2\sigma \cdot T) \left[\frac{X}{(S^*(\infty) - X)} \right] \quad (3.2.59)$$

$$S_1^{**} = S^{**}(\infty) + [X - S^{**}(\infty)]e^{h_1} \quad (3.2.60)$$

$$h_1 = (bT - 2\sigma \cdot T) \left[\frac{X}{(X - S^{**}(\infty))} \right] \quad (3.2.61)$$

Donde $S(\infty)$ es el precio crítico cuando el tiempo para la expiración es infinito:

$$S^*(\infty) = \frac{X}{1 - 2 \left[-(N-1) + \frac{X}{(N-1)^2 + 4M} \right]^1} \quad (3.2.62)$$

$$S^{**}(\infty) = \frac{X}{1 - 2 \left[-(N-1) - \frac{X}{(N-1)^2 + 4M} \right]^1} \quad (3.2.63)$$

Tomando como base las metodologías expuestas, se puede obtener el valor final de la prima o precio de un contrato de opción, utilizando variables como el precio del activo subyacente, la volatilidad, la tasa libre de riesgo, el precio de ejercicio de la opción, el tiempo al vencimiento de la opción y la tasa de dividendos, si se trata de una opción americana. En el caso particular de los contratos de opción negociados en el Mercado Mexicano de Derivados, tales variables corresponden a activos subyacentes como el dólar de los Estados Unidos de América, el Índice de Precios y Cotizaciones de la Bolsa

Mexicana de Valores y las acciones representativas del capital social de América Móvil, S.A. de C.V.

La volatilidad se incorpora, a discrecionalidad de la Cámara de Compensación, a través de dos vertientes, en primera instancia la volatilidad histórica del activo subyacente asociado al contrato de opción, misma que se define como la dispersión de los rendimientos de un activo subyacente alrededor de su media. La volatilidad histórica se obtiene a partir de los rendimientos diarios del activo subyacente (r_i), el cual se obtiene de la siguiente forma:

$$r_i = \ln\left(\frac{S_i}{S_{i-1}}\right) \text{ para } i = 1, 2, \dots, n. \quad (3.2.64)$$

Donde, S_i corresponde al precio del activo subyacente al final del intervalo i y n corresponde al número de observaciones. Una vez conocido el rendimiento promedio (r) se obtiene la desviación estándar de la siguiente forma:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (r_i - r)^2} \quad (3.2.65)$$

La segunda forma de calcular la volatilidad para obtener la prima de las opciones es a través del “índice de volatilidad”²⁶, el cual mediante la volatilidad implícita²⁷ mide la volatilidad esperada. El índice de volatilidad se obtiene siguiendo la metodología que a continuación se presenta:

²⁶ Fleming, Ostdiek y Whaley, “Predicting stock market volatility: a new measure”, *The Journal of Futures Markets*, vol.15 (3): 265-302), publicado en 1995 y que también ha servido como referencia para otros mercados en la construcción de sus propios índices de volatilidad.

²⁷ La Volatilidad Implícita se obtiene a partir de los precios de mercado de las opciones (primas de mercado) y a través de un proceso iterativo aplicado al Modelo de Valuación de la opción para determinar una prima teórica que debe igualar a la prima de mercado, en donde la variable a resolver es la volatilidad, manteniendo estáticos el precio del activo subyacente, el precio de ejercicio, el plazo a vencimiento, la tasa libre de riesgo y la tasa dividendo.

El primer paso consiste en determinar los promedios simples de las volatilidades implícitas (σ) para las opciones con fecha de vencimiento más cercanas (i) y las próximas a estas ($i+1$), tomando en consideración las volatilidades implícitas (σ) de las opciones *call* (c) y las opciones *put* (p) con precios de ejercicio por arriba del precio del activo subyacente ($X > S$) y por debajo del mismo ($X < S$).

$$\begin{aligned}
 \sigma_{i,X>S} &= (\sigma_{c,i,X>S} + \sigma_{p,i,X>S}) / 2 \\
 \sigma_{i,X<S} &= (\sigma_{c,i,X<S} + \sigma_{p,i,X<S}) / 2 \\
 \sigma_{i+1,X>S} &= (\sigma_{c,i+1,X>S} + \sigma_{p,i+1,X>S}) / 2 \\
 \sigma_{i+1,X<S} &= (\sigma_{c,i+1,X<S} + \sigma_{p,i+1,X<S}) / 2
 \end{aligned}
 \tag{3.2.66}$$

Se interpolan las volatilidades implícitas para obtener una volatilidad implícita para las opciones correspondientes al vencimiento i y otras que corresponden al vencimiento $i+1$.

$$\begin{aligned}
 \sigma_i &= \sigma_{i,X>S} \left(\frac{S - X_{X<S}}{X_{X>S} - X_{X<S}} \right) + \sigma_{i,X<S} \left(\frac{X_{X>S} - S}{X_{X>S} - X_{X<S}} \right) \\
 \sigma_{i+1} &= \sigma_{i+1,X>S} \left(\frac{S - X_{X<S}}{X_{X>S} - X_{X<S}} \right) + \sigma_{i+1,X<S} \left(\frac{X_{X>S} - S}{X_{X>S} - X_{X<S}} \right)
 \end{aligned}
 \tag{3.2.67}$$

Finalmente, el índice de volatilidad (I) se obtiene considerando el número de días existentes para el vencimiento de cada opción, siendo T_i y T_{i+1} los parámetros de volatilidad implícita obtenidos anteriormente.

$$I = \sigma_i \left(\frac{T_{i+1} - 66}{T_{i+1} - T_i} \right) + \sigma_{i+1} \left(\frac{66 - T_i}{T_{i+1} - T_i} \right)
 \tag{3.2.68}$$

En donde, se manejan 66 días hábiles considerando por abarcar dos opciones con vencimientos trimestrales, es decir, 90 días naturales.

Finalmente, la variable tasa de libre de riesgo es aquella asociada a los títulos emitidos por el gobierno federal denominados certificados de tesorería de la federación obtenida para el plazo correspondiente de opción a partir de la curva de rendimiento intertemporal publicada por el proveedor de precios Valmer. Los precios de los activos subyacentes se obtienen como los últimos hechos realizados en la Bolsa Mexicana de Valores; para el caso particular del dólar, éste se utiliza el tipo de cambio spot que publica el Banco de México a 24 horas.

4. Parámetros Generales del Modelo de Marginación

En adición a la valuación de los contratos, la efectividad de un modelo de marginación depende ampliamente de la calidad de los parámetros de riesgo utilizados para obtener los requerimientos de márgenes de cada uno de los portafolios. La siguiente sección describe los parámetros de riesgo básicos del modelo, tales como la variación máxima esperada, los grupos clase y grupos producto con sus factores de correlación, los parámetros de riesgo para posiciones opuestas intermensual, entregas físicas y el porcentaje de la variación máxima esperada empleado como el margen mínimo para opciones cortas muy fuera del dinero.

4.1 Variación Máxima Esperada

La variación máxima esperada del activo subyacente, también conocida como intervalo de margen, es probablemente el parámetro más importante del modelo de marginación, ya que permite determinar el riesgo asociado a un portafolio de opciones y/o futuros a partir de la simulación de precios del activo subyacente. La variación máxima esperada se determina a través de la volatilidad de los rendimientos del activo subyacente y a través de una serie de herramientas estadísticas conocidas como simulación de montecarlo, simulación histórica, simulación paramétrica, riskmetrics, entre otras. De este modo, el parámetro define la posible máxima fluctuación a la alza o a la baja en el precio del activo subyacente para un horizonte de tiempo y considerando un nivel de confianza, o la proporción del valor de un activo o portafolio que se encuentra en situación de riesgo, definición que se asemeja a la del Valor en Riesgo, que en inglés se traduce como *Value at Risk (VaR)*.

La expresión para determinar el Valor en Riesgo es la siguiente:

$$VaR = z\sigma \sqrt{TP} \quad (4.1.1)$$

En donde se toma en cuenta el nivel de confianza (z), la volatilidad diaria de los rendimientos del activo subyacente (σ), la agregación en el tiempo (T) y el precio del activo subyacente (P).

La volatilidad de los rendimientos es calculada a través de la Desviación Estándar de los Rendimientos (Volatilidad Histórica) y mediante modelos Autorregresivos con Heterocedasticidad Condicional (volatilidad estimada). Para obtener la volatilidad histórica se emplea una ecuación idéntica a la anteriormente presentada (3.2.65).

$$s = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (r_i - r)^2$$

Por otra parte, para obtener la volatilidad estimada se considera que cuando una variable aleatoria Y_t está dada por la función de densidad conjunta $f(Y_t / Y_{t-1})$, el pronóstico del valor al día de hoy basado en la información del pasado es $E(Y_t / Y_{t-1})$, expresión que depende del valor de la variable condicional Y_{t-1} . Considerando lo anterior, la varianza del pronóstico en cuestión para un solo periodo está dada por $\sigma^2(Y_t / Y_{t-1})$, ejemplificando que la varianza del pronóstico depende de la información del pasado, y por lo tanto es una variable aleatoria.

Para explicar el modelo siguiendo las premisas de Engle (1982)²⁸, se debe considerar un Autorregresivo de primer orden:

$$Y_t = \gamma Y_{t-1} + \varepsilon_t \tag{4.1.2}$$

²⁸ R. Engle, "Autoregressive Conditional Heteroskedasticity with estimates of the Variance of U.K. inflation" *Econometrica*, vol 50, pp.987-1008. 1982

Donde ε es ruido blanco con $\sigma^2(\varepsilon) = \sigma^2$, la media condicional de Y_t es γY_{t-1} , mientras que la media no condicional es 0. La varianza condicional de Y_t es σ^2 mientras que la varianza no condicional es $\sigma^2/(1-\gamma^2)$. La metodología convencional para tratar con heterocedasticidad propone introducir una variable independiente X_t que prediga la varianza; con media cero, de modo tal que:

$$Y_t = \varepsilon_t X_{t-1} \quad (4.1.3)$$

Donde $\sigma^2(\varepsilon) = \sigma^2$ y la varianza de Y_t es $\sigma^2 X_{t-1}^2$, de modo tal que el intervalo del pronóstico depende de una variable exógena. El problema básico de lo anterior es la necesidad de una explicación acerca de las causas por las cuales la varianza cambia, en lugar de reconocer que tanto la media condicional como la varianza evolucionan conjuntamente en el tiempo. Debido a esto, Engle (1982) propone la siguiente expresión:

$$Y_t = \varepsilon_t h_t^{1/2}, \quad (4.1.4)$$

En donde $h_t = \alpha_0 + \alpha_1 Y_{t-1}^2$ y $\sigma^2(\varepsilon) = 1$. Lo anterior representa en términos generales el modelo Autorregresivo con Heterocedasticidad Condicional (ARCH). El cual, si se formula a través del supuesto de normalidad, puede ser expresado en términos de ψ_t , que simboliza la información disponible en el tiempo t .

$$Y_t / \psi_t \sim N(0, h_t), \quad (4.1.5)$$

Ante tal contexto, la función de varianza puede ser expresada de forma general:

$$h_t = h(Y_{t-1}, Y_{t-2}, \dots, Y_{t-p}, \alpha) \quad (4.1.6)$$

En donde p es el orden del proceso ARCH y α es un vector de parámetros desconocidos.

Así, El modelo de regresión ARCH se obtiene bajo el supuesto de que la media de Y_t está dada como $X_t\beta$, una combinación lineal de variables endógenas rezagadas con variables exógenas incluidas en el conjunto de información ψ_{t-1} con un vector β de parámetros desconocidos. Formalmente se puede expresar de la siguiente manera;

$$Y_t / \psi_t \sim N(X_t\beta, h_t) \quad (4.1.7)$$

En donde $h_t = h(\varepsilon_{t-1}, \varepsilon_{t-2}, \dots, \varepsilon_{t-p}, \alpha)$ y $\varepsilon_t = Y_t - X_t\beta$. Se puede observar ahora, que la varianza de ε_t tiene dos componentes, uno constante, y otro condicional a la volatilidad de periodos anteriores, es decir, el término ARCH. La función de varianza puede generalizarse para poder incluir valores de X actuales y rezagados, ya que ambos pertenecen al conjunto de información. De modo tal que la función h se convierte en:

$$h_t = h(\varepsilon_{t-1}, \varepsilon_{t-2}, \dots, \varepsilon_{t-p}, X_t, X_{t-1}, X_{t-2}, \dots, X_{t-p}, \alpha), \text{ o simplemente}$$

$$h_t = h(\psi_{t-1}, \alpha) \quad (4.1.8)$$

$$h_t = h_\varepsilon(\varepsilon_{t-1}, \varepsilon_{t-2}, \dots, \varepsilon_{t-p}) h_X(X_t, X_{t-1}, X_{t-2}, \dots, X_{t-p})$$

Esta generalización permite la existencia de dos tipos de heterocedasticidad, que pueden ser tratadas secuencialmente, primero corrigiendo el componente de X y después ajustando el modelo ARCH a los datos ya transformados.

Los modelos GARCH (modelos Generales Autorregresivos con Heterocedasticidad Condicional), introducidos por Bollerslev (1986)²⁹ son capaces de capturar los tres aspectos empíricos más observados en los datos de tasas de rendimientos de variables financieras: leptocurtosis, sesgamiento y agrupamiento de la volatilidad.

Si ε_t es el proceso estocástico de tiempo discreto, y ψ_t el conjunto de toda la información disponible en el tiempo t. El proceso GARCH(p,q) está dado por:

$$\begin{aligned} \varepsilon_t / \psi_{t-1} &\sim N(0, h_t), \\ \varepsilon_t / \psi_{t-1} &\sim N(0, h_t), \\ h_t &= \alpha_0 + \sum_{i=1}^q \alpha_i \varepsilon_{t-i}^2 + \sum_{i=1}^p \beta_i h_{t-i} = \alpha_0 + A(L)\varepsilon^2 + \beta(L)h_t \end{aligned} \tag{4.1.9}$$

En donde $P \geq 0$, $q > 0$, $\alpha_0 > 0$, $\alpha_i \geq 0$, $i = 1, \dots, q$, y $\beta_i \geq 0$, $i = 1, \dots, p$. Si $p = 0$ el proceso se reduce a un ARCH(q) y si $p = q = 0$ entonces ε_t es ruido blanco.

En el ARCH(q) la varianza condicional está especificada como una función lineal de las varianzas pasadas únicamente, mientras que el GARCH(p,q) permite que en la función entren también valores rezagados de las varianzas condicionales. Engle (1987)³⁰

²⁹ Bollerslev Tim, "Generalized autorregresive conditional heteroskedasticity", *Journal of econometrics* April 1986, 31: 307-327

³⁰ Engle Robert; David Liline; Russell Robins; "Estimating time varying risk premium in the term structure: The ARCH-M model" *Econometrica*, March 1987, Vol 55 pp, 391-407

proponen una extensión del modelo GARCH donde la media condicional es una función explícita de la varianza condicional. Este modelo es conocido como GARCH-M. Los rendimientos de los mercados accionarios pueden ser modelados por un GARCH(p,q)-M como a continuación se denota:

$$Y_t = u_t + \delta_t h_t^{1/2} + \varepsilon_t \quad (4.1.10)$$

$$\varepsilon_t / \psi_{t-1} \sim N(0, h_t),$$

$$h_t = \omega + \sum_{j=1}^p \beta_j h_{t-j} + \sum_{j=1}^q \alpha_j (\varepsilon_{t-j})^2$$

Donde Y_t es el rendimiento de las acciones, u_t es la media condicional a la información pasada ψ_{t-1} y las siguientes restricciones de desigualdad $\omega > 0$, $\alpha_j \geq 0$, y $\beta_j \geq 0$ son impuestas para asegurar que la varianza condicional h_t sea positiva. La presencia de $h_t^{1/2}$ es un indicador del nivel de volatilidad.

4.2 Grupos Clase y Grupos Producto

Con la finalidad de reconocer la correlación existente entre los precios y consecuentemente los riesgos asociados a los Activos Subyacentes, el modelo agrupa los contratos de futuros y opciones relacionados al mismo activo subyacente en grupos clase. Por otra parte, en caso de que los activos subyacentes de dos o más grupos clase presenten un alto grado de correlación o determinación³¹, dichos grupos clase forman parte de grupos producto. La conformación de grupos clase en el modelo de marginación permite compensar las pérdidas simuladas con las ganancias simuladas de opciones y/o futuros, estas últimas al cien por ciento. En el caso de los contratos incluidos en un grupo producto, la compensación puede ser realizada parcialmente a través de un factor de correlación, el cual es el porcentaje que descuenta las ganancias teóricas de un portafolio,

³¹ Diversas Cámaras de Compensación se han pronunciado acerca del nivel necesario de correlación o determinación para considerar la incursión de uno o más Activos Subyacentes a un Grupo Producto, resultando el criterio más utilizado un coeficiente de ubicado en el rango de 60 y 70 por ciento

antes de ser utilizadas para cubrir las pérdidas simuladas. Los grupos clase y los grupos producto se evalúan aisladamente, implicando el cálculo de márgenes de forma separada, de manera tal que el requerimiento de margen se obtiene con la suma de cada uno.³²

4.3 Parámetro de Margen por Posiciones Opuestas³³

Para el caso de los futuros e incluso de las opciones estilo futuro, el modelo de marginación reconoce la reducción del riesgo al existir de forma simultánea dentro del portafolio posiciones largas (compradoras) y posiciones cortas (vendedoras) en una clase de contrato y en distintas fechas de vencimiento, considerando que los riesgos se mitigan parcialmente al no existir una correlación perfecta.

Para ello, el modelo determina un parámetro de margen por posición opuesta, en función a la variación máxima esperada, al tamaño del contrato y al coeficiente de determinación entre las distintas series. El estadístico R cuadrada-ajustada, obtenido de las regresiones entre los rendimientos diarios de los activos subyacentes, con un registro histórico de 500 observaciones. Las regresiones en cuestión son estimadas en pares a través del método de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO):

$$X_t = \alpha + \beta y_t + \varepsilon_t. \quad (4.3.1)$$

El estadístico R-cuadrada-ajustada mide el grado de éxito que tienen los regresores (variables independientes) en explicar los valores de la variable dependiente, siendo la fracción de la varianza de la variable dependiente explicada por las variables independientes.

$$R - cuadrada - ajustada = 1 - \frac{\varepsilon' \varepsilon}{(y - y_{media})'(y - y_{media})} \left(\frac{T - 1}{T - k} \right) \quad (4.3.2)$$

$$\varepsilon = y - Xb$$

³³ Para una discusión detallada sobre este tipo de Margen ver Díaz Tinoco, J. y Venegas Martínez, F. (2004).

Con base en el principio de reducción del riesgo de las posiciones escalonadas (posiciones netas largas y cortas de las distintas series), se considera el efecto de correlación entre las series del contrato de futuro. Para ello, se generan los coeficientes de determinación entre las series operadas del contrato de futuro, y se determina el máximo. En los Cuadros 1-3 se muestran las matrices de determinación de las series del futuro sobre algunos de los contratos listados en el Mercado Mexicano de Derivados.

CUADRO 4.3.1
Matrices de determinación

Futuros DEUA												
Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1											
2	0.9941	1										
3	0.9859	0.9946	1									
4	0.9725	0.9866	0.9945	1								
5	0.9535	0.9736	0.9856	0.9938	1							
6	0.9311	0.9538	0.9733	0.9845	0.9919	1						
7	0.9048	0.9332	0.9549	0.9726	0.9838	0.9921	1					
8	0.8711	0.9058	0.9328	0.9548	0.9724	0.9818	0.9903	1				
9	0.8322	0.8705	0.9038	0.9309	0.9526	0.9719	0.9830	0.9902	1			
10	0.7905	0.8337	0.8710	0.9028	0.9281	0.9512	0.9705	0.9812	0.9906	1		
11	0.7481	0.7957	0.8376	0.8732	0.9042	0.9300	0.9522	0.9716	0.9832	0.9892	1	
12	0.6951	0.7470	0.7944	0.8350	0.8696	0.9031	0.9304	0.9516	0.9723	0.9836	0.9924	1

Cuadro 1. Matriz de Determinación entre las series del contrato de futuro del Dólar.

Futuros TIIE												
Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1											
2	0.9869	1										
3	0.9610	0.9912	1									
4	0.9355	0.9775	0.9954	1								
5	0.8958	0.9529	0.9818	0.9936	1							
6	0.8511	0.9218	0.9613	0.9794	0.9933	1						
7	0.8141	0.8950	0.9419	0.9648	0.9846	0.9961	1					
8	0.7800	0.8698	0.9226	0.9491	0.9733	0.9894	0.9967	1				
9	0.7494	0.8459	0.9037	0.9330	0.9603	0.9802	0.9906	0.9971	1			
10	0.7283	0.8290	0.8898	0.9210	0.9502	0.9719	0.9841	0.9927	0.9980	1		
11	0.7159	0.8186	0.8810	0.9129	0.9425	0.9646	0.9774	0.9868	0.9938	0.9980	1	
12	0.7038	0.8030	0.8717	0.9041	0.9341	0.9561	0.9695	0.9798	0.9880	0.9939	0.9979	1

Cuadro 2. Matriz de Determinación entre las series del contrato de futuro de la TIIE a 28 días.

Mes	Futuros IPC			
	3	6	9	12
3	1			
6	0.99989	1		
9	0.99969	0.99980	1	
12	0.99963	0.99968	0.99978	1

Cuadro 3. Matriz de Determinación entre las series del contrato de futuro del IPC.

Una vez obtenido el coeficiente de determinación, se calcula el parámetro, de la siguiente manera:

$$\alpha_o = vme \times T \times (1 - \omega) \quad (4.3.3)$$

Donde:

- α_o Parámetro de margen por posiciones opuestas.
- vme Variación Máxima Esperada.
- T Número de activos subyacentes que ampara cada futuro u opción o factor multiplicador del contrato.
- ω Coeficiente de Determinación entre los vencimientos del contrato.

4.4 Parámetro de Margen por Entrega

Cuando se ejercen las obligaciones y los derechos de compra y de venta de los futuros y de las opciones cuya liquidación al vencimiento se realiza en especie, existe un riesgo de mercado durante el período de liquidación, dicho período de liquidación está comprendido entre las fecha de vencimiento (oferta³⁴ u ejercicio) y fecha de liquidación. Para reconocer este riesgo, el modelo emplea el parámetro de margen por entrega, se

³⁴ El término "oferta" en este contexto, es utilizado para contratos como los futuros sobre Bonos de Largo Plazo (Bono M10, para el caso del mercado mexicano) en los cuales el que mantiene la posición corta hasta el mes de vencimiento del contrato, éste tiene la posibilidad de que en cualquier día de ese mes, él pueda ofertar la entrega de los Bonos subyacentes al contrato. El plazo de entrega de estos, una vez declarada la oferta, se determina por los plazos de liquidación de las operaciones que en el mercado el contado se realizan sobre los mismos Bonos.

determina considerando la variación máxima esperada, el tamaño del contrato y el factor de liquidez del período de liquidación.

$$\alpha_E = vme \times T \times f \quad (4.4.1)$$

$$\alpha_E = vme \times T \times n$$

Donde:

- α_E Parámetro de margen por entrega.
- vme Variación máxima esperada del activo subyacente.
- T Número de activos subyacentes que ampara cada futuro u opción o factor multiplicador del contrato.
- f Factor de liquidez calculado a través de la agregación del tiempo a la volatilidad diaria. Raíz del número de días entre la fecha de liquidación y la fecha de vencimiento (oferta u ejercicio).

Como puede observarse, este parámetro depende de dos variables: plazo de entrega y variación mínima esperada. El plazo es exógeno a los mercados de derivados y está dictado por el mercado en el cual se negocia el activo subyacente respectivo y la variación máxima esperada, se vuelve a mostrar como el parámetro básico para los esquemas de marginación y sobre éste solamente se escala el tiempo de exposición que mantiene la Cámara de Compensación.

4.5 Margen Mínimo para Opciones Cortas

El valor de una opción, entre más fuera del dinero, mayor será su tendencia a cero, sin embargo, existe el riesgo de que el activo subyacente se mueva en forma tal que, ubique a la opción “en el dinero” (at-the-money) o incluso “dentro del dinero” (in-the-money), por esta razón, el modelo permite ajustar los requerimientos para las opciones cortas a través de un monto mínimo para opciones cortas, el cual se define como el máximo entre la variación máxima esperada y un porcentaje de dicha variación, o dicho en otras palabras,

el máximo entre la peor prima teórica simulada y un porcentaje de la variación máxima esperada del activo subyacente.

$$MM = \text{Max}\{PS_{C_{t,s},P_{bs}}, 20\%vme\} \quad (4.5.1)$$

En donde,

MM	Margen Mínimo para opciones cortas.
$PS_{C_{t,s},P_{bs}}$	Peor escenario de prima simulada.
$20\%vme$	20 por ciento de la variación máxima esperada del activo subyacente.

Una vez que se han evaluado los parámetros de riesgo básicos, es posible profundizar en los supuestos fundamentales y principales características del modelo de marginación.

5. La Medición del Riesgo de Contratos Derivados a través de un Modelo de Marginación.

Como se puntualizó en el segundo apartado del presente trabajo, el modelo de marginación es utilizado para calcular requerimientos de margen en los contratos de futuros y de opciones, lo anterior comprende una valuación a precios de mercado del margen diario (margen por prima) en adición a un requerimiento adicional para cubrir el riesgo de un cambio de precios adverso (margen por riesgo). También incorpora un margen por correlación intermensual y un margen para cubrir el riesgo mercado entre las fechas de vencimiento y liquidación de un contrato. En la presente sección se detalla de manera integral los componentes del modelo de marginación, en primer lugar para un portafolio conformado por futuros financieros y en segundo término para un portafolio contenido por contratos de opción.

5.1 Margen por Riesgo para Contratos de Futuro

El componente margen por riesgo de los futuros representa la pérdida potencial máxima esperada en un día de operación ante un cambio adverso en el precio del activo subyacente. Para ello, el modelo proyecta las pérdidas y ganancias simuladas de cada serie de futuro, de acuerdo con una serie de escenarios de precios del activo subyacente que fluctúan a través de la variación máxima esperada (simulación de escenarios).

Alza + 5.5	$\alpha_{i,j}^{+5.5} = vme_{i,j} \times (+5.5) \times M_{i,j}$
Alza + 4.5	$\alpha_{i,j}^{+4.5} = vme_{i,j} \times (+4.5) \times M_{i,j}$
Alza + 3.5	$\alpha_{i,j}^{+3.5} = vme_{i,j} \times (+3.5) \times M_{i,j}$
Alza + 2.5	$\alpha_{i,j}^{+2.5} = vme_{i,j} \times (+2.5) \times M_{i,j}$
Alza + 1.5	$\alpha_{i,j}^{+1.5} = vme_{i,j} \times (+1.5) \times M_{i,j}$
Baja - 1.5	$\alpha_{i,j}^{-1.5} = vme_{i,j} \times (-1.5) \times M_{i,j}$
Baja - 2.5	$\alpha_{i,j}^{-2.5} = vme_{i,j} \times (-2.5) \times M_{i,j}$
Baja - 3.5	$\alpha_{i,j}^{-3.5} = vme_{i,j} \times (-3.5) \times M_{i,j}$
Baja - 4.5	$\alpha_{i,j}^{-4.5} = vme_{i,j} \times (-4.5) \times M_{i,j}$
Baja - 5.5	$\alpha_{i,j}^{-5.5} = vme_{i,j} \times (-5.5) \times M_{i,j}$

En donde:

- $\alpha_{i,j}^{\pm z.5}$ Parámetro de margen por riesgo de cada escenario simulado del futuro u opción estilo futuro perteneciente al activo subyacente i y las serie j. En donde z es igual a +1 hasta +5 y desde -1 hasta -5.
- $vme_{i,j}$ Variación máxima esperada del futuro u opción estilo futuro correspondiente al activo subyacente i y serie j.

$M_{i,j}$ Número de activos subyacente i que ampara un futuro u opción estilo futuro correspondiente a la serie j .

En caso de la existencia de un grupo clase, el modelo calcula las pérdidas y ganancias simuladas para todo el portafolio, sumando las pérdidas y ganancias hipotéticas para las posiciones que utilizan el mismo criterio de fluctuación de precios a través de la variación máxima esperada, de esta manera, existe la posibilidad de compensar totalmente las pérdidas y ganancias de posiciones que están influenciadas por fluctuaciones de precios opuestas, en el caso de un grupo producto, las ganancias simuladas son reducidas multiplicándose por un factor de correlación del grupo, esto antes de ser utilizadas en la simulación de escenarios para cubrir las pérdidas.

Usualmente, las posiciones largas (compradoras) son representadas con un signo positivo, mientras que las posiciones cortas (vendedoras) son representadas con un signo negativo, dentro del arreglo de la metodología, se invierten los signos representando la cobertura, o bien, la neutralización de pérdidas. Por esta razón, el modelo determina la posición neta por riesgo del contrato perteneciente al grupo clase i , a partir de la diferencia siguiente:

$$F_{i,j} = \sum_{j=1}^n FC_j - \sum_{j=1}^n FL_j \quad (5.1.1)$$

En donde:

- $F_{i,j}$ Posición neta por riesgo del futuro o de la opción estilo futuro.
- $\sum_{j=1}^n FL_j$ Sumatoria de posiciones netas largas de las series (desde $j = 1$ hasta n) del futuro o de la opción estilo futuro.
- $\sum_{j=1}^n FC_j$ Sumatoria de posiciones netas cortas de las series (desde $j = 1$ hasta n) del futuro o de la opción estilo futuro.

Se determina el peor escenario o en su caso el mejor escenario del futuro perteneciente al grupo clase i , a partir de la simulación de alzas en el precio del activo subyacente:

$$\alpha_{i,j}^{z^{u,5}} \times F_{i,j} = \text{Peor/Mejor Escenario} \left\{ \alpha_{i,j}^{z^{5}} \times F_{i,j} \mid z = 1,..5 \right\} \quad (5.1.2)$$

De la misma forma, se determina el peor escenario o en su caso el mejor escenario simulado del futuro perteneciente al grupo clase i, a partir de la simulación de bajas en el precio del activo subyacente:

$$\alpha_{i,j}^{z^{d,5}} \times F_{i,j} = \text{Peor/Mejor Escenario} \left\{ \alpha_{i,j}^{z^{5}} \times F_{i,j} \mid z = 1,..5 \right\} \quad (5.1.3)$$

Finalmente, el componente de margen por riesgo del futuro perteneciente al grupo clase i se determina considerando el peor o en su caso el mejor escenario simulado del futuro.

$$CARF_{i,j} = \alpha_{i,j}^Z \times F_{i,j} = \text{Peor Escenario/Mejor Escenario} \left\{ \alpha_{r,i}^{z^{d,5}} \times P_{r,i}, \alpha_{r,i}^{z^{u,5}} \times P_{r,i} \right\} \quad (5.1.4)$$

5.2 Margen Opuesto para Contratos de Futuro

Considerando que los contratos de futuro de una misma clase con distintas expiraciones pueden presentar perfiles de riesgo altamente correlacionados y que la valuación de los referidos contratos se realiza de forma lineal; las posiciones largas y cortas de una clase de futuros con distintas fechas de vencimiento (posiciones opuestas) también pueden compensarse, ya que sus riesgos se mitigan parcialmente, sin embargo, los precios de Contratos con distintos vencimientos no muestran una correlación perfecta, persistiendo cierto riesgo.

En el escenario citado, el modelo determina el margen por posiciones opuestas, mismo que cubre el riesgo de correlación intermensual entre posiciones cortas y largas de una clase de futuros con distintas expiraciones.

$$S_{i,j} = \text{Min} \left\{ \sum_{j=1}^n FL_{i,j}, \sum_{j=1}^n FC_{i,j} \right\} \quad (5.2.1)$$

Donde:

- $S_{i,j}$ Posición Opuesta del futuro o de la opción estilo futuro.
- $\sum_{j=1}^n FL_{i,j}$ Sumatoria de posiciones netas largas de las series (desde $j = 1$ hasta n) del futuro o de la opción estilo futuro.
- $\sum_{j=1}^n FC_{i,j}$ Sumatoria de posiciones netas cortas de las series (desde $j = 1$ hasta n) del futuro o de la opción estilo futuro.

$$CAOF_{i,j} = 2\lambda_{i,j}S_{i,j} \quad (5.2.2)$$

Donde:

- $CAOF_{i,j}$ Componente de margen por posición opuesta del futuro

correspondiente al grupo clase i .

- $S_{i,j}$ Posición opuesta del futuro o de la opción estilo futuro.
- $\lambda_{i,j}$ Parámetro de margen por posición opuesta del futuro o de la opción estilo futuro.

Finalmente, cabe mencionar que en caso de que se presentarán problemas de estabilidad en el coeficiente que determina el parámetro de margen en posición opuesta y que se presentarán diferencias entre los plazos, por ejemplo que los contratos del mes de vencimiento inmediato tuviera un comportamiento diferenciado con el resto de meses listados, se podría manejar un margen por posición opuesta para los futuros en el mes de vencimiento. Sin embargo, en este trabajo no se incorpora este margen diferenciado y tampoco se ha propuesto su incorporación en el mercado.

5.3 Margen por Entrega para Contratos de Futuro

El margen por entrega para contratos de futuro cubre el riesgo de mercado durante la entrega física del activo subyacente, por lo que considera los efectos de un cambio adverso en los precios de los contratos en fecha de vencimiento para entrega en especie que estén en periodo de liquidación. Esto debido a que los contratos en fecha de vencimiento para entrega física pueden experimentar cambios de precios adicionales debido a la oferta y demanda de productos sujetos a entrega cuando la fecha de liquidación se aproxima. De este modo, el margen por entrega constituye un cargo para cubrir el riesgo de mercado entre las fechas de vencimiento y liquidación asociado a las posiciones en fecha de vencimiento para entrega física, por lo que substituye al margen por riesgo en el calculo de márgenes iniciales para contratos de futuro.

$$CAEF_{i,j} = \alpha_c P_{c,j} \quad (5.3.1)$$

En donde:

- $CAEF_{i,j}$ Componente de margen por entrega física del futuro correspondiente al grupo clase i.
- $P_{i,j}$ Posición neta al vencimiento, ofertada o en período de liquidación.
- α_j Parámetro de margen por entrega física del contrato.

5.4 Margen Total para Contratos de Futuro

El margen total requerido del futuro correspondiente al grupo clase j se determina como la suma de sus componentes.

$$ARF_{i,j} = CAOF_{i,j} + CAEF_{i,j} + CARF_{i,j} \quad (5.4.1)$$

En donde:

- $ARF_{i,j}$ Margen requerido del futuro correspondiente a los grupos clase i.
- $CARF_{i,j}$ Componente de margen por riesgo del futuro correspondiente al grupo clase i.
- $CAOF_{i,j}$ Componente de margen por posición opuesta del futuro correspondiente al grupo clase i.
- $CAEF_{i,j}$ Componente de margen por entrega del futuro correspondiente al grupo clase i.

Donde:

Si sustituimos las ecuaciones, tenemos que:

$$(5.4.2)$$

$$AF_i = (2 \times \alpha_{o,i} \times P_{o,i}) + (\alpha_{e,i} \times P_{e,i}) + (\alpha_{r,i}^z \times P_{r,i})$$

Cuando en un portafolio existan diversos contratos de futuro, pertenecientes a diferentes grupos clase (j), el margen requerido del portafolio de futuros será:

$$AF = \sum_{i=1}^n AF_i \quad (5.4.3)$$

Donde:

AF	Margen requerido del portafolio de futuros.
$\sum_{i=1}^n AF_i$	Sumatoria de márgenes requeridos de futuro correspondientes a los grupos clase i.

Una vez que hemos establecido todas las definiciones y fórmulas de determinación de los márgenes hasta ahora señalados, vamos a presentar el resultado con una aplicación concreta.

5.5 Aplicación de Metodología a Contratos de Futuro

Con la finalidad de fortalecer los argumentos teóricos vertidos en los puntos anteriores de la presente sección, se incorpora un caso práctico que permita fortalecer el análisis del modelo de marginación objeto del presente estudio.

Tomando como base los contratos de futuro negociados en el Mercado Mexicano de Derivados se instrumentó el presente caso práctico de la determinación del margen para un portafolio conformado por los contratos a futuro del dólar de los Estados Unidos y los futuros sobre el Bono de Desarrollo Gubernamental a tasa fija M10. De igual forma se consideró las características y parámetros básicos de los citados contratos como el tamaño del contrato y la variación máxima esperada y parámetro de aportación por posiciones opuestas y parámetro de margen por entrega, implementados por la Cámara de Compensación al momento de realizar el referido caso práctico. Como consideración final, se asumió el vencimiento de uno de los contratos para ejemplificar de manera detallada el cálculo del margen por entrega.

Contrato	Posición	Variación Máxima Esperada	Parámetro de Margen Opuesto	Parámetro de Margen por Entrega	Tamaño de Contrato	Posición
DEUA MR06	Corta	0.30	1,200.0	4,250.0	10,000.0	100.0
M10 MR06	Corta	2.50	1,675.0	3,950.0	1,000.0	50.0
DEUA ABR06 *	Corta	0.30	1,200.0	4,250.0	10,000.0	200.0
M10 ABR06	Larga	2.50	1,675.0	3,950.0	1,000.0	100.0
DEUA MAY06	Larga	0.30	1,200.0	4,250.0	10,000.0	100.0

* Contrato en fecha de vencimiento

Después de la obtención de los parámetros generales para un adecuado cálculo de los márgenes iniciales del portafolio de futuros, el primer paso es la identificación y determinación de posiciones opuestas, las cuales como se ha mencionado con antelación permitirán, junto con el parámetro de margen por posiciones opuestas determinar el riesgo intermensual contenido en el portafolio.

Determinación de Posiciones Opuestas

Contrato	Posiciones Largas	Posiciones Cortas	Contrato	Posiciones Largas	Posiciones Cortas
DEUA MR06		100	M10 MR06		50
DEUA MAY06	100.0		M10 ABR06	100.0	
Total	100.0	100.0	Total	100.0	50.0
Opuestas	100.0	100.0	Opuestas	50.0	50.0
Posición			Posición		
Abierta	0.0	0.0	Abierta	50.0	0.0

Una vez identificadas las posiciones opuestas contenidas en el portafolio, se debe proceder a efectuar la simulación de escenarios de pérdidas y ganancias para los contratos, empleando como insumo fundamental la variación máxima esperada de los contratos, el número de activos subyacentes que amparan cada uno de los contratos y la posición abierta en los referidos. Cabe resaltar que para las posiciones en fecha de vencimiento y/o periodo de liquidación sobre las cuales su entrega se realiza en especie, es el componente de margen por entrega el que considera el riesgo mercado, es por esto que en la simulación del contrato en fecha de vencimiento se observa sólo números “0”.

Simulación de Escenarios

Contrato	D5	D4	D3	D2	D1
DEUA MR06	-\$300,000.0	-\$240,000.0	-\$180,000.0	-\$120,000.0	-\$60,000.0
M10 MR06	-\$125,000.0	-\$100,000.0	-\$75,000.0	-\$50,000.0	-\$25,000.0
DEUA ABR06*	\$0.0	\$0.0	\$0.0	\$0.0	\$0.0
M10 ABR06	\$250,000.0	\$200,000.0	\$150,000.0	\$100,000.0	\$50,000.0
DEUA MAY06	\$300,000.0	\$240,000.0	\$180,000.0	\$120,000.0	\$60,000.0

Contrato	U1	U2	U3	U4	U5
DEUA MR06	\$60,000.0	\$120,000.0	\$180,000.0	\$240,000.0	\$300,000.0
M10 MR06	\$25,000.0	\$50,000.0	\$75,000.0	\$100,000.0	\$125,000.0
DEUA ABR06*	\$0.0	\$0.0	\$0.0	\$0.0	\$0.0
M10 ABR06	-\$50,000.0	-\$100,000.0	-\$150,000.0	-\$200,000.0	-\$250,000.0
DEUA MAY06	-\$60,000.0	-\$120,000.0	-\$180,000.0	-\$240,000.0	-\$300,000.0

Como paso siguiente y fundamental para complementar la simulación de escenarios, los Contratos se deben segregar y compensar, en caso de ser necesario, dentro de sus respectivos Grupos Clase o Grupos Producto, se debe recordar que en un Grupo Clase las pérdidas y ganancias simuladas son compensadas al 100 por ciento, mientras que en un

Grupo Producto, dichas pérdidas y ganancias sólo son compensadas parcialmente, a través de un Factor de Correlación.

Margen por Riesgo por Grupo Clase DEUA

Contrato	D5	D4	D3	D2	D1
DEUA MR06	-\$300,000.0	-\$240,000.0	-\$180,000.0	-\$120,000.0	-\$60,000.0
DEUA MAY06	\$300,000.0	\$240,000.0	\$180,000.0	\$120,000.0	\$60,000.0
Total	\$0.0	\$0.0	\$0.0	\$0.0	\$0.0

Contrato	U1	U2	U3	U4	U5
DEUA MR06	\$60,000.0	\$120,000.0	\$180,000.0	\$240,000.0	\$300,000.0
DEUA MAY06	-\$60,000.0	-\$120,000.0	-\$180,000.0	-\$240,000.0	-\$300,000.0
Total	\$0.0	\$0.0	\$0.0	\$0.0	\$0.0

Margen por Riesgo por Grupo Clase M10

Contrato	D5	D4	D3	D2	D1
M10 MR06	-\$125,000.0	-\$100,000.0	-\$75,000.0	-\$50,000.0	-\$25,000.0
M10 ABR06	\$250,000.0	\$200,000.0	\$150,000.0	\$100,000.0	\$50,000.0
Total	\$125,000.0	\$100,000.0	\$75,000.0	\$50,000.0	\$25,000.0

Contrato	U1	U2	U3	U4	U5
M10 MR06	\$25,000.0	\$50,000.0	\$75,000.0	\$100,000.0	\$125,000.0
M10 ABR06	-\$50,000.0	-\$100,000.0	-\$150,000.0	-\$200,000.0	-\$250,000.0
Total	-\$25,000.0	-\$50,000.0	-\$75,000.0	-\$100,000.0	-\$125,000.0

De los escenarios de pérdidas y ganancias simuladas para cada uno de los grupos clase (No se menciona en este caso grupos producto, dado que la metodología es distinta, ver apartado sobre contratos de opción) se debe extraer los peores o en su defecto mejores escenarios para posteriormente poder obtener el margen por riesgo por grupo clase.

Margen por Riesgo por Grupo Clase

DEUA		M10	
Peor/Mejor Escenario		Peor/Mejor Escenario	
(D1,D5)	(U1,U5)	(D1,D5)	(U1,U5)
\$0.0	\$0.0	\$125,000.0	-\$125,000.0

De manera similar y una vez que se cuenta con las variables necesarias para obtener el margen por posiciones opuestas, se procede a determinar, dicho componente, igualmente realizando la segregación por grupo clase.

Margen Opuesto por Grupo Clase DEUA			Margen Opuesto por Grupo Clase M10		
Parámetro de Margen Opuesto	Posiciones Opuestas	Margen Opuesto	Parámetro de Margen Opuesto	Posiciones Opuestas	Margen Opuesto
1,200.0	200.0	\$240,000.0	1,675.0	100.0	\$167,500.0

Para el caso del margen por entrega, este se obtiene con el parámetro de margen por entrega, la variación máxima esperada y las posiciones al vencimiento y/o en periodo de liquidación relevantes. Esto efectuando la comentada segregación por grupo clase o grupo producto.

Margen por Entrega por Grupo Clase DEUA			Margen por Entrega por Grupo Clase M10		
Parámetro de Margen por Entrega	Posiciones Vencimiento	Margen por Entrega	Parámetro de Margen por Entrega	Posiciones Vencimiento	Margen por Entrega
4,250.0	200	\$850,000.0	3,950.0	0	\$0.0

Finalmente, el margen total para el presente portafolio conformado por dos contratos de futuro asociados a diferentes grupos clase, el requerimiento será igual a la sumatoria de los márgenes totales asociados a cada uno de los grupos clase, mismos que son obtenidos mediante la sumatoria de sus componentes. Es decir, el requerimiento total para el grupo clase al cual pertenece el Bono M10 es igual a la sumatoria de sus componentes de margen por riesgo y margen por posiciones opuestas, dado que en este caso en particular no se consideran posiciones al vencimiento, el margen por entrega para el grupo clase en cuestión es nulo.

Margen Total

Margen DEUA	Margen M10	Margen Total
\$1,090,000.0	\$292,500.0	\$1,382,500.0

5.6 Margen por Prima para Contratos de Opción

En el caso de los contratos de opción, aquellos conformados como *premium-up-front*³⁵, involucran el componente denominado margen por prima, el cual considera el costo de liquidar un contrato de opción a precio de mercado. De este modo, las posiciones largas (compradoras) son representadas con signo negativo, mientras que las posiciones cortas (vendedoras) son representadas con signo positivo. Considerando que los compradores de opciones (posiciones largas) obtienen el derecho de comprar o vender el activo subyacente a cambio de una prima, el requerimiento para estas posiciones es nulo, siendo su riesgo máximo en caso de que el contrato expire sin ser ejercido la pérdida total de la prima. Sin embargo, el modelo determina diariamente el valor de estos contratos, con el propósito de acreditar márgenes para disminuir requerimientos por otras obligaciones. En sentido opuesto, el vendedor de la opción (posición corta) es quién asume la obligación de depositar el margen por prima. Por tanto, dicha aportación constituye un crédito para el tenedor de la posición larga. Este crédito lo debemos entender como un “saldo a favor” del agente con la posición corta que puede ser utilizado exclusivamente en el caso de que llegase a incorporar posiciones cortas en su portafolio en distintas series de opciones, en caso contrario este crédito no genera en absoluto ningún flujo para el comprador de opciones distinto al que se puede generar en caso de que él ejerza la opción larga.

Para el caso del agente que mantiene la posición corta, la prima de mercado constituye un débito o requerimiento, debido a que representa el costo de recompra de la opción en caso de un incumplimiento por parte de él hacia la Cámara. Este es un componente de suma importancia en el margen total y debe de ser valuado diariamente de acuerdo a los Precios de Liquidación que determina y publica el mercado.

³⁵ En el caso de las opciones estilo *premium-up-front*, no se liquidan diariamente las pérdidas y ganancias, debido a que el pago de las primas negociadas se efectúa en la fecha de concertación del contrato (importes por prima) y el ejercicio de los derechos ocurre hasta el ejercicio de la opción.

El cálculo del margen por prima implica el producto del precio de la opción (prima de mercado) por el número de activos subyacentes que ampara cada contrato, por la posición neta sobre el contrato de opción.

$$CAP_{i,j} = \varphi_{i,j} \times O_{i,j} \quad (5.6.1)$$

Donde:

- $CAP_{i,j}$ Componente de margen por prima de la opción correspondiente al subyacente i y serie j.
- $\varphi_{i,j}$ Parámetro de margen por prima de la opción correspondiente al subyacente i y serie j.
- $O_{i,j}$ Posición neta de la opción correspondiente al subyacente i y serie j.

El parámetro de margen por prima de la opción se determina como:

$$\varphi_{i,j} = P_{i,j} \times M_{i,j} \quad (5.6.2)$$

Donde:

- $\varphi_{i,j}$ Parámetro de margen por prima o costo de liquidación de la opción a precio de mercado correspondiente al subyacente i y serie j.
- $P_{i,j}$ Prima de mercado (liquidación) de la opción correspondiente al subyacente i y serie j.
- $M_{i,j}$ Número de activos subyacentes que ampara cada opción correspondiente al subyacente i y serie j.

Mientras que la posición neta de la opción correspondiente al subyacente i y serie j, se determina como:

$$O_{i,j} = OC_{i,j} - OL_{i,j} \quad (5.6.3)$$

Donde:

$O_{i,j}$ Posición neta de la opción correspondiente al subyacente i y serie j.

$OC_{i,j}$ Total de contratos de venta correspondientes al subyacente i y serie j.

$OL_{i,j}$ Total de contratos de compra correspondientes al subyacente i y serie j.

Para el caso de las posiciones asignadas o ejercidas, el margen por prima representa un crédito para las posiciones ejercidas, implicando una ganancia por comprar el activo subyacente al precio de ejercicio y venderlo a su precio de mercado; en contraste, para las posiciones asignadas representa un débito, ya que se traduce en la pérdida en caso de que se compre a precios de mercado. Lo anterior es posible plantearlo así ya que finalmente todos los derechos y obligaciones financieras que se originan del portafolio que se mantenga abierto, es con respecto a la misma contraparte que es la Cámara de Compensación.

5.7 Margen por Riesgo para Contratos de Opción

De forma similar que los futuros y opciones estilo futuros, el margen por riesgo de los contratos de opción premium-up-front representa la pérdida máxima potencial durante un día ante un cambio adverso en el precio del activo subyacente asociado al contrato de opción. El componente en cuestión se determina a través de la simulación de diez primas teóricas calculadas mediante diez escenarios simulados, los cuales son fijados usando teoría de valuación de opciones (Binomial, Black 76, Black&Scholes o Barone Adesi&Whaley) en conjunto con la variación máxima esperada, de tal forma que dados una serie de parámetros³⁶ como la volatilidad (σ), la tasa de dividendos (q), la tasa de interés (r), el precio de ejercicio (X), el plazo (T) y el precio del subyacente (S) modificado a través de cada uno de los diez escenarios simulados mediante la variación máxima esperada, el modelo de valuación fijará el valor teórico de una posición a un precio específico del activo subyacente.

$$\text{Alza} + 5/5 \quad \varphi_{i,j}^{+5/5} = \left\{ P_{i,j}^{+5/5} | S_{i,j} + \frac{5}{5} vme_{i,j}, X_{i,j}, r_{i,j}, q_{i,j}, T_{i,j}, \sigma_{i,j} \right\} \times M_{i,j}$$

$$\text{Alza} + 4/5 \quad \varphi_{i,j}^{+4/5} = \left\{ P_{i,j}^{+4/5} | S_{i,j} + \frac{4}{5} vme_{i,j}, X_{i,j}, r_{i,j}, q_{i,j}, T_{i,j}, \sigma_{i,j} \right\} \times M_{i,j}$$

$$\text{Alza} + 3/5 \quad \varphi_{i,j}^{+3/5} = \left\{ P_{i,j}^{+3/5} | S_{i,j} + \frac{3}{5} vme_{i,j}, X_{i,j}, r_{i,j}, q_{i,j}, T_{i,j}, \sigma_{i,j} \right\} \times M_{i,j}$$

$$\text{Alza} + 2/5 \quad \varphi_{i,j}^{+2/5} = \left\{ P_{i,j}^{+2/5} | S_{i,j} + \frac{2}{5} vme_{i,j}, X_{i,j}, r_{i,j}, q_{i,j}, T_{i,j}, \sigma_{i,j} \right\} \times M_{i,j}$$

$$\text{Alza} + 1/5 \quad \varphi_{i,j}^{+1/5} = \left\{ P_{i,j}^{+1/5} | S_{i,j} + \frac{1}{5} vme_{i,j}, X_{i,j}, r_{i,j}, q_{i,j}, T_{i,j}, \sigma_{i,j} \right\} \times M_{i,j}$$

$$\text{Baja} - 1/5 \quad \varphi_{i,j}^{-1/5} = \left\{ P_{i,j}^{-1/5} | S_{i,j} - \frac{1}{5} vme_{i,j}, X_{i,j}, r_{i,j}, q_{i,j}, T_{i,j}, \sigma_{i,j} \right\} \times M_{i,j}$$

³⁶ Como ya se ha señalado, los parámetros en cuestión se utilizan de la siguientes fuentes: volatilidad es la volatilidad implícita generada obtenida a partir de los precios de liquidación del día anterior para cada serie de opción; la tasa de dividendos se obtiene de la Bolsa Mexicana de Valores (BMV) considerando el porcentaje de dividendos pagados en el año anterior y se va “consumiendo” o capitalizando a lo largo del año; el precio del activo subyacente se obtiene de la BMV como el último precio de mercado.

$$\text{Baja - 2/5} \quad \varphi_{i,j}^{-2/5} = \left\{ P_{i,j}^{-2/5} \mid S_{i,j} - \frac{2}{5} v m e_{i,j}, X_{i,j}, r_{i,j}, q_{i,j}, T_{i,j}, \sigma_{i,j} \right\} \times M_{i,j}$$

$$\text{Baja - 3/5} \quad \varphi_{i,j}^{-3/5} = \left\{ P_{i,j}^{-3/5} \mid S_{i,j} - \frac{3}{5} v m e_{i,j}, X_{i,j}, r_{i,j}, q_{i,j}, T_{i,j}, \sigma_{i,j} \right\} \times M_{i,j}$$

$$\text{Baja - 4/5} \quad \varphi_{i,j}^{-4/5} = \left\{ P_{i,j}^{-4/5} \mid S_{i,j} - \frac{4}{5} v m e_{i,j}, X_{i,j}, r_{i,j}, q_{i,j}, T_{i,j}, \sigma_{i,j} \right\} \times M_{i,j}$$

$$\text{Baja - 5/5} \quad \varphi_{i,j}^{-5/5} = \left\{ P_{i,j}^{-5/5} \mid S_{i,j} - \frac{5}{5} v m e_{i,j}, X_{i,j}, r_{i,j}, q_{i,j}, T_{i,j}, \sigma_{i,j} \right\} \times M_{i,j}$$

De forma similar que en el caso del componente de margen por prima, dentro de los escenarios simulados para determinar el margen por riesgo de un contrato de opción, las posiciones largas (compradoras) son representadas con signo negativo, mientras que las posiciones cortas (vendedoras) son representadas con signo positivo.

$$\text{Alza + 5/5} \quad CR_{i,j}^{+5/5} = (\varphi_{i,j}^{+5/5} - \varphi_{i,j}) \times O_{i,j}$$

$$\text{Alza + 4/5} \quad CR_{i,j}^{+4/5} = (\varphi_{i,j}^{+4/5} - \varphi_{i,j}) \times O_{i,j}$$

$$\text{Alza + 3/5} \quad CR_{i,j}^{+3/5} = (\varphi_{i,j}^{+3/5} - \varphi_{i,j}) \times O_{i,j}$$

$$\text{Alza + 2/5} \quad CR_{i,j}^{+2/5} = (\varphi_{i,j}^{+2/5} - \varphi_{i,j}) \times O_{i,j}$$

$$\text{Alza + 1/5} \quad CR_{i,j}^{+1/5} = (\varphi_{i,j}^{+1/5} - \varphi_{i,j}) \times O_{i,j}$$

$$\text{Baja - 1/5} \quad CR_{i,j}^{-1/5} = (\varphi_{i,j}^{-1/5} - \varphi_{i,j}) \times O_{i,j}$$

$$\text{Baja - 2/5} \quad CR_{i,j}^{-2/5} = (\varphi_{i,j}^{-2/5} - \varphi_{i,j}) \times O_{i,j}$$

$$\text{Baja - 3/5} \quad CR_{i,j}^{-3/5} = (\varphi_{i,j}^{-3/5} - \varphi_{i,j}) \times O_{i,j}$$

$$\text{Baja - 4/5} \quad CR_{i,j}^{-4/5} = (\varphi_{i,j}^{-4/5} - \varphi_{i,j}) \times O_{i,j}$$

$$\text{Baja - 5/5} \quad CR_{i,j}^{-5/5} = (\varphi_{i,j}^{-5/5} - \varphi_{i,j}) \times O_{i,j}$$

Se determina el peor escenario o en su caso el mejor escenario de la opción correspondiente al subyacente i y serie j, a partir de la simulación de alzas en el precio del activo subyacente:

$$\left(\varphi_{i,j}^{+z^{u5}} - \varphi_{i,j}\right) \times O_{i,j} = \text{Peor/Mejor Escenario} \left\{ \left(\varphi_{i,j}^{+z^5} - \varphi_{i,j}\right) \times O_{i,j} \mid z = 1,..5 \right\} \quad (5.7.1)$$

De la misma forma, se determina el peor escenario o en su caso el mejor escenario simulado de la opción correspondiente al subyacente i y serie j, a partir de la simulación de alzas en el precio del activo subyacente:

$$\left(\varphi_{i,j}^{-z^{u5}} - \varphi_{i,j}\right) \times O_{i,j} = \text{Peor/Mejor Escenario} \left\{ \left(\varphi_{i,j}^{-z^5} - \varphi_{i,j}\right) \times O_{i,j} \mid z = 1,..5 \right\} \quad (5.7.2)$$

Finalmente, el componente de margen por riesgo de la opción correspondiente al subyacente i y serie j, a partir de la simulación de alzas en el precio del activo subyacente:

$$CARO_{i,j} = \left(\varphi_{i,j}^z - \varphi_{i,j}\right) \times O_{i,j} \quad (5.7.3)$$

$$= \text{Peor Escenario/Mejor Escenario} \left\{ \left(\varphi_{i,j}^{+z^{u5}} - \varphi_{i,j}\right) \times O_{i,j}, \left(\varphi_{i,j}^{-z^{u5}} - \varphi_{i,j}\right) \times O_{i,j} \right\}$$

Es muy importante señalar que dado que estamos considerando que dentro de un portafolio pueden existir tanto futuros como opciones, y dado que estos últimos productos no son lineales en su precio, las peores pérdidas en una simulación no necesariamente son los extremos de los precios simulados.

Al calcular el margen para un portafolio que contiene más de un instrumento y, después instrumentos con diferentes activos subyacentes, se tiene que tomar en consideración la correlación entre los activos subyacentes.

El modelo de marginación considera la correlación entre los activos subyacentes en el momento de calcular el margen riesgo. En el último paso del cálculo del margen riesgo para un grupo clase, el modelo determina si el grupo clase es parte de algún grupo producto. Si es el caso, el agregado de cada uno de los escenarios simulados de margen por riesgo que representen un crédito (signo negativo) se multiplican por un factor de

compensación, el cual es determinado por la Cámara de Compensación tomando como base el grado de correlación entre los activos subyacentes que conforman el grupo producto. El factor es aplicado en virtud de que no se desea usar todo el crédito, ya que esto indicaría una correlación total, como en el caso de los instrumentos contenidos en un grupo clase.

Considerando lo anterior, el margen por riesgo para un grupo pProducto será igual al máximo entre el acumulado de los peores (mejores) escenarios a la alza y a la baja por grupo clase, los cuales antes de ser acumulados son descontados por el factor de correlación relevante para el grupo producto.

$$CRGP = \left\{ \text{Max} \left\{ \sum_{i=1}^n (\varphi_{i,j}^{+z_{i,j}^5} - \varphi_{i,j}) \times O_{i,j}, \sum_{i=1}^n (\varphi_{i,j}^{-z_{i,j}^5} - \varphi_{i,j}) \times O_{i,j} \right\} \right\} \quad (5.7.4)$$

Donde:

- $CRGP$ Margen por riesgo del grupo producto.
- $(\varphi_{i,j}^{+z_{i,j}^5} - \varphi_{i,j}) \times O_{i,j}$ Peores (mejores) escenarios a la alza por grupo clase.
- $(\varphi_{i,j}^{-z_{i,j}^5} - \varphi_{i,j}) \times O_{i,j}$ Peores (mejores) escenarios a la baja por grupo clase.

Ahora, vamos a plantear y desarrollar el caso en el cual dentro del portafolio existen contratos que son ejercidos, o bien que llegan a su vencimiento y se realizará la entrega del activo subyacente y no necesariamente en el mismo plazo considerado en el horizonte de tiempo de variación máxima esperada, es decir, vamos a analizar el margen de entrega para contrato de opción.

5.8 Margen por Entrega para Contratos de Opción

De manera similar que para los futuros y las opciones estilo futuros, el margen por entrega de las opciones cubre el riesgo de la entrega física del activo subyacente, tomando en cuenta los efectos de un cambio adverso en los precios en los contratos en fecha de vencimiento y/o periodo de liquidación para entrega en especie.

$$CAEO_{i,j} = \alpha_e \times P_{i,j} \quad (5.8.1)$$

- $CAEO_{i,j}$ Componente de margen por entrega física de la opción correspondiente al subyacente i y serie j .
- α_e Parámetro de margen por entrega física del contrato.
- $P_{i,j}$ Posición neta de la opción ejercida o a la fecha de vencimiento de la opción correspondiente al subyacente i y serie j .

Sin embargo, éste componente incorpora una diferencia esencial, derivada de las características específicas de las opciones, y especialmente de las opciones estilo americano, que tienen la posibilidad de ser ejercidas antes de su expiración. Esta propiedad implica un cambio drástico en el margen por entrega de las opciones, ya que en caso de que un contrato sea ejercido en cualquier fecha (excepto un día) antes de su fecha de vencimiento, el margen por entrega de las opciones recibe un tratamiento de margen por riesgo³⁷, por otra parte, si la posición es ejercida un día antes del vencimiento, el margen por entrega recibe el tratamiento de margen por riesgo, y el día siguiente, en la fecha de vencimiento, éste recibe el tratamiento de margen por entrega ajustado, el cual se determina de la misma manera que en la ecuación (5.3.1), sin embargo, el parámetro de margen por entrega es ajustado de la siguiente manera:

$$\alpha_e^* = \alpha_e \frac{t_2}{t_1} \quad (5.8.2)$$

³⁷ Se debe recordar que el valor de la prima de una opción en la Fecha de Ejercicio es igual a su Valor Intrínseco. Por tal motivo, en la fecha de ejercicio, los Valores Teóricos constituyen Valores Intrínsecos Simulados.

El ajuste permite agregar el componente de tiempo real a la volatilidad de los contratos, asumiendo una distribución normal de los rendimientos del Contrato en cuestión. Lo anterior permite evitar el requerir recursos adicionales a los necesarios para cubrir el riesgo mercado entre las fechas de vencimiento y liquidación de un contrato.

5.9 Margen Total para Contratos de Opción

Finalmente, el margen total requerido de la opción sobre activo subyacente i y la serie j , se calcula de la siguiente forma:

$$ARO_{i,j} = CAP_{i,j} + CAEO_{i,j} + CARO_{i,j} \quad (5.9.1)$$

En donde:

$ARO_{i,j}$	Margen requerido de la opción correspondientes a los grupos clase i .
$CARO_{i,j}$	Componente de margen por riesgo de la opción correspondiente al grupo clase i .
$CAP_{i,j}$	Componente de margen por prima de la opción correspondiente al grupo clase i .
$CAEO_{i,j}$	Componente de margen por entrega de la opción correspondiente al grupo clase i .

Cuando en un portafolio existan diversos contratos pertenecientes a diferentes grupos clase o grupos producto, el margen requerido del portafolio será:

$$MT = \sum_{i=1}^n GC_i + \sum_{j=1}^n GP_j \quad (5.9.2)$$

MT	Margen requerido del portafolio.
$\sum_{i=1}^n GC_i$	Sumatoria de márgenes requeridos correspondientes a los Grupos Clase i .
$\sum_{j=1}^n GP_j$	Sumatoria de márgenes requeridos correspondientes a los Grupos Clase j .

Nuevamente, una vez que hemos realizado las definiciones correspondientes y establecidos distintas ecuaciones de cálculo de distintos márgenes para opciones, vamos a desarrollar una aplicación con un portafolio determinado.

5.10 Aplicación de Metodología a Contratos de Opción

Tomando como base los contratos de opción negociados en el Mercado Mexicano de Derivados se instrumentó el presente caso práctico de la determinación del margen para un portafolio conformado por los contratos de opción sobre el Índice de Precios y Cotizaciones de la Bolsa Mexicana de Valores, las acciones representativas del capital social de América Móvil, S.A. de C.V. y los títulos referenciados que pretenden reproducir el rendimiento del Índice de Precios y Cotizaciones de la Bolsa Mexicana de Valores, los cuales se asumió que pertenecen a un grupo producto denominado “Instrumentos del Mercado de Capitales” con un factor de correlación del 50 por ciento. Del mismo modo, se consideró las características los citados contratos como el tamaño del contrato y sus respectivas primas de mercado para determinar el componente de margen por prima.

Contrato	Tipo de Posición	Prima de Mercado	Margen por Prima	Tamaño de Contrato	Posición
IP SP06 <i>Call</i>	Corta	\$2,205.00	4,410,000.00	10.0	200.0
AX MR06 <i>Put</i>	Corta	\$0.0226	904.00	100.0	400.0
IP SP06 <i>Call</i>	Larga	\$1,906.50	-1,906,500.00	10.0	-100.0
NA SP07 <i>Call</i>	Corta	\$3.09	92,625.00	100.0	300.0
IP MR06 <i>Call</i>	Larga	\$1,872.30	-3,744,600.00	10.0	-200.0
IP MR06 <i>Put</i>	Corta	\$425.90	1,703,600.00	10.0	400.0

Después de la obtención de los parámetros necesarios para un adecuado cálculo de los márgenes iniciales del portafolio, el primer paso es efectuar la simulación de escenarios de pérdidas y ganancias simulados para los contratos, empleando como insumo fundamental los valores teóricos de los contratos, el número de activos subyacentes que amparan cada uno de los contratos y la posición abierta en los referidos. Cabe hacer notar nuevamente que las posiciones largas exhiben signo negativo, mientras que las posiciones cortas, consideran signo positivo, lo anterior considerando el riesgo máximo a los contratos largos de opciones, aspecto que se menciona en los apartados de margen por

prima y margen por riesgo. Finalmente, cabe resaltar que en uno de los escenarios simulados fue necesario emplear el margen mínimo para opciones cortas.

Simulación de Escenarios

Contrato/	D5	D4	D3	D2	D1
VTS**	1,771.90	1,857.10	1,942.30	2,027.50	2,112.70
IP SP06 <i>Call</i>	3,543,800.00	3,714,200.00	3,884,600.00	4,055,000.00	4,225,400.00
VTS**	0.1400*	0.0893	0.0625	0.0454	0.0317
AX MR06 <i>Put</i>	5,600.00	3,572.00	2,500.00	1,816.00	1,268.00
VTS**	1,499.10	1,571.70	1,650.90	1,736.10	1,821.30
IP SP06 <i>Call</i>	-1,499,100.00	-1,571,700.00	-1,650,900.00	-1,736,100.00	-1,821,300.00
VTS**	1.1278	1.4488	1.7989	2.2039	2.6182
NA SP07 <i>Call</i>	33,834.00	43,464.00	53,967.00	66,117.00	78,546.00
VTS**	1,449.10	1,531.20	1,613.30	1,695.30	1,778.90
IP MR06 <i>Call</i>	-2,898,200.00	-3,062,400.00	-3,226,600.00	-3,390,600.00	-3,557,800.00
VTS**	602.60	564.70	526.80	488.90	452.50
IP MR06 <i>Put</i>	2,410,400.00	2,258,800.00	2,107,200.00	1,955,600.00	1,810,000.00

Contrato	U1	U2	U3	U4	U5
VTS**	2,300.90	2,396.80	2,492.70	2,588.60	2,684.50
IP SP06 <i>Call</i>	4,601,800.00	4,793,600.00	4,985,400.00	5,177,200.00	5,369,000.00
VTS**	0.0160	0.0108	0.0079	0.0051	0.0038
AX MR06 <i>Put</i>	640.00	432.00	316.00	205.20	152.00
VTS**	1,991.70	2,076.90	2,162.10	2,251.30	2,347.20
IP SP06 <i>Call</i>	-1,991,700.00	-2,076,900.00	-2,162,100.00	-2,251,300.00	-2,347,200.00
VTS**	3.5574	4.0704	4.5848	5.1247	5.6720
NA SP07 <i>Call</i>	106,722.00	122,112.00	137,544.00	153,741.00	170,160.00
VTS**	1,965.60	2,058.90	2,152.30	2,245.60	2,338.90
IP MR06 <i>Call</i>	-3,931,200.00	-4,117,800.00	-4,304,600.00	-4,491,200.00	-4,677,800.00
VTS**	399.20	372.50	345.80	319.10	292.40
IP MR06 <i>Put</i>	1,596,800.00	1,490,000.00	1,383,200.00	1,276,400.00	1,169,600.00

* Valor Teórico Ajustado

** Valor Teórico Simulado

Como paso siguiente y fundamental para complementar la simulación de escenarios, los contratos se deben segregar y compensar, en caso de ser necesario, dentro de sus respectivos grupos clase o grupos producto, se debe recordar que en un grupo clase las pérdidas y ganancias simuladas son compensadas al 100 por ciento, mientras que en un grupo producto, dichas pérdidas y ganancias sólo son compensadas parcialmente, a través de un factor de correlación. De este modo y asumiendo la existencia de tres distintos

grupos clase, por cada uno de estos se compensa en primer lugar las pérdidas y ganancias simuladas al 100 por ciento. Una vez efectuado lo anterior se descuenta los requerimientos correspondientes al margen por prima a cada uno de los agregados de los escenarios simulados a la baja y a la alza, esto con la finalidad de capturar solamente la variación máxima potencial de un contrato de opción, respecto de su costo de liquidación a precios de mercado durante un horizonte de tiempo equivalente a un día. Lo anterior permite obtener los requerimientos por grupo clase de un portafolio que contiene opciones. Cabe destacar que en el caso de los portafolios que contienen únicamente futuros, el procedimiento mencionado con antelación, no tiene sentido, ya que los requerimientos de margen por prima para los contratos referidos son nulos.

AIM por Riesgo por Grupo Clase IPC

Contrato	D5	D4	D3	D2	D1
VTS**	1,771.90	1,857.10	1,942.30	2,027.50	2,112.70
IP SP06 Call	3,543,800.00	3,714,200.00	3,884,600.00	4,055,000.00	4,225,400.00
VTS**	1,499.10	1,571.70	1,650.90	1,736.10	1,821.30
IP SP06 Call	-1,499,100.00	-1,571,700.00	-1,650,900.00	-1,736,100.00	-1,821,300.00
VTS**	1,449.10	1,531.20	1,613.30	1,695.30	1,778.90
IP MR06 Call	-2,898,200.00	-3,062,400.00	-3,226,600.00	-3,390,600.00	-3,557,800.00
VTS**	602.60	564.70	526.80	488.90	452.50
IP MR06 Put	2,410,400.00	2,258,800.00	2,107,200.00	1,955,600.00	1,810,000.00
AP***	-462,500.00	-462,500.00	-462,500.00	-462,500.00	-462,500.00
SUMA(D1...D5)	1,556,900.00	1,338,900.00	1,114,300.00	883,900.00	656,300.00
TOTAL	1,094,400.00	876,400.00	651,800.00	421,400.00	193,800.00

*** Margen por Prima

Contrato	U1	U2	U3	U4	U5
VTS**	2,300.90	2,396.80	2,492.70	2,588.60	2,684.50
IP SP06 Call	4,601,800.00	4,793,600.00	4,985,400.00	5,177,200.00	5,369,000.00
VTS**	1,991.70	2,076.90	2,162.10	2,251.30	2,347.20
IP SP06 Call	-1,991,700.00	-2,076,900.00	-2,162,100.00	-2,251,300.00	-2,347,200.00
VTS**	1,965.60	2,058.90	2,152.30	2,245.60	2,338.90
IP MR06 Call	-3,931,200.00	-4,117,800.00	-4,304,600.00	-4,491,200.00	-4,677,800.00
VTS**	399.20	372.50	345.80	319.10	292.40
IP MR06 Put	1,596,800.00	1,490,000.00	1,383,200.00	1,276,400.00	1,169,600.00
AP***	-462,500.00	-462,500.00	-462,500.00	-462,500.00	-462,500.00
SUMA(D1...D5)	275,700.00	88,900.00	-98,100.00	-288,900.00	-486,400.00
TOTAL	-186,800.00	-373,600.00	-560,600.00	-751,400.00	-948,900.00

*** Margen por Prima

Margen por Riesgo por Grupo Clase AX

Contrato	D5	D4	D3	D2	D1
VTS**	0.14*	0.09	0.06	0.05	0.03
AX MR06 <i>Put</i>	5,600.00	3,572.00	2,500.00	1,816.00	1,268.00
AP***	-904.00	-904.00	-904.00	-904.00	-904.00
SUMA(D1...D5)	4,696.00	2,668.00	1,596.00	912.00	364.00

Contrato	U1	U2	U3	U4	U5
VTS**	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00
AX MR06 <i>Put</i>	640.00	432.00	316.00	205.20	152.00
AP***	-904.00	-904.00	-904.00	-904.00	-904.00
SUMA(D1...D5)	-264.00	-472.00	-588.00	-698.80	-752.00

Margen por Riesgo por Grupo Clase NA

Contrato	D5	D4	D3	D2	D1
VTS**	1.13	1.45	1.80	2.20	2.62
NA SP07 <i>Call</i>	33,834.00	43,464.00	53,967.00	66,117.00	78,546.00
AP***	-92,625.00	-92,625.00	-92,625.00	-92,625.00	-92,625.00
SUMA(D1...D5)	-58,791.00	-49,161.00	-38,658.00	-26,508.00	-14,079.00

Contrato	U1	U2	U3	U4	U5
VTS**	3.56	4.07	4.58	5.12	5.67
NA SP07 <i>Call</i>	106,722.00	122,112.00	137,544.00	153,741.00	170,160.00
AP***	-92,625.00	-92,625.00	-92,625.00	-92,625.00	-92,625.00
SUMA(D1...D5)	14,097.00	29,487.00	44,919.00	61,116.00	77,535.00

Cuando se determina los escenarios para obtener los requerimientos por grupo clase, y en caso de que no exista un grupo producto, el requerimiento de margen por riesgo será simplemente el equivalente al máximo entre el peor o mejor escenario simulado a la baja o a la alza. Sin embargo, ante la existencia de un grupo producto, cada uno de los escenarios simulados por grupo clase debe ser descontado mediante el factor de correlación, en este caso del 50 por ciento.

Compensación por Grupo Producto

Grupo	D5	D4	D3	D2	D1
IPC	1,094,400.00	876,400.00	651,800.00	421,400.00	193,800.00
Factor	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
Total	1,094,400.00	876,400.00	651,800.00	421,400.00	193,800.00
NA	-58,791.00	-49,161.00	-38,658.00	-26,508.00	-14,079.00
Factor	50.00%	50.00%	50.00%	50.00%	50.00%
Total	-29,395.50	-24,580.50	-19,329.00	-13,254.00	-7,039.50
AXL	4,696.00	2,668.00	1,596.00	912.00	364.00
Factor	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
Total	4,696.00	2,668.00	1,596.00	912.00	364.00
Grupo	U1	U2	U3	U4	U5
IPC	-186,800.00	-373,600.00	-560,600.00	-751,400.00	-948,900.00
Factor	50.00%	50.00%	50.00%	50.00%	50.00%
Total	-93,400.00	-186,800.00	-280,300.00	-375,700.00	-474,450.00
NA	14,097.00	29,487.00	44,919.00	61,116.00	77,535.00
Factor	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
Total	14,097.00	29,487.00	44,919.00	61,116.00	77,535.00
AXL	-264.00	-472.00	-588.00	-698.80	-752.00
Factor	50.00%	50.00%	50.00%	50.00%	50.00%
Total	-132.00	-236.00	-294.00	-349.40	-376.00

Después de efectuada la compensación por grupo producto, el margen por riesgo para el grupo producto es igual al máximo entre el acumulado de los peores (mejores) escenarios a la alza y a la baja por grupo clase.

IPC		NA		AXL		TOTAL	
Peor (Mejor) Escenario		Peor (Mejor) Escenario		Peor (Mejor) Escenario		SUMA(D)	SUMA(U)
(D1...D5)	(U1...U5)	(D1...D5)	(U1...U5)	(D1...D5)	(U1...U5)		
\$1,094,400.00	-\$474,450.00	-\$29,395.50	\$77,535.00	\$4,696.00	-\$376.00	\$1,069,700.50	-\$397,291.00

El requerimiento del margen por prima para el grupo producto será simplemente el agregado de los requerimientos de margen por prima por cada uno de los grupos clase.

**Margen por Prima
por Grupo Producto**

Margen por Prima IPC	Margen por Prima NA	Margen por Prima AXL
\$462,500.0	\$92,625.0	\$904.0

Finalmente, el requerimiento de margen total para el portafolio será igual a la suma de los componentes de margen por riesgo y margen por prima, considerando que el portafolio no incorporaba posiciones al vencimiento y/o en periodo de liquidación, por tal motivo, el componente de margen por entrega para este portafolio es nulo.

Margen Total

Margen por Riesgo Grupo Producto	Margen por Prima Grupo Producto	Margen Total
\$1,069,700.5	\$556,029.0	\$1,625,729.5

6. Evaluación de Eficiencia y Cobertura

Una vez analizadas las características fundamentales del Modelo de Marginación descrito, resulta esencial efectuar un examen de cobertura y eficiencia de los resultados arrojados. Lo anterior considerando que en paralelo al desarrollo de regulaciones y metodologías para administrar el riesgo, las herramientas de evaluación han adquirido gran relevancia en el ámbito de la administración de riesgos moderna, lo anterior debido a su precisión a través de diferentes horizontes de riesgo.

Ante tales circunstancias, la herramienta conocida comúnmente como “*Back Testing*” o Pruebas en Retrospectiva, misma que se basa en el contraste de las mediciones de riesgo con las pérdidas y ganancias asociadas a uno o más activos financieros, resulta la de mayor utilización en el ámbito financiero internacional. En este contexto, la expectativa sobre las mediciones de riesgo, se inclina a que éstas soporten de manera eficaz una fracción importante de las pérdidas y/o ganancias asociadas a uno o bien un grupo de instrumentos financieros en particular, donde dicha fracción se refiere al nivel de confianza probabilística empleado para determinar la medida de riesgo en cuestión.

Al realizar el contraste objeto del *Back Testing*, se puede detectar el número de ocasiones en que las pérdidas y/o ganancias superaron al parámetro de riesgo obtenido bajo un nivel determinado de confianza probabilística. Una vez efectuado lo anterior, la fracción cubierta por el modelo puede ser contrastada con el nivel requerido de cobertura para el modelo de riesgo.

Tomando en cuenta la importancia de la evaluación de las medidas de administración de riesgo, el Comité de Basilea introdujo, en el año de 1996³⁸, un marco de supervisión en la interpretación de los resultados de dicha técnica, el cual abarca un rango de posibles respuestas, dependiendo de la fuerza de la señal generada por la herramienta. Dichas respuestas están clasificadas en tres zonas:

³⁸ Bank for International Settlements (1996), “Supervision Framework for the Use of Back Testing in Conjunction with the Internal Models Approach to Market Risk Capital Requirements”. BIS.

- 1) Zona Verde.- Los resultados de las pruebas son coherentes a un modelo exacto, y la posibilidad de una aceptación errónea de un modelo inexacto es muy baja³⁹.
- 2) Zona Amarilla.- Los resultados del *Back Testing* pueden ser coherentes con un modelo exacto o inexacto, en este caso el supervisor requiere más información acerca del modelo antes de tomar una decisión.
- 3) Zona Roja.- En esta zona los resultados de la prueba son extremadamente improbables de haber resultado de un modelo exacto, y la probabilidad de rechazar erróneamente un modelo exacto es remota.

Ante tal contexto, la presente sección tiene como cometido fundamental, el evaluar la eficiencia y cobertura proveída por el modelo de riesgo utilizado como base para calcular la “Variación Máxima Esperada”, insumo fundamental del Modelo de Marginación. Considerando lo anterior, el análisis considera los precios de liquidación de dos de los Contratos de Futuro con mayor negociación en el Mercado Mexicano de Derivados: El Contrato de Futuro sobre el Dólar y el Contrato de Futuro sobre el IPC.

En primera instancia, para el Contrato de Futuro sobre el IPC se consideraron 1769 observaciones y cuatro vencimientos (3,6,9 y 12 meses) para la estimación de la Variación Máxima Esperada, asimismo se consideró un nivel de confianza probabilística del 99.5 por ciento⁴⁰, el cual equivale a 2.575 desviaciones Estándar. Tomando como base los parámetros descritos, las volatilidades estimadas bajo las metodologías descritas en el apartado correspondiente para los distintos vencimientos se situaron, para la fecha calculada más reciente, en rangos de 22 y 26 por ciento, de manera tal que a la misma fecha, el parámetro de variación máxima esperada calculada se situó en un rango de 1,063 y 1,281. Los resultados completos se presentan en el siguiente cuadro.

³⁹ El Comité de Basilea define dos tipos de Errores, concernientes a la evaluación del *Back Testing*: Errores del Tipo 1.- La posibilidad de que un modelo de riesgo exacto sea clasificado como inexacto en base al resultado del *Back Testing*, Errores de Tipo 2.- La posibilidad de que un modelo de riesgo inexacto no sea clasificado inexacto en base al resultado del *Back Testing*.

⁴⁰ El nivel de confianza probabilística considerado se encuentra acorde e incluso es relativamente mayor al propuesto por el Comité de Basilea en sus diversas disposiciones concernientes a la administración y seguimiento del riesgo, dicho nivel propuesto asciende a 99%.

Cuadro 6.1. Variación Máxima Esperada del Contrato de Futuro sobre el IPC

Parámetros	Vencimiento			
	3 meses	6 meses	9 meses	12 meses
Observaciones	1769	1769	1769	1769
Nivel de Confianza	99.50%	99.50%	99.50%	99.50%
z	2.575831338	2.575831338	2.575831338	2.575831338
σ Garch (1,1)@anual*	22.93%	22.33%	25.09%	24.94%
σ Histórica@anual*	25.97%	25.25%	26.28%	26.49%
Precio FWD@07/01/08	28,565	28,800	29,344	29,798
VME@Garch**	1,062.66	1,043.45	1,194.55	1,205.82
VME@Histórica**	1,203.70	1,180.09	1,251.38	1,280.75

*Se refiere a la volatilidad anualizada para la última fecha considerada en el análisis.

**Se refiere a la Variación Máxima Esperada obtenida a través de las metodologías de volatilidad histórica y estimada (Garch (1,1)).

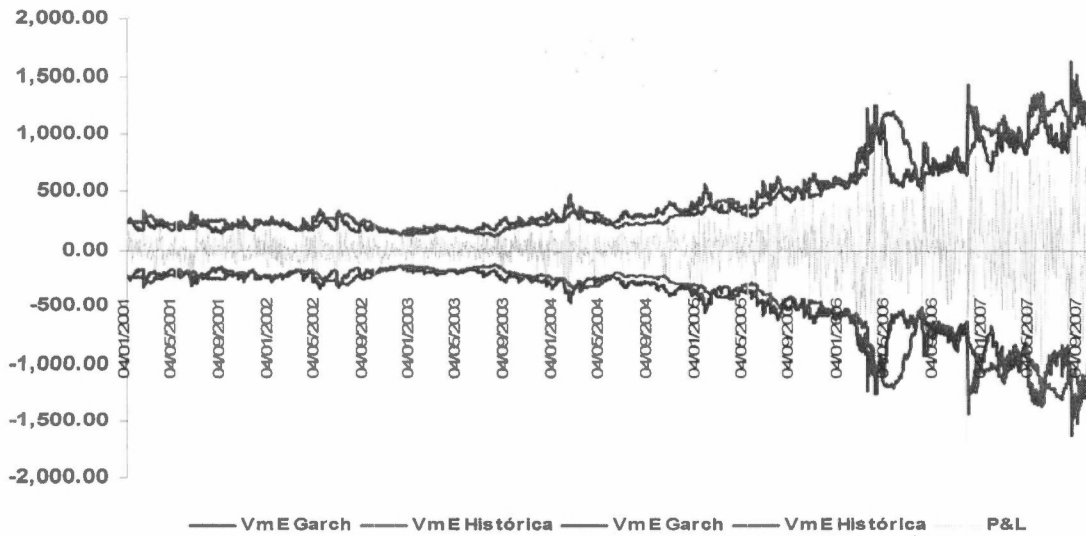
Fuente: Elaboración Propia.

En materia del análisis de *Back Testing* para el Contrato con vencimiento a 3 meses, las Variaciones Máximas Esperadas calculadas en términos diarios se muestran en términos generales suficientes para cubrir las variaciones diarias en el precio del Contrato, siendo el número de excepciones arrojado de sólo 33 considerando el método de estimación de volatilidad estimado (Garch (1,1))⁴¹ y de 45 empleando el método de volatilidad histórica.

En la gráfica 6.1 se presenta el *Back Testing*, donde se contrastan las pérdidas y ganancias diarias del Contrato en cuestión con las Variaciones Máximas Esperadas calculadas bajo las dos metodologías para estimar la volatilidad.

⁴¹ Los resultados de significancia y de ajustes de los modelos de Series de Tiempo ajustados a cada uno de los contratos están a solicitud de los Lectores, sin embargo cabe mencionar que en todos los casos incluidos en esta sección del trabajo se realizaron las distintas pruebas estadísticas utilizando EVIEWS 3.0.

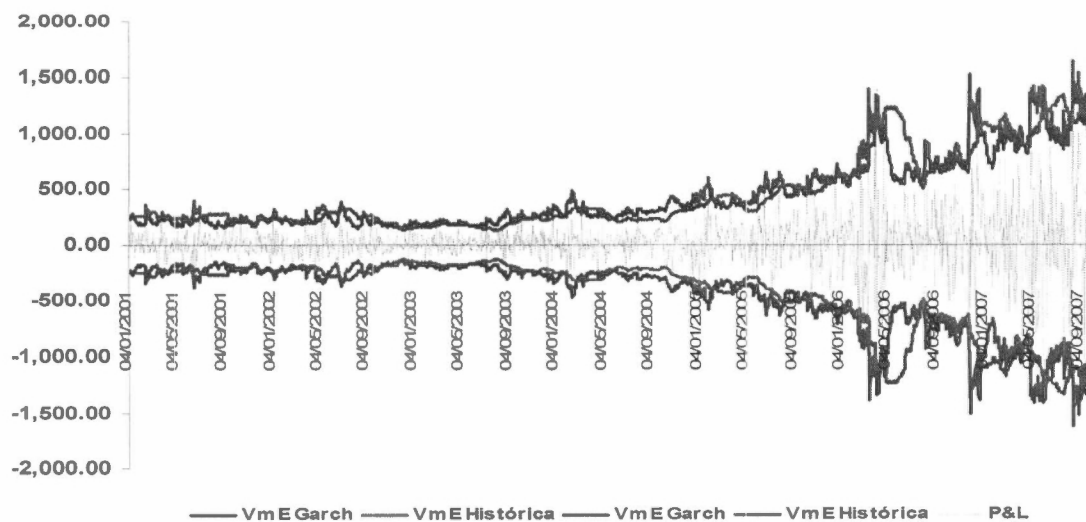
Gráfica 6.1
Back Testing del Contrato de Futuro sobre el IPC con vencimiento a 3 meses



Fuente: Elaboración Propia con información del Mercado Mexicano de Derivados.

En lo que respecta al Contrato con vencimiento a 6 meses, el número de excepciones arrojado se reduce a 33 considerando el método de cálculo de volatilidad estimada (Garch (1,1)) y permanece en 45 empleando el método de volatilidad histórica.

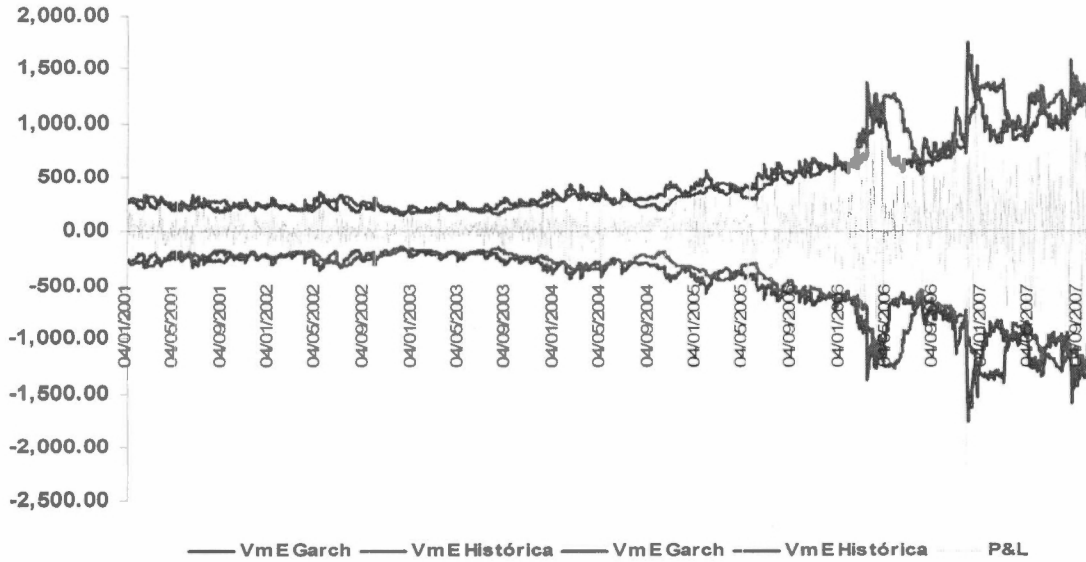
Gráfica 6.2
Back Testing del Contrato de Futuro sobre el IPC con vencimiento a 6 meses



Fuente: Elaboración Propia con información del Mercado Mexicano de Derivados.

Finalmente para los Contratos con vencimiento a 9 y 12 meses el número de excepciones se situó en 32 considerando el método de cálculo de volatilidad estimada (Garch (1,1)) y en 47 y 41, respectivamente, empleando el método de volatilidad histórica.

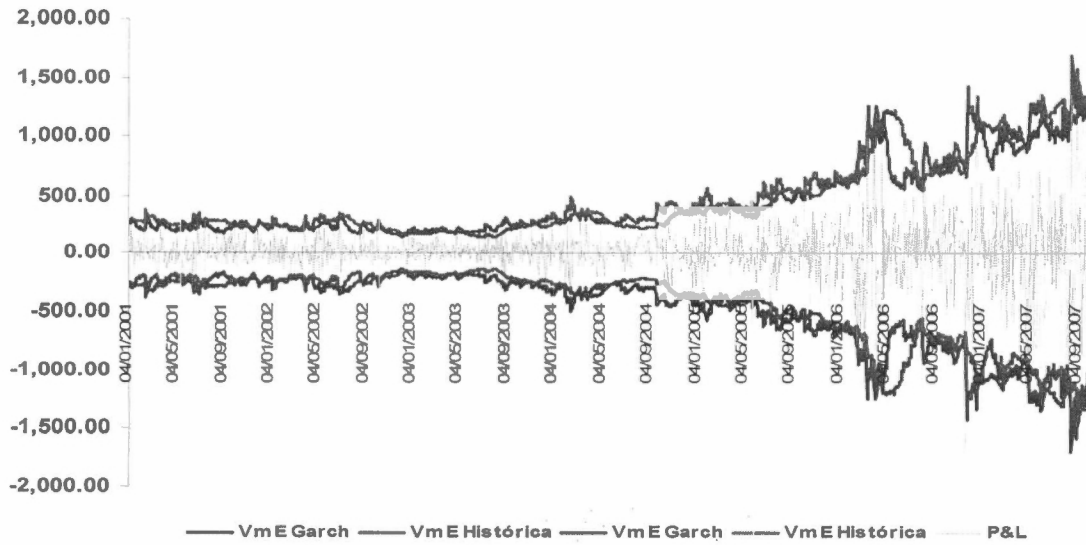
Gráfica 6.3
Back Testing del Contrato de Futuro sobre el IPC con vencimiento a 9 meses



Fuente: Elaboración Propia con información del Mercado Mexicano de Derivados.

Gráfica 6.4

Back Testing del Contrato de Futuro sobre el IPC con vencimiento a 12 meses



Fuente: Elaboración Propia con información del Mercado Mexicano de Derivados.

Cabe resaltar que si bien la totalidad de los *Back Testing* evaluados se ubican en la Zona Amarilla, definida por el comité de Basilea, aquellos donde se utilizó el método estimado (Garch (1,1)) resultaron más eficaces, al estar cerca de la frontera con la Zona Verde. En este sentido, los parámetros estimados a través de la Metodología Garch, resultan eficaces y con un nivel de cobertura adecuado para el Mercado, a pesar de no ubicarse en la Zona Verde determinada por el Comité de Basilea. En el Cuadro siguiente (6.2) se presenta a manera de resumen, el número de excepciones y la Zona en que se ubican los *Back Testing* empleando los dos tipos de métodos para estimar la volatilidad.

Cuadro 6.2
Resultados Fundamentales del Análisis de Back Testing

Back Testing	Vencimiento			
	3 meses	6 meses	9 meses	12 meses
Excepciones@Garch (1,1)	33	30	32	32
Excepciones@Histórica	45	45	47	41
Excepciones Máx Zona Verde**	28	28	28	28
Zona@Garch(1,1)**	Amarilla	Amarilla	Amarilla	Amarilla
Zona@Histórica(1,1)**	Amarilla	Amarilla	Amarilla	Amarilla

**Se refiere a las Zonas de eficiencia determinadas por el Comité de Basilea en su documento: "Supervisory Framework for the use of Back Testing in conjunction with the internal models approach to market risk capital requirements".

Fuente: Elaboración Propia.

Como segundo análisis, para el Contrato de Futuro sobre el Dólar de los Estados Unidos de América se consideraron 1081 observaciones y los mismos cuatro vencimientos (3,6,9 y 12 meses) para la estimación de la Variación Máxima Esperada. En el mismo sentido que en el caso anterior, se consideró un nivel de confianza probabilística del 99.5 por ciento. Lo que resultó en volatilidades estimadas para los distintos vencimientos desde 4.69 por ciento y hasta 9.09 por ciento, notándose una disparidad mayor para los Contratos con vencimiento más lejano y especialmente para el Contrato a 12 meses, donde la volatilidad a través del método estimado se situó en 9.09, mientras que la volatilidad histórica se situó en 5.32 por ciento, lo anterior puede ser explicado en gran medida a que el supuesto de distribución *gaussiana* para los rendimientos de este contrato es débil, posiblemente por “colas pesadas”, existentes en menor medida en el caso del Contrato del Futuro sobre el IPC. Cabe resaltar que como es evidente, la volatilidad estimada reacciona en mucho mayor medida al fenómeno citado, es por este motivo la diferencia en la estimación de volatilidades.

Cuadro 6.3
Variación Máxima Esperada del Contrato de Futuro sobre el Dólar

Parámetros	Vencimiento			
	3 meses	6 meses	9 meses	12 meses
Observaciones	1018	1018	1018	1018
Nivel de Confianza	99.50%	99.50%	99.50%	99.50%
z	2.575831338	2.575831338	2.575831338	2.575831338
σ Garch (1,1)@anual*	5.27%	7.50%	7.97%	9.09%
σ Histórica@anual*	4.69%	4.77%	4.91%	5.32%
Precio FWD@07/01/08	10.9650	11.0655	11.1724	11.3030
VME@Garch**	0.09	0.13	0.14	0.17
VME@Histórica**	0.08	0.09	0.09	0.10

*Se refiere a la volatilidad anualizada para la última fecha considerada en el análisis.

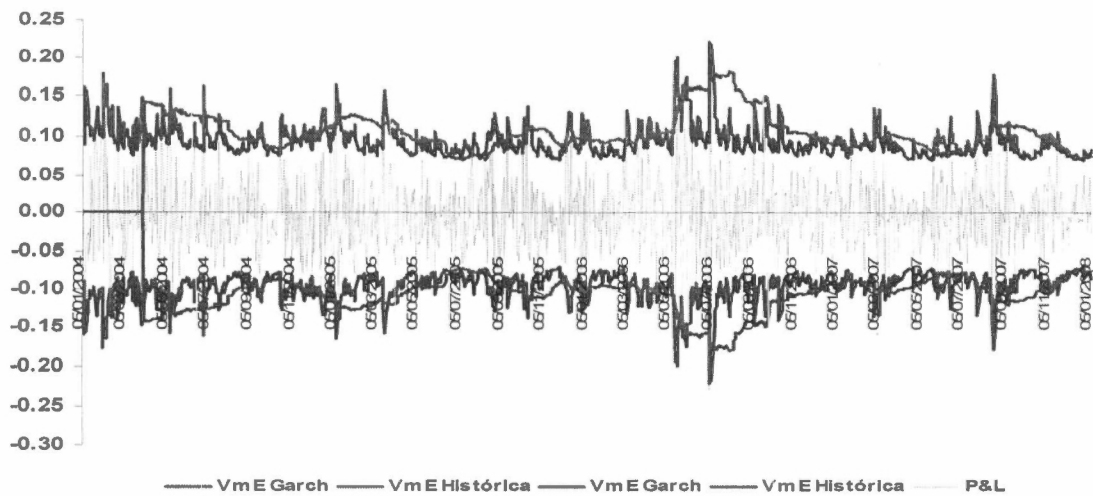
**Se refiere a la Variación Máxima Esperada obtenida a través de las metodologías de volatilidad histórica y estimada (Garch (1,1)).

Fuente: Elaboración Propia.

En las Pruebas Retrospectivas para los Contratos con vencimiento a 3 y 6 meses, el número de excepciones para el Modelo estimado es de 36 para el Contrato con vencimiento más cercano y de sólo 11 para el vencimiento a 6 meses. En Contraste el método histórico arroja 26 y 28 excepciones para los vencimientos en cuestión, respectivamente. En la gráfica 6.5 se puede observar que para el Contrato de Futuro a 3

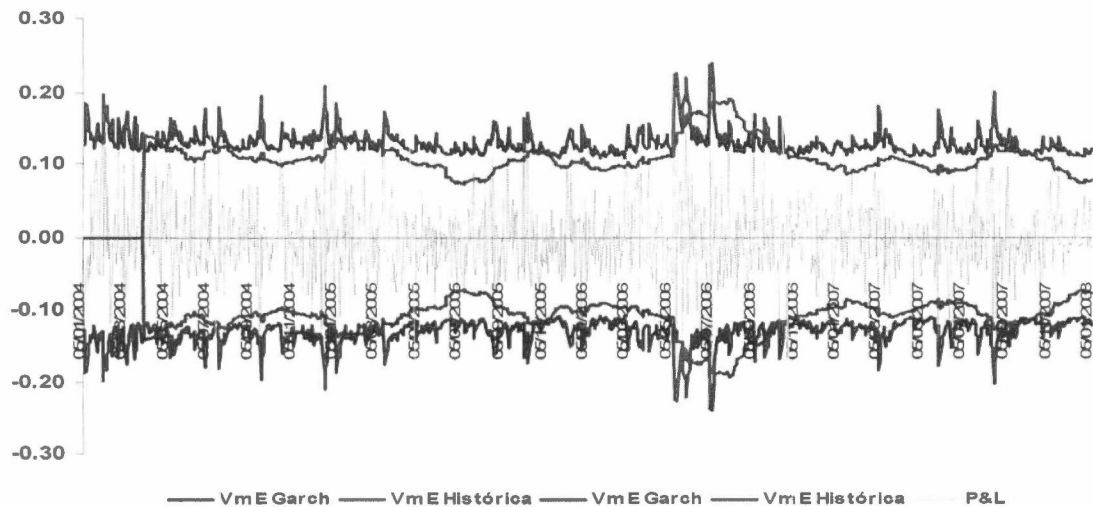
meses la estimación de la Variación Máxima Esperada converge en mayor medida entre los dos métodos, mientras que en la gráfica 6.6 para el Contrato a 6 meses se observa de manera clara la reacción de la volatilidad estimada.

Gráfica 6.5
Back Testing del Contrato de Futuro sobre el Dólar con vencimiento a 3 meses



Fuente: Elaboración Propia con información del Mercado Mexicano de Derivados.

Gráfica 6.6
Back Testing del Contrato de Futuro sobre el Dólar con vencimiento a 6 meses

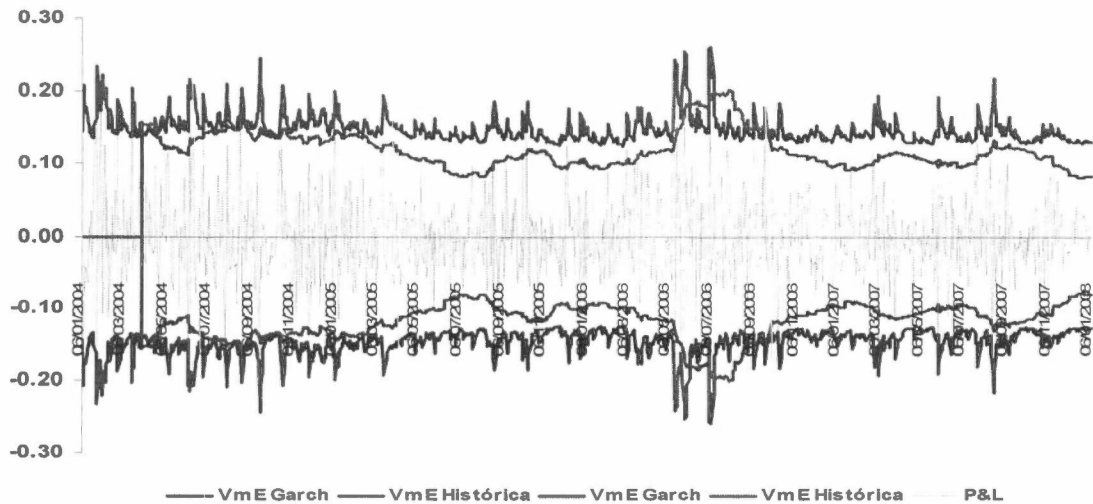


Fuente: Elaboración Propia con información del Mercado Mexicano de Derivados.

Para el caso de los Contratos a 9 y 12 meses se observa un fenómeno similar que en el caso del Contrato a 6 meses, una estimación de volatilidad mayor del método estimado,

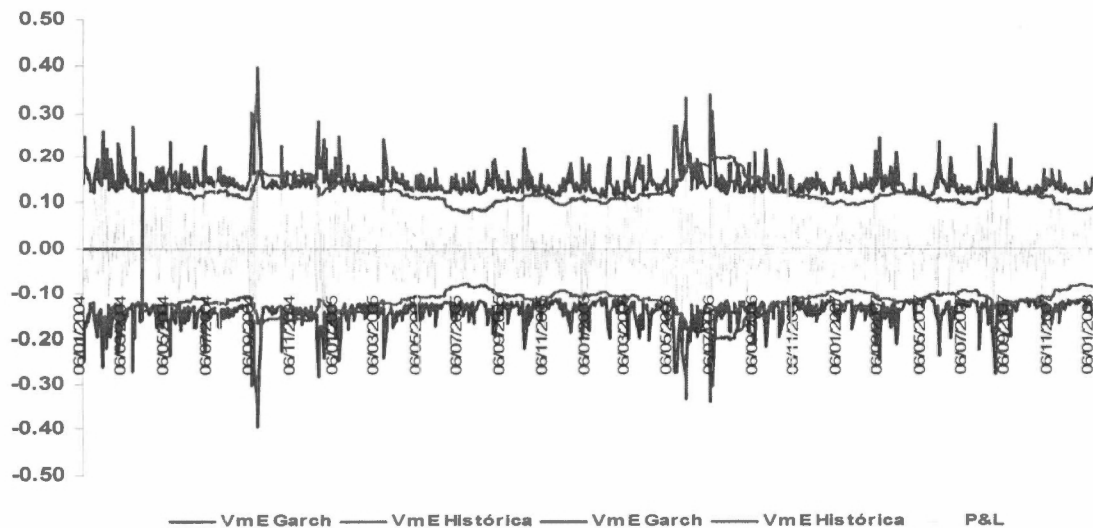
lo que implica de maneta directa un sustancialmente menor número de excepciones, empleando la Variación Máxima Esperada a través de dicha metodología.

Gráfica 6.7
Back Testing del Contrato de Futuro sobre el Dólar con vencimiento a 9 meses



Fuente: Elaboración Propia con información del Mercado Mexicano de Derivados.

Gráfica 6.8
Back Testing del Contrato de Futuro sobre el Dólar con vencimiento a 12 meses



Fuente: Elaboración Propia con información del Mercado Mexicano de Derivados.

Como conclusión al análisis, vale la pena resaltar el hecho de que el Back Testing de la Variación Máxima Esperada estimada a través de Modelos Garch (1,1), resulta eficiente y provee la cobertura requerida, especialmente en productos como el Contrato de Futuro

sobre el Dólar, donde como puede observarse en este último cuadro, el número de excepciones para los vencimientos a 6, 9 y 12 meses es destacablemente reducido, implicando que el Back Testing sobre el producto para los vencimientos mencionados se ubica en la Zona Verde, determinada como la Zona más conveniente para una metodología de riesgo por el Comité de Basilea.

Cuadro 6.4
Resultados Fundamentales del Análisis de Back Testing

Back Testing	Vencimiento			
	3 meses	6 meses	9 meses	12 meses
Excepciones@Garch (1,1)	36	11	8	7
Excepciones@Histórica	26	28	31	35
Excepciones Máx Zona Verde**	16	16	16	16
Excepciones Máx Zona Amarilla**	36	36	36	36
Zona@Garch(1,1)**	Amarilla	Verde	Verde	Verde
Zona@Histórica(1,1)**	Amarilla	Amarilla	Amarilla	Amarilla

**Se refiere a las Zonas de eficiencia determinadas por el Comité de Basilea en su documento: "Supervisory Framework for the use of Back Testing in conjunction with the internal models approach to market risk capital requirements".

Fuente: Elaboración Propia.

Considerando lo expuesto en el presente apartado, se puede intuir que en términos prácticos, la Metodología cumple de manera satisfactoria con su propósito fundamental de proveer el mayor nivel de cobertura al Mercado Mexicano de Derivados. En este sentido y extendiendo el presente análisis, a continuación se presenta un ejemplo considerando un portafolio de cobertura, constituido por contratos de Futuro sobre el IPC y Contratos de Opción sobre el Futuro de dicho Índice⁴². Las características fundamentales del portafolio se exponen en el siguiente cuadro.

Cuadro 6.5
Características Básicas del Portafolio de Futuros y Opciones⁴³

⁴² Incorporamos en el ejercicio solamente este Contrato de Opción ya que es la que presenta la mayor operatividad en el Mercado, a la fecha. El resto de contratos listados no reportan operación importante.

⁴³ El tamaño, en todos los casos que se refieren a Índice de Precios y Cotizaciones de la Bolsa Mexicana de Valores se refiere a una cantidad de pesos asociada a cada punto del índice. De esta forma, si suponemos que el índice a es de 32,000 puntos (valor muy cercano del índice en los días en que se está trabajando en el presente documento), el valor nominal del contrato es de 320,000 pesos.

Contrato	Vencimiento	Contratos	C/P	Posición	VME	Tamaño	Factor	Opuesta
IPC	DC07	2,000.00	-	Larga	1300	10	90.00%	7,800.00
IPC	MR08	5,000.00	-	Larga	1300	10	90.00%	7,800.00
IPC	JN08	3,000.00	-	Corta	1300	10	90.00%	7,800.00
Contrato	Vencimiento	Contratos	C/P					
IP	DC07	3,000.00	Put	Larga	1300	10	90.00%	
IP	DC07	1,000.00	Call	Corta	1300	10	90.00%	

Fuente: Elaboración Propia.

De la información anterior cabe resaltar que la Variación Máxima Esperada refiere a una de las obtenidas en los ejercicios presentados previamente, asimismo conviene puntualizar que se considera el nivel de asociación entre los Activos Subyacentes IPC y Futuros del IPC, de modo que se incorpora un Factor de Correlación de 90 por ciento, así como el supuesto de que ambos productos conforman un Grupo Producto. El Factor de Correlación, así como el Parámetro de AIM Opuesta incluido se obtuvieron bajo los métodos descritos en los apartados correspondientes. Finalmente, debe mencionarse que el periodo para evaluar las pérdidas potenciales asociadas al portafolio, respecto de los márgenes calculados, comprende 3 meses, comenzando el 4 de septiembre de 2007 y finalizando el 20 de diciembre de 2007, el día previo al vencimiento de los contratos.

Como una forma de fortalecer el análisis, en primera instancia se detalla la forma de obtención de los márgenes iniciales a través del modelo en la fecha inicial, para que una vez que se tenga claro, proceder al contraste con las pérdidas y ganancias potenciales asociadas al portafolio. En esta instancia vale la pena comentar que entre los supuestos básicos se considera que el portafolio se mantiene sin modificaciones durante el horizonte de tiempo.

Así, el primer paso para determinar los márgenes en la fecha inicial constituye la conformación del arreglo de margen por riesgo para los Contratos de Futuro (recordar el concepto de Grupos Clase y Grupos Producto, a pesar de que los Futuros sobre el IPC y el IPC pueden tener una correlación casi perfecta, estos representan dos activos subyacentes distintos, por lo que no conforman un Grupo Clase).

D5	D4	D3	D2	D1
-1,300.00	-1,040.00	-780.00	-520.00	-260.00

26,000,000.00	20,800,000.00	15,600,000.00	10,400,000.00	5,200,000.00
65,000,000.00	52,000,000.00	39,000,000.00	26,000,000.00	13,000,000.00
-39,000,000.00	-31,200,000.00	-23,400,000.00	-15,600,000.00	-7,800,000.00
52,000,000.00	41,600,000.00	31,200,000.00	20,800,000.00	10,400,000.00

U1	U2	U3	U4	U5
260.00	520.00	780.00	1,040.00	1,300.00
-5,200,000.00	-10,400,000.00	-15,600,000.00	-20,800,000.00	-26,000,000.00
-13,000,000.00	-26,000,000.00	-39,000,000.00	-52,000,000.00	-65,000,000.00
7,800,000.00	15,600,000.00	23,400,000.00	31,200,000.00	39,000,000.00
-10,400,000.00	-20,800,000.00	-31,200,000.00	-41,600,000.00	-52,000,000.00
-9,360,000.00	-18,720,000.00	-28,080,000.00	-37,440,000.00	-46,800,000.00

1)

Note que en la parte superior del cuadro se incorpora la Variación Máxima Esperada empleada para el análisis, asimismo que para el caso de las ganancias simuladas totales, se considera la Compensación de 90 por ciento.

Una vez considerado el arreglo de margen por riesgo, los resultados trascendentales para el cálculo de la AIM por Riesgo del Grupo Producto, constituyen las máximas pérdidas y ganancias simuladas. Adicionalmente a dichos resultados, en el siguiente cuadro se incorpora la AIM Opuesta, componente que permite cubrir el riesgo de correlación intermensual entre posiciones opuestas de Contratos de Futuro asociados al mismo subyacente pero con distinto vencimiento y consecuentemente perfiles de riesgo.

AIM Opuesta	MaX U	Max D
46,800,000.00	-46,800,000.00	52,000,000.00

2)

En el caso de los Contratos de Opción, el insumo fundamental es la determinación del máximo valor posible de los contratos considerando movimientos de los activos subyacentes a través de la variación máxima esperada. De este modo, los valores teóricos para la fecha inicial, se obtuvieron tomando como base los siguientes insumos para los Contratos tipo "Call" y tipo "Put", respectivamente.

Escenario	S	X	σ	r	τ	b	VT Call	VT Put
D5	30242	30,000.00	23%	7.7162%	0.295890	0	1594.260100	1357.722725
D4	30502	30,000.00	23%	7.7162%	0.295890	0	1727.695902	1237.027462
D3	30762	30,000.00	23%	7.7162%	0.295890	0	1885.120849	1140.321346
D2	31022	30,000.00	23%	7.7162%	0.295890	0	2046.780141	1047.849573
D1	31282	30,000.00	23%	7.7162%	0.295890	0	2208.439432	955.377800

U1	31802	30,000.00	23%	7.7162%	0.295890	0	2546.476012	785.152251
U2	32062	30,000.00	23%	7.7162%	0.295890	0	2733.726259	718.271433
U3	32322	30,000.00	23%	7.7162%	0.295890	0	2920.976506	651.390616
U4	32582	30,000.00	23%	7.7162%	0.295890	0	3108.226753	584.509799
U5	32842	30,000.00	23%	7.7162%	0.295890	0	3298.575691	520.727672

3)

Obtenidos los Valores Teóricos se puede proceder a computar el arreglo de margen por riesgo para los Contratos de Opción.

D5	D4	D3	D2	D1
1,594.26	1,727.70	1,885.12	2,046.78	2,208.44
1,357.72	1,237.03	1140.321346	1047.849573	955.3778
15,942,601.00	17,276,959.02	18,851,208.49	20,467,801.41	22,084,394.32
-40,731,681.74	-37,110,823.86	-34,209,640.37	-31,435,437.18	-28,661,334.00
-24,789,080.74	-19,833,864.84	-15,358,431.87	-10,967,685.77	-6,576,939.68
-23,249,080.74	-18,293,864.84	-13,818,431.87	-9,427,685.77	-5,036,939.68
-20,924,172.67	-16,464,478.36	-12,436,588.69	-8,464,917.20	-4,533,245.71

U1	U2	U3	U4	U5
2,546.48	2,733.73	2,920.98	3,108.23	3,298.58
785.1522506	718.2714334	651.3906162	584.509799	520.7276723
25,464,760.12	27,337,262.59	29,209,765.06	31,082,267.53	32,985,756.91
-23,554,567.52	-21,548,143.00	-19,541,718.49	-17,535,293.97	-15,621,830.17
1,910,192.60	5,789,119.59	9,668,046.57	13,546,973.56	17,363,926.74
3,450,192.60	7,329,119.59	11,208,046.57	15,086,973.56	18,903,926.74

Note que las dos primeras columnas del arreglo refieren a los Valores Teóricos calculados, mientras que las filas quinta y sexta, representan el total del máximo valor posible de los contratos y el contraste con el costo de liquidación a precios de mercado de los mismos (margen por prima), respectivamente. En este punto en particular, conviene recalcar que el contraste del margen por prima con el valor máximo calculado para los contratos de opción evita la sobre marginación de un portafolio de Contratos de Opción y aporta eficiencia al modelo. Finalmente y del mismo modo que en el caso de los Contratos de Futuro, se considera para las ganancias simuladas obtenidas en los escenarios simulados a la baja, el Factor de Correlación del 90 por ciento.

Note que las dos primeras columnas del arreglo refieren a los Valores Teóricos calculados, mientras que las filas quinta y sexta, representan el total del máximo valor posible de los contratos y el contraste con el costo de liquidación a precios de mercado de

los mismos (margen por prima), respectivamente. En este punto en particular, conviene recalcar que el contraste del margen por prima con el valor máximo calculado para los contratos de opción evita la sobre marginación de un portafolio de Contratos de Opción y aporta eficiencia al modelo. Finalmente y del mismo modo que en el caso de los Contratos de Futuro, se considera para las ganancias simuladas obtenidas en los escenarios simulados a la baja, el Factor de Correlación del 90 por ciento.

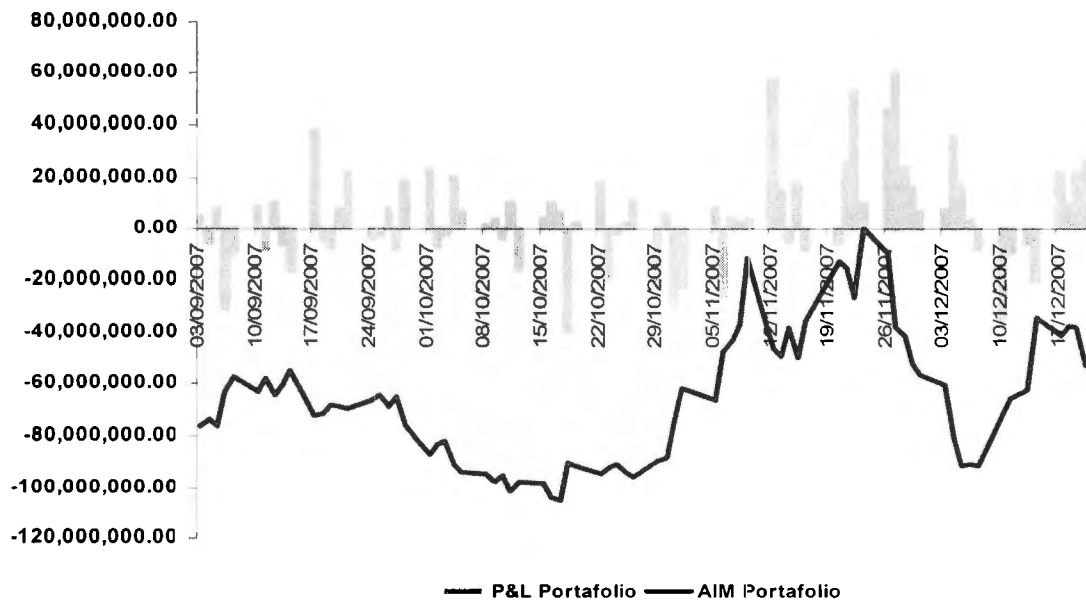
La consideración final para obtener el requerimiento de margen total para el portafolio es la sumatoria de los componentes (excepto el componente de margen por riesgo) para cada uno de los Grupos Clase, así como la obtención del margen por riesgo para el Grupo Producto en conjunto, de la siguiente manera.

MaX D IPC	MaX U IPC
52,000,000.00	-46,800,000.00
MaX D IP	MaX U IP
-20,924,172.67	18,903,926.74

AIM Prima	AIM Opuesta	Suma D	Suma U	AIM Riesgo	AIM Total
-1,540,000.00	46,800,000.00	31,075,827.33	-27,896,073.26	31,075,827.33	76,335,827.33

Efectuando el mismo proceso para el periodo de análisis, en el gráfico siguiente se puede observar que las pérdidas asociadas al portafolio son cubiertas de forma eficiente por los márgenes calculados, siendo el número de excepciones equivalente a “0”.

Gráfica 6.9
Análisis de Cobertura y Eficiencia para un Portafolio de Futuros y Opciones



— P&L Portafolio — AIM Portafolio
 Fuente: Elaboración Propia.

En el gráfico se observa como los requerimientos de AIM para el portafolio cubren de manera eficaz las pérdidas asociadas al portafolio. Cabe la pena resaltar del gráfico que los casos en los que la AIM calculada es casi nula, tienen explicación en el hecho de que la cobertura fundamental del portafolio (Opción Put Larga) aumenta de valor sustancialmente, debido a caídas pronunciadas de la Bolsa de Valores, lo que hace que los requerimientos sean reducidos debido a este hecho.

7. Conclusiones

En el presente estudio se desarrolla una propuesta implementada en la Cámara de Compensación del Mercado Mexicano de Derivados (Asigna, Compensación y Liquidación). Plantea la manera en calcular un solo margen para portafolios que estén integrados tanto por contrato a futuro como contratos de opción, resaltando la forma en que se pueden acreditar potenciales ganancias que cubran potenciales pérdidas mediante la conformación de Grupos Productos. Cada uno de los parámetros necesarios en la implementación de esta propuesta, también se señala como deben de ser calculados, así como las fuentes de información involucradas.

A pesar de que gran parte de la propuesta descrita en el presente trabajo se encuentra ya implementada en Asigna, Compensación y Liquidación y no se han presentado incumplimientos ni insuficiencias de garantías que hasta la fecha sean públicas, sí es importante anotar que la metodología propuesta puede estar sujeta a evaluaciones tanto empíricas como teóricas. En el primer caso es importante señalar la posibilidad de realizar pruebas retrospectivas (Back Testing) con portafolios más robustos, es decir, incorporando más contratos de opciones, una vez que se cuente con suficiente evidencia en el mercado con información precios y liquidaciones diarias, tanto por las variaciones en los precios de liquidación de los futuros como variaciones en las primas de las opciones.

En la parte teórica es importante abrir una línea de investigación en la que se plantee el análisis de la coherencia que esta metodología presenta como una medida de riesgos que genera requerimientos de márgenes, ya que es precisamente esto: dado un portafolio de posiciones abiertas de opciones y futuros ante una Cámara de Riesgos, cual es el riesgo que a ésta le representa y cual debe de ser las garantías que ella debe de requerir para cubrir ese riesgo.

Por construcción y como se menciona en Díaz T. y Venegas M. (2004) se cumplen algunos axiomas de las Medidas Coherentes de Riesgos de Altzner, sin embargo, este tema de medidas coherentes de riesgo es una veta de investigación que puede arrojar resultados importantes para este tipo de esquemas.

La Variación Máxima Esperada, como se muestra en el trabajo, es un elemento básico para el cálculo de márgenes y por ende la administración de riesgos en las Cámaras de Compensación. Dado que el tema general trata sobre portafolios con derivados sobre distintos subyacentes, una investigación adicional sobre la que se podría trabajar es con la utilización de cópulas para considerar correlaciones de mayor grado y seguramente con ello la obtención de márgenes posiblemente más eficientes. Por cuestiones de practicidad se incorpora en el algoritmo y en la práctica solamente los elementos señalados en el trabajo pero queda para futuras investigaciones este tema y su posible implementación en la Cámara. De igual forma, debemos de analizar la conveniencia o no, en términos de costo beneficio, de incorporar a la práctica de las Cámaras la estimación de las Variaciones Máximas Esperada estimaciones con distribuciones de valores extremos.

El cálculo de las garantías o márgenes en un mercado listado si bien son de capital importancia, éstos no son más que la base de una Red de Seguridad más amplia que incorpora requerimientos financieros de los asociados a las Cámaras (*Clearing Member*) que incluso tienen carácter mutualizable. De acuerdo a nuestra investigación documental, no encontramos mucho sobre análisis académicos relativos a este tema, es decir, sobre la Red de Seguridad en las Cámaras, el carácter que deben de tener los fondos financieros que en ella se consideren, así como los montos y su forma de determinación. Sí encontramos que existe una metodología recomendada por el Banco Internacional de Pagos para determinar el Fondo de Compensación, llamada como "Riesgo no Cubierto", sin embargo consideramos que los Investigadores Académicos tienen mucho por analizar en este campo.

Finalmente, es importante señalar que la operación de un mercado listados de productos derivados y su Cámara de Compensación en México tiene relativamente pocos años en marcha por lo que puede presentar aún problemas de poca liquidez, lo que puede generar

información que no ayude a arrojar conclusiones determinantes en el tema que se estudia en el presente trabajo, por lo que en un futuro próximo, será importante retomar el tema y analizar la eficiencia de este esquema de marginación. Otro elemento de gran relevancia que consideramos puede ser un tema de análisis académico es el relativo al tiempo en el cual se deben de realizar la revisiones y, en su caso, actualizaciones de los diferentes parámetros requeridos en el Modelo de Marginación. Es claro que estos dependen de la volatilidad, sin embargo se debe de discutir si éstos deben de reaccionar inmediatamente o no, es decir, se debe de estar “montado en la curva de volatilidad” o no y si no, en qué tiempo se debe de considerar cambios en parámetros. Hoy por hoy, la práctica lleva a ciertas regularidades, sin embargo la discusión académica está abierta.

8. Bibliografía.

- Anderson, R. (1981). "Comments on 'Margins and Futures Contracts'", *Journal of Futures Markets*, Vol. 1, No. 2, pp. 259-564.
- Australia Stock Exchange (2000). *Margins*, ASX.
- Bachelier, L. (1900) "Théorie de la speculation", *Annales Scientifiques de l'É.N.S.*, 3ª serie, tomo 17: 21-86.
- Baer, H, France V, Moser, J (1996). "Opportunity Cost and Prudentially: An Analysis of Futures Clearing House Behavior", *University of Illinois, OFOR Paper*, No. 96-01.
- Bank for International Settlements (1996), *Supervision Framework for the Use of Back Testing in Conjunction with the Internal Models Approach to Market Risk Capital Requirements*. BIS
- Bank for Internacional Settlements (2004). *Recommendations for Central Counterparties*. BIS.
- Black, F. y Scholes, M. (1973) "The pricing of options and corporate liabilities", *Journal of Political Economy*, 81: 637-659.
- Bollerslev Tim (1986). "Generalized autorregresive conditional heteroskedasticity", *Journal of Econometrics*, 31: 307-327.
- Bylund Mattias (2002), *A Comparison of Margin Calculation Methods For Exchange Traded Conctracs*. University of Stockholm.
- Canadian Derivatives Clearing Corporation (2001). "Information Statement on Market Protection Mechanisms, Financial Resources and Default Procedures", CDCC.
- Cassa di Compenzazioni e Garanzia (2005). "TIMS. Theoretical Intermarket Margin System User Specifications". CC&G.
- Cassa di Compenzazioni e Garanzia (2003). "Cassa as Central Counterparty for Equity Cash Markets. The Method for Calculating Initial Margins". CC&G.
- Cassa di Compenzazioni e Garanzia (2001). "The Method for Determining Initial Margins". *CC&G Documento di Lavoro*.
- Cox, J. y Ross, S. (1976) "The valuation of options for alternative stochastic processes", *Journal of Financial Economics*, 3: 145-166.
- Cox, J., Ross, S. y Rubinstein, M. (1979) "Option pricing: a simplified approach", *Journal of Financial Economics*, 7: 229-264.
- Dale Richard (1998). "Risk Management in US Derivative Clearing Houses". *Essays in International Financial & Economic Law*. The London Institute of International Banking Finance & Development Law.
- Day, T, Lewis, C (1999). "Margin Adequacy and Standards: An Analysis of the Crude Oil Futures Market", Vanderbilt University, *FMRC Working Paper*, No. 96-120.
- Díaz-Tinoco, J. (1997). "Riesgos en instrumentos de deuda y futuros sobre tasa de interés", en *Derivados Financieros: Teoría y Práctica*, H. Sabau y G. Roa compiladores, Operadora de Bolsa, México, pp. 194-200.
- Díaz-Tinoco, J. (1997a). "Cambios en el precio de un futuro sobre CETES a 91 Días", en *Derivados Financieros: Teoría y Práctica*, H. Sabau y G. Roa compiladores, Operadora de Bolsa, México, pp. 188-193.
- Díaz-Tinoco, J. y F. Hernández-Trillo (2000). *Futuros y opciones financieras: una introducción*, Limusa-BMV.

- Díaz-Tinoco, J. y F. Venegas-Martínez (2001). "Política agrícola y contratos de futuros: un modelo de arbitraje". *Momento Económico*, Vol. **115**, pp. 2-21.
- Díaz-Tinoco, J. y F. Venegas-Martínez (2004). "Márgenes con Spread Intraclase para el Mercado Mexicano de Derivados". *El Trimestre Económico*, No. 283, pp. 684.
- Dimson E. and Mussavian M. (1998), "A brief history of market efficiency", *European Financial Management*, London Business School Volume 4, Number 1, (pp 91-193).
- Dimson, E, Mussavaian, M (1999) "Three Centuries of Asset Pricing", *European Financial Management*, London Business School, Volume 4, Number 1, pp 91
- Edwards, F. and S. Neftci, 1988, "Extreme price movements and margins levels in futures market", *Journal of Futures Markets* 8, 639-656
- Elton, E.J., and M. J. Gruber (1987). *Modern Portfolio Theory and Investment Analysis*, Wiley New York.
- Engle Robert (1982). "Autoregressive Conditional Heteroskedasticity with estimates of the Variance of U.K. inflation" *Econometrica*, vol 50, pp.987-1008.
- Engle Robert; David Liline; Russell Robins (1987). "Estimating time varying risk premia in the term structure: The ARCH-M model" *Econometrica*, Vol 55 pp, 391-407
- EUREX Clearing (2004). *Risk Based Margin*. EUREX.
- Fama, Eugene (1969). "The behaviour of stock market prices", *Journal of Business*, 38: 34-105.
- Fenn, G, Kupiec, P (1993). "Prudential Margin Policy in a Future Style Settlement System", *Journal of Futures Markets*, Vol. 13, No. 4, pp. 389-408.
- Figlewski, S (1984), "Margins and market integrity: Margin setting for stock futures and options", *Journal of futures markets*, Vol. 4, No. 3, pp. 385-416.
- Fishe, R. and L. Goldberg (1986) "The Effects of Margins on Trading in the Futures Markets," *The Journal of Futures Markets*, 6:2, pp. 261-271.
- Fleming, Ostdiek y Whaley (1995). "Predicting stock market volatility: a new measure", *The Journal of Futures Markets*, Vol.15, No. 3, pp. 265-302.
- FOW (2004). "The World's Clearing Houses". FOW.
- Glasserman, P. (2003) *Monte Carlo Methods in Financial Engineering*, Springer-Verlag.
- González-Aréchiga, B., J. Díaz-Tinoco y F. Venegas-Martínez (2001). "Riesgo cambiario, brecha de madurez, y cobertura con futuros: análisis local y de valor en riesgo". *Economía Mexicana, Nueva Epoca*, Vol. **10**, No. 2, pp. 259-290.
- González-Aréchiga, B., F. Venegas-Martínez y J. Díaz-Tinoco (2000a). "Riesgo de tasas de interés e inmunización por duración y convexidad con futuros: análisis local y de valor en riesgo". *Investigación Económica*, Vol. **60**, No. 233, pp.77-112.
- Hardouvelis, G Kim, D (1995). "Margin Requirements, Price Fluctuations, and Market Participation in Metal Futures". *Journal of Money, Credit and Banking*, Vol. 27, No. 3, pp. 659-671.
- Hartzmark, M (1986). "The effects of Changing Margin Levels on Futures Market Activity, the Composition of Traders in the Market, and Price Performance". *Journal of Business*, Vol. 59, No. 2, pp. 147-180.
- Heston, L. (1993) "A closed form solution for options with stochastic volatility with applications to bonds and currency options", *Review of Financial Studies*, 6(2): 327-343.
- Higham, D. J. (2001) "An algorithmic introduction to numerical simulation of stochastic differential equations", *SIAM Review*, 43(3): 525-546.

- Hills, B, Rule, D (1999). *Central Counterparty Clearing Houses and Financial Stability*, Bank of England, pp. 125-156.
- Hull, J. y White, A. (1987) "The pricing options on assets with stochastic volatilities", *Journal of Finance* , 42(2): 281-300.
- Hull, J. (2002), *Futures, Options and Other Derivatives*, Prentice Hall, Fifth Edition.
- Johnson, H. y Shanno, D. (1987) "Option pricing when the variance is changing", *Journal of Finance and Quantitative Analysis* , 22(2): 143-151.
- Joshi, M. 2003. *The Concept and Practice of Mathematical Finance*. Cambridge, First Edition
- Kalavathi, L, Shanker, L (1991). "Margin Requirements and the Demand for Future Contracts". *Journal of Futures Markets*, Vol. 11, No. 2, pp. 213-237.
- Kloeden, P y Platen, E. (1992), *Numerical Solution of Stochastic Differential Equations*, Springer-Verlag.
- Knott Raymond and Mills Alastair (2002). *Modeling Risk in Central Counterparty Clearing Houses: a review*. Bank of England.
- Kupiec P. (1994), "The Performance of S&P500 Futures Products Margins under the SPAN Margining System", *The Journal of Futures Markets*, 14:7, pp. 789-812.
- Mercado Español de Futuros Financieros (2004). *Garantías Diarias*. La Cámara de Compensación.
- Mercado Español de Futuros Financieros (2001). "Circular 24/01. Procedimiento para el Cálculo de las Garantías Diarias".
- Merton, R. (1976) "Option pricing when underlying stock returns are discontinuous", *Journal of Financial Economics* , 3: 125-144.
- Moser, J (1994). "Origins of the Modern Exchange Clearing House", *Working Paper*, Federal Reserve Bank of Chicago.
- The London Clearing House Limited (1991). "Technical Specifications for Standard Portfolio Analysis of Risk". LCH.
- Oksendal, B. (1985), *Stochastic Differential Equations. An Introduction with Applications*, Springer-Verlag, 5ª edición.
- R. Engle, "Autoregressive Conditional Heteroskedasticity with estimates of the Variance of U.K. inflation" *Econometrica*, vol 50, pp.987-1008. 1982
- Stockholmborsen (2004). "Stockholmborsen as Counterparty". Stockholmborsen.
- Telser, L. (1981). "Margins and futures contracts", *Journal of Futures Markets*, Vol. 1, No. 2, pp. 225-253.
- Tong, H. (1990), *Non Linear Time Series*, Clarendon Press Oxford .
- Venegas-Martínez, F. (2003a). "Inmunización de flujos financieros con futuros de tasas de interés: un análisis de duración y convexidad con el modelo de Nelson y Siegel". *Revista de Administração Mackenzie*, Brasil, por aparecer.
- Venegas-Martínez, F. (2002). "Cobertura de flujos financieros con instrumentos de renta fija". *Estudios Económicos*, Vol. 17, No. 2, pp. 171-192.
- Venegas-Martínez, F. (2001). "Temporary Stabilization: A Stochastic Analysis". *Journal of Economic Dynamics and Control*, Vol. 25, No. 9, pp. 1429-1449.
- Venegas-Martínez, F. (2001a). "Opciones, cobertura y procesos de difusión con saltos: una aplicación a los títulos de Gearsó". *Estudios Económicos*, Vol. 16, No. 32, pp. 203-226.
- Venegas-Martínez, F. (2001b). "Pricing Derivative Securities with Prior Information on Long-Memory Volatility". *Economía Mexicana, Nueva Epoca*, Vol. 12, pp. 103-134.

- Venegas-Martínez, F. (2001d). “Una guía completa para economistas en la valuación de opciones”. *Gaceta de Economía*, Vol. 6, No. 12, pp. 155-212.
- Venegas-Martínez, F., J. Díaz-Tinoco y B. González-Aréchiga, B. (2002a). “Cobertura con futuros de títulos de capital”. *Momento Económico*, No. 120, pp. 14-34.
- Venegas-Martínez, F., y B. González-Aréchiga (2002c). “Cobertura de tasas de interés con futuros del mercado mexicano de derivados: un modelo estocástico de duración y convexidad”. *El Trimestre Económico*, Vol. 59(2), No. 274, pp. 227-250.
- Venegas-Martínez, F. (2005). “Administración Coherente de Riesgos con Futuros del MexDer”. Trabajo Ganador del Premio MexDer 2005.
- White, H. (1988) “Economic prediction using neural networks: the case of IBM daily stock returns”, *Proc IEEE-ICNN*, II: 451-458.
- Wilmott, P., Howison, S. y Dewynne, J. (1995), *The Mathematics of Financial derivatives. A Student Introduction*“, Cambridge University Press.