CNMV Comisión Nacional del Mercado de Valores

Replicación de opciones sobre índices: evidencia empírica para el mercado español

Juan José García Machado
Juan José de la Vega Jiménez
David Toscano Pardo

Dirección de Estudios y Estadísticas
Monografías No. 10
Octubre 2005

REPLICACIÓN DE OPCIONES SOBRE ÍNDICES: EVIDENCIA EMPÍRICA PARA EL MERCADO ESPAÑOL

JUAN JOSÉ GARCÍA MACHADO
JUAN JOSÉ DE LA VEGA JIMÉNEZ
DAVID TOSCANO PARDO

Octubre 2005

Dirección de Estudios
Comisión Nacional del Mercado de Valores
Monografía nº 10. 2005

Juan José García Machado es Catedrático de Economía Financiera, Contabilidad y Dirección de Operaciones de la Facultad de Ciencias Empresariales de la Universidad de Huelva. Juan José De La Vega Jiménez es Profesor Titular de Universidad y David Toscano Pardo es Profesor Asociado. Los autores forman parte del Grupo de Investigación en Administración y Modelización de Organizaciones (GIAMO), de la Universidad de Huelva.

ISBN: 84-87870-48-1
Depósito Legal: M-42.567-2005
Imprime: Sociedad Anónima de Fotocomposición
Talisio, 9. 28027 Madrid

Resumen

En este trabajo se analizan las posibilidades de formación de carteras réplicas y el establecimiento de estrategias de cobertura basadas en la *delta neutral*. La idea consiste en estudiar la volatilidad aplicable y el grado de exposición al riesgo de los emisores de opciones, intentando diseñar un modelo que lo recoja, e idear un sistema o indicador que dé la voz de alerta cuando el riesgo sea grande, además de probar y proponer el mejor instrumento o estrategia de cobertura, para dichos emisores, entre todas las posibles. Tras la simulación por ordenador de los resultados de pérdidas y ganancias de las distintas estrategias de cobertura y la aplicación de diferentes técnicas, tanto para liquidaciones al vencimiento como para liquidaciones diarias, podemos afirmar que la mejor estrategia de cobertura con cartera réplica, desde el punto de vista del emisor, la proporciona la cobertura dinámica con volatilidad móvil, con reajustes diarios y tipo de interés variable, cubriéndose con el índice IBEX-35 al contado. También, en este trabajo, se estudian las posibilidades de arbitraje mediante dichas carteras réplicas, incluidos los costes de transacción; la volatilidad aplicable, en comparación con la fijada por los propios emisores; se analiza y propone un modelo de alerta para la gestión del riesgo de mercado; y, finalmente, se contrasta la bondad del mismo. Además, se aporta evidencia empírica de utilidad para quienes operan diariamente en el mercado español.

ÍNDICE

ÍNDICE DE CUADROS

ÍNDICE DE GRÁFICOS

1. Introducción[1]

En España, desde la aparición, en enero de 1992, de los contratos de futuros y opciones sobre el índice bursátil IBEX-35 y, posteriormente, de las opciones y futuros sobre acciones, un inversor en Bolsa tiene la posibilidad de cubrirse del riesgo de precio de las acciones que componen su cartera de renta fija o variable, tanto en mercados al alza como a la baja o neutrales, gracias a la utilización de los contratos derivados de futuros, opciones financieras y *warrants*. Sin embargo, si lo miramos desde la perspectiva de los emisores o vendedores de opciones, éstos lo tienen más complicado, de hecho, quedan obligados a vender o a comprar el activo subyacente en las condiciones pactadas si el comprador decide ejercer su derecho, por lo que sus pérdidas potenciales pueden llegar a ser ilimitadas.

La industria de los productos derivados ha alcanzado tan altas cotas en los últimos años, que puede calificársela como uno de los sectores más importantes de la economía financiera en nuestro país. Sirva como botón de muestra que el volumen contratado, en 2003, de futuros y opciones sobre el índice IBEX-35 fue de 4.616.795 y 2.981.593 contratos respectivamente, con un promedio diario de 18.467 y 11.926 para uno y otro. En futuros y opciones sobre acciones, el volumen fue aún mayor, de 12.492.568 y 11.378.992 contratos, respectivamente (con un promedio diario de 49.970 y 45.516)[2].

Una parte fundamental, por su volumen y relevancia en esta industria de derivados, la constituyen los propios emisores, en especial, los de las emisiones sobre el índice IBEX-35, de ahí la necesidad de un trabajo de investigación que analizara y valorara el riesgo en dichas emisiones y pudiera aportar instrumentos eficaces de gestión del riesgo, además de alguna evidencia empírica de utilidad para quienes operan diariamente en el mercado español. A continuación, se expondrán los objetivos e hipótesis de este trabajo, su ámbito del estudio, la metodología empleada, el itinerario de la investigación, el estado de la cuestión, así como otros apartados que hemos ido completando hasta realizar nuestra propuesta de un modelo de alerta para la gestión del riesgo y las principales conclusiones a las que hemos llegado.

[1] Agradecemos a D. Blas Calzada Terrados, Ex-presidente de la CNMV; a D. Domingo García Coto, Director del Servicio de Estudios de la Bolsa de Madrid y a D. Jorge Izaguirre, Coordinador de la Comisión de Contratación de la Sociedad de Bolsas, por sus valiosos consejos, comentarios y sugerencias.

[2] Datos tomados del portal Mercados Financieros (MEFF-AIAF-SENAF): http://www.meff.com. (Consulta: 07/06/04).

2. Objetivos e hipótesis

Los objetivos perseguidos pueden concretarse en los siguientes:

- *Objetivos principales:*

1) Diseñar un modelo que recoja el grado de exposición al riesgo para los emisores de opciones y dé la voz de alerta cuando el riesgo sea grande.
2) Estudiar la volatilidad aplicable en la emisión de dichos productos derivados.
3) Proponer el mejor instrumento de cobertura entre todos los posibles.

- *Objetivos secundarios:*

1) Comprobar si el modelo de Black-Scholes funciona en la práctica, es decir, si está en la mente de los operadores del mercado, o si éstos, en sus operaciones de compraventa, tienen presente dicho modelo de valoración.
2) A colación de lo anterior, constatar también si dicho modelo estima convenientemente las primas de mercado a través de las primas teóricas.
3) Evidenciar empíricamente si el mercado es eficiente o no, esto es, si la formación de precios es correcta.

En cuanto a las hipótesis de partida, éstas son las siguientes:

1) *Los mercados financieros organizados, tanto al contado como de derivados, en España, se encuentran plenamente desarrollados y han alcanzado su madurez, por lo que supondremos que son, en cierta medida, eficientes y cuasi-perfectos*. En particular, que cumplen satisfactoriamente con las características de transparencia, libertad, profundidad, amplitud y flexibilidad[3].
2) *Las oportunidades de arbitraje son aprovechadas y están al alcance de todos los inversores*. Precisamente, las fórmulas de valoración de opciones, como el modelo de Black-Scholes, se basan en el arbitraje, esto es, la posibilidad de formar una cartera réplica que proporciona la misma rentabilidad que una opción financiera[4].
3) Debido a lo anterior, *las opciones financieras pueden replicarse fácilmente y de manera exacta, por lo que, un inversor que adopte posiciones contrarias en el mercado de contado y en el de derivados tendrá una posición global neutral o nula, es decir, de inmunización frente al riesgo de variaciones en los precios*. Esto significa la posibilidad de realizar coberturas completas (al 100%) o arbitrajes entre el mercado de opciones y el de contado para aprovecharse de las diferencias en los precios.

[3] Han sido muy numerosos los trabajos que se han dedicado a estudiar la eficiencia de los mercados pero, dado que este no es nuestro propósito, no vamos a incluirlos aquí. No obstante, puede consultarse una referencia muy buena en: GÓMEZ-BEZARES, 2000.
[4] Por contra, este es uno de los principales inconvenientes o problemas a la hora de valorar opciones reales. Véase: FERNÁNDEZ, 2002.

La consecución de los objetivos anteriores, así como la aceptación o rechazo de las hipótesis precedentes, en base a los resultados que se obtengan, permitirán dar respuesta a otras cuestiones vinculadas con ellas, como las siguientes:

1) ¿Se pueden replicar exactamente en la práctica los resultados de una opción?
2) ¿Funcionan correctamente las estrategias de cobertura basadas en la *delta neutral*?
3) ¿Qué tipo de volatilidad, fija o móvil, es la más adecuada para el cálculo de la prima teórica y para el establecimiento de una estrategia de cobertura?
4) ¿Qué es mejor, cubrirse con el contado o con el futuro sobre el índice IBEX-35?
5) Y, con respecto al tipo de interés, ¿qué es mejor, utilizar un tipo fijo o uno variable?, pero sobretodo, ¿cuál emplear en la práctica, el de las letras del tesoro, el interbancario, etc.? y ¿a qué plazo?
6) Finalmente, ¿ha habido arbitraje contado/derivados en el mercado español? y, en caso afirmativo, ¿ha contribuido la función de arbitraje a equilibrar los precios?

3. Ámbito del estudio

La presente investigación se circunscribe a las opciones financieras a corto plazo (opciones de compra o *calls* a tres meses) emitidas sobre el índice IBEX-35 y negociadas en mercados organizados españoles, concretamente en MEFF, Sociedad *Holding* de Productos Financieros Derivados, S.A. El análisis se realizará del lado o desde el punto de vista de los emisores de opciones.

El período analizado abarca desde el 20 de marzo de1992 hasta el 19 de septiembre de 2003 y lo hemos dividido en dos partes. El primero, suficientemente largo, de diez años de duración (del 20/03/92 hasta el 15/03/02), en el que hemos estudiado la posibilidad de replicar las opciones y la simulación de los resultados de las diferentes estrategias de cobertura y la estimación de un modelo de alerta para la gestión del riesgo. El segundo, de un año y medio de duración (del 18/03/02 hasta el 19/09/03) para contrastar dicho modelo.

4. Metodología y esquema-itinerario de la investigación

4.1 Metodología

La consecución de los objetivos enunciados necesita de una metodología diseñada «a medida», es decir, será una combinación de diferentes metodologías que se basará en la consecución de información primaria de la mayor calidad posible. Como tendremos ocasión de explicar con mayor detalle más adelante, utilizaremos, en primer lugar, la metodología proveniente de la Teoría de Valoración de Opciones (OPT). Posteriormente, emplearemos la Simulación Financiera asistida por ordenador, la cual, completaremos con las técnicas de Análisis Estadístico. A continuación, para complementar el análisis de los resultados que obtengamos, nos serviremos de la metodología del Valor en Riesgo (*VaR*) y, finalmente, aplicaremos el Análisis de Filtros y el Análisis Matemático.

La consecución de los objetivos y la aplicación de la metodología citada requiere, previamente, que se defina el ámbito del estudio y se planifique el «itinerario de la investigación», cuyas particularidades pasamos a comentar a continuación.

4.2 Itinerario de la investigación

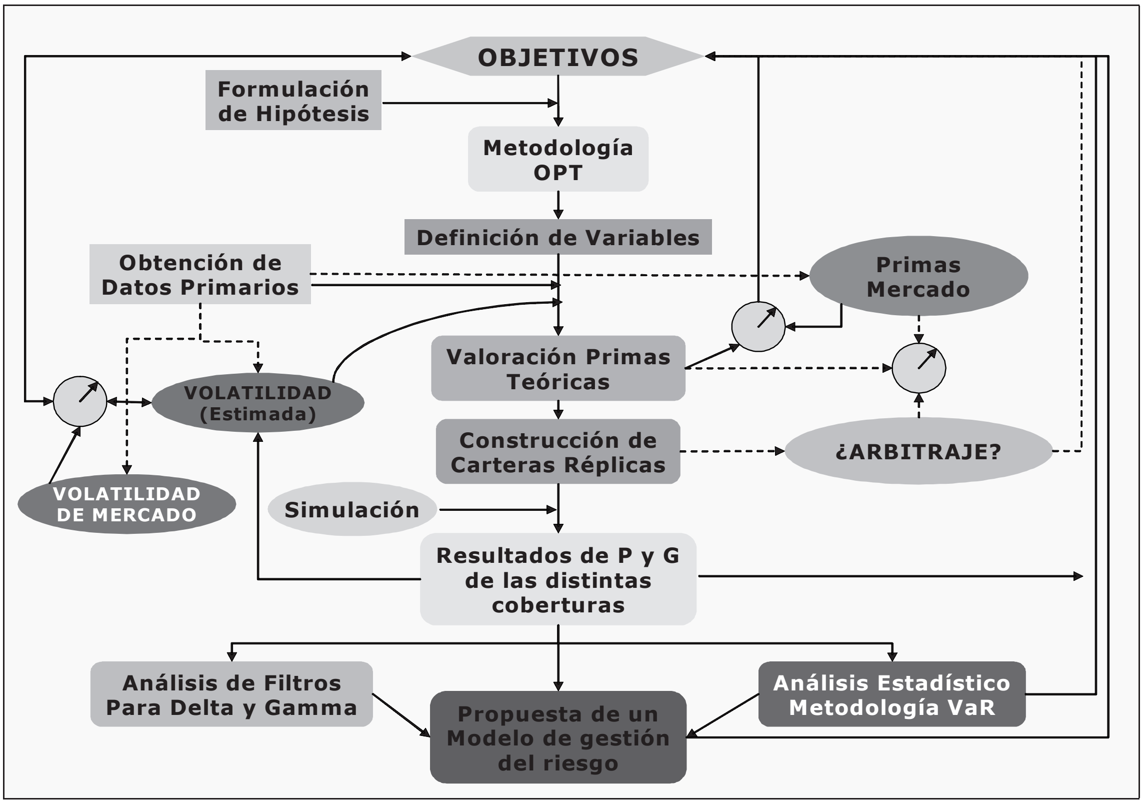
En todo estudio en el que se emplea información primaria, que permita trabajar con datos empíricos, es necesario planificar el «itinerario de la investigación» para que ésta pueda llegar a buen fin. Aunque en las partes siguientes desarrollaremos de forma más detallada dicho itinerario, hemos decidido realizar un esquema-resumen del mismo en aras a ofrecer una visión general y esquematizada del estudio. A continuación, comentamos dicho esquema, el cual, queda recogido en el gráfico 1.

En primer lugar, una vez planteado y justificado el tema a investigar, fijados los objetivos y formuladas las hipótesis de la investigación, procederemos a la elección de la metodología que vamos a emplear para procesar los datos, obtener los resultados y realizar las oportunas interpretaciones de los mismos. En nuestro caso, como ya hemos comentado, aplicaremos la metodología proveniente de la Teoría de Valoración de Opciones (OPT), complementada con la Simulación Financiera, el Análisis Estadístico, el Valor en Riesgo (*VaR*) y el Análisis de Filtros.

En segundo lugar, definiremos las variables que emplearemos según la metodología ya elegida y procederemos a la búsqueda y recopilación de los datos primarios necesarios. Acudiremos a los distintos mercados financieros organizados en España, tanto al contado como de derivados.

Gráfico 1.

Esquema-itinerario de la investigación



En tercer lugar, realizaremos la valoración de las primas teóricas de las opciones a corto plazo, y construiremos las carteras réplicas de las mismas. En este punto, será muy importante la inclusión del dato de la volatilidad estimada, bien la prevista a partir de los datos primarios, bien la fijada directamente por el emisor.

A continuación, mediante simulación con el ordenador, calcularemos los resultados de pérdidas y ganancias para las carteras réplicas de las opciones según diferentes posibilidades: sin cobertura, con cobertura estática, con cobertura dinámica con tipo de interés fijo y con cobertura dinámica con tipo de interés variable, y tanto para volatilidad fija como móvil.

En cuarto lugar, procederemos a realizar, con ayuda de la Estadística y del *VaR*, un análisis, interpretación y valoración de los resultados obtenidos, por lo que, llegados a este punto, estaremos en condiciones de:

a) Comparar dichos resultados según el tipo de volatilidad empleada y, a su vez, comparar ésta con la de mercado, dando respuesta al segundo de nuestros objetivos principales y a la tercera de las preguntas que nos planteábamos.

b) Comparar las primas teóricas con las de mercado y comprobar si, en la práctica, ha habido arbitraje y si las primas teóricas estiman convenientemente a las de mercado. Con ello, estaremos en condiciones de dar respuesta a nuestros tres objetivos secundarios y a la última de nuestras preguntas.

c) Confrontar los resultados de las distintas estrategias de cobertura basadas en la replicabilidad de las opciones y dar respuesta al tercero de nuestros objetivos principales, así como a la primera, segunda, cuarta y quinta de nuestras preguntas.

En quinto, y último lugar, realizaremos un análisis de filtros y, con ayuda de funciones matemáticas primarias y transformadas, propondremos un modelo que dé la voz de alerta cuando el riesgo sea grande y sirva como herramienta de gestión del riesgo a los emisores de opciones (el primero de nuestros objetivos principales).

A lo largo de todo este proceso, obtendremos además, los elementos de juicio que nos permitirán verificar o refutar las hipótesis formuladas en un principio, los cuales, junto con los comentarios sobre el cumplimiento de los objetivos marcados y las reflexiones y resoluciones acerca de los resultados obtenidos, quedarán recogidos, finalmente, en las conclusiones de la investigación.

5. Estado de la cuestión

En nuestra opinión, una de las principales características de este trabajo es que podríamos calificarlo de novedoso. Por esta razón, la bibliografía existente sobre este tipo de estudios en España es bastante escasa, habiéndonos encontrado, tras varios barridos bibliográficos, solamente unos pocos trabajos relacionados, aunque fuera de manera colateral o tangencial, con el mismo. No obstante, y sin ánimo de ser exhaustivos, pues no es éste uno de nuestros objetivos, consideramos conveniente realizar una síntesis del estado del conocimiento en el campo en el que se circunscribe nuestro estudio, al objeto de poder sustentarlo sobre trabajos anteriores, aportando modificaciones o contrastaciones de las hipótesis existentes, así como una somera indicación de los trabajos empíricos relacionados con el tema objeto de nuestra investigación.

Para obtener el precio de los activos con algún grado de riesgo, la teoría financiera moderna utiliza el enfoque alternativo del arbitraje[5]. Mediante argumentos de arbitraje se trata de deducir el valor de un nuevo activo a partir de una serie de activos existentes de precio conocido, imponiendo la condición de inexistencia de arbitraje y analizando las implicaciones de este supuesto.

Una implicación inmediata de la ausencia de arbitraje es la «Ley de Precio Único», según la cual, si no es posible el arbitraje, dos activos idénticos se deben negociar al mismo precio, obteniéndose así el precio del nuevo activo. Tal y como afirma Ross (1977), la ausencia de arbitraje es el concepto unificador de las Finanzas.

La introducción de los conceptos de arbitraje y sustitución en Finanzas se deben a Modigliani y Miller (1958), en su Proposición I sobre la determinación de la estructura financiera óptima de la empresa, en un contexto ideal de mercados de capitales perfectos. Posteriormente, Black y Scholes (1973) los utilizaron para obtener su famosa fórmula de valoración de opciones[6].

Han sido numerosos los desarrollos teóricos que, asumiendo mercados perfectos y comportamiento racional por parte de los agentes económicos, han analizado y valorado los activos con riesgo.

En cuanto a las opciones, éstas son conocidas desde muy antiguo, datando los primeros intentos de valoración de principios del siglo XX. Pero, mientras que con el modelo CAPM se proporciona una teoría positiva que permite valorar activos con riesgo como las acciones, sin embargo, éste no es válido para valorar activos contingentes o derivados, como es el caso de las opciones, cuya rentabilidad depende de otro u otros activos. El primer resultado aplicable no se obtuvo hasta que Black y Scholes publicaron, en 1973, su conocido artículo donde proporcionaban una valoración racional de las opciones, que no sólo verifica las relaciones de arbitraje, sino que además puede deducirse rigurosamente de sus

---

[5] Por contra, el enfoque utilizado por el ya clásico *Capital Assets Princing Model* (CAPM) para obtener el valor de los activos financieros con riesgo es el de equilibrio, basado en la agregación de preferencias individuales bajo la hipótesis de homogeneidad.

[6] Las contribuciones de Robert Merton, Myron Scholes y Fisher Black a las Finanzas están recogidas en DUFIE (1998).

supuestos de partida, y que, con posterioridad, daría lugar a la «Teoría de Valoración de Opciones» u *Option Pricing Theory* (OPT).
Los trabajos desarrollados recientemente muestran que los modelos de valoración de opciones pueden ser muy útiles también en su aplicación a las Finanzas Empresariales. De hecho, se han realizado numerosas e importantes aplicaciones desde el enfoque de la Teoría de Opciones a las Finanzas Corporativas, como, por ejemplo, la de Merton (1974) para analizar los efectos del riesgo sobre el valor de la deuda empresarial; la de Galai y Masulis (1976) para examinar el efecto de las fusiones y adquisiciones; la de Ingersoll (1976 y 1977) para valorar acciones de determinados fondos, deudas convertibles y *warrants* o la de otros autores como Myers (1977) y Shastri (1981).

Ciñéndonos al tema objeto de nuestra investigación, aparecen diversos problemas al intentar contrastar empíricamente el modelo de Black-Scholes (HULL, 2002). El primer problema es que debe contrastarse conjuntamente si la fórmula para valorar opciones es correcta y si los mercados son eficientes. Un segundo problema añadido es el de la volatilidad (GARCÍA MACHADO *et alt*., 1997). Finalmente, un tercer problema es que el investigador debe asegurarse de que los datos del precio de las acciones y del precio de la opción están sincronizados.

Black y Scholes (1972) y Galai (1977) contrastaron empíricamente si era posible obtener rendimientos por encima del tipo de interés libre de riesgo. Los primeros utilizaron datos del mercado de opciones OTC y, el segundo, del *Chicago Board Options Exchange* (CBOE). Algunos investigadores han decidido no hacer supuestos sobre el comportamiento de los precios de las acciones y han contrastado qué estrategias de arbitraje pueden utilizarse para obtener beneficios sin riesgo en mercados de opciones. Garman (1976) aporta un procedimiento computacional para encontrar cualquier posibilidad de arbitraje que pueda existir en una situación dada. Klemkosky y Resnick (1979) concluyen en su estudio que son posibles algunos pequeños beneficios a partir del arbitraje, debidos principalmente a la sobrevaloración de las opciones *calls* americanas.

Chiras y Manaster (1978) llevaron a cabo un interesante trabajo de investigación, utilizando datos del CBOE, en el que compararon una volatilidad implícita ponderada de opciones sobre acciones en un momento determinado con la volatilidad calculada a partir de datos históricos. Encontraron que la primera daba un mejor pronóstico de la volatilidad del precio de las acciones durante toda la vida de la opción. Estos autores también contrastaron si era posible obtener beneficios por encima de la media a partir de la compra de opciones con volatilidades implícitas bajas y la venta de opciones con volatilidades implícitas elevadas. La estrategia mostró un beneficio de un 10% mensual. Este estudio puede ser interpretado como un buen respaldo al modelo Black-Scholes. Otro interesante trabajo, fue el realizado por Trippi (1977), donde también trataba de comprobar la posibilidad de conseguir beneficios extraordinarios utilizando estrategias de compra y venta de opciones utilizando la fórmula de Black-Scholes. Todos estos estudios originales tuvieron algunos errores técnicos que fueron resueltos por Rubinstein y Leland (1981) y completados, posteriormente, por el propio Leland (1985) y Asay y Edelberg (1986).

Macbeth y Merville (1979) realizaron otro estudio en el que observaron diferentes opciones de compra sobre las mismas acciones al mismo tiempo y compararon sus volatilidades implícitas. Encontraron que las volatilidades implícitas tendían a ser relativamente elevadas para opciones ITM[7] y relativamente bajas para opciones OTM[8]. Una volatilidad relativamente elevada es indicativa de un precio de opción relativamente elevado, y una volatilidad implícita relativamente baja es indicativa

[7] Iniciales de *In The Money* (con valor intrínseco).
[8] Iniciales de *Out of The Money* (sin valor intrínseco).

de un precio de opción relativamente bajo. Entonces, si se supone que Black-Scholes valoran opciones ATM[9] correctamente, se puede concluir a partir de las observaciones de Macbeth y Merville, que las opciones de compra OTM (precio de ejercicio elevado) son sobrevaloradas por Black-Scholes y las opciones de compra ITM (precio de ejercicio bajo) son infravaloradas por Black-Scholes. Estos efectos resultan más pronunciados a medida que aumenta el plazo hasta el vencimiento y el grado en el que la opción está ITM u OTM. Estos resultados fueron confirmados por Lauterbach y Schultz (1990) en un trabajo posterior centrado en los precios de los *warrants*.

Rubinstein (1985 y 1994) y Jackwerth (1996), en recientes investigaciones, también ratifican los resultados de Macbeth y Merville, las opciones con precios de ejercicio bajos tienen volatilidades más elevadas que aquellas con precios de ejercicio altos.

Otros autores han investigado acerca de la cobertura de las posiciones en opciones, la formación de carteras réplicas y el aseguramiento de las mismas. Entre éstos, cabe citar a Asay y Edelberg (1986), Bookstaber y Langsam (1988), Boyle, Emanuel y Vorst (1980 y 1992), Chauveau y Gatfaoui (2002), Etzioni (1986), Edirisinghe, Naik y Uppal (1993), Figlewski (1989), Galai (1983), Gerber y Shiu (1995 y 1996), Hodges y Neuberger (1989), Hull y White (1987), Melino y Turnbull (1995), Monoyios (2004), Pelsser (2003), Perrakis y Lefoll (2000), Rubinstein (1981) y Leland (1980 y 1985) y Tilley y Latainer (1985).

En Italia, Corielli y Penati (1996) y Cavallo y Mammola (2000) han estudiado estrategias de replicación de opciones en el mercado italiano de derivados financieros.

En España, no hemos encontrado estudios empíricos sobre replicación de opciones, pero existe un interesante trabajo de Fernández (1996) en el que analiza la evolución de una cartera réplica de distintas opciones *calls* ficticias a un año sobre el IBEX-35. Para ello, supone que las opciones se hubieran creado el 31 de diciembre de cada año y tuvieran vencimiento el 31 de diciembre del año siguiente, desde 1987 hasta 1994, y estudia la recomposición y el valor final de la cartera réplica bajo varios supuestos: volatilidad del 10% y 20%, existencia o no de comisiones y recomposición diaria de la cartera por ajuste a la *delta*.

[9] Iniciales de *At The Money* (en paridad de precios).

6. Fundamentos teóricos

6.1 Cartera réplica equivalente a una opción de compra y relaciones de arbitraje

La valoración de cualquier activo financiero, incluyendo las opciones, se puede realizar mediante un enfoque de arbitraje. En este contexto, el arbitraje significa simplemente que se pueden obtener beneficios comprando y vendiendo activos sin tomar riesgos. Como las oportunidades de arbitraje[10] atraen a todos los inversores, éstas desaparecen rápidamente. En un mercado financiero eficiente y en equilibrio, los precios de los activos no permiten realizar operaciones de arbitraje o, dicho de otro modo, mediante relaciones de arbitraje podemos determinar los precios «correctos» para todo tipo de activos financieros (LAMOTHE *et alt*., 2003 y LORING, 2000).

Black y Scholes, basándose en sus hipótesis, demostraron que se puede construir una cartera de valores (cartera réplica) con acciones y bonos (o tomando dinero prestado) de manera que el rendimiento de la cartera réplica sea exactamente igual que el rendimiento de una opción de compra en un intervalo de tiempo muy corto (δ_t). Haciendo cambios continuos en la composición de la cartera réplica (con el transcurso del tiempo y cuando cambia el precio de la acción) es posible lograr que dicha cartera réplica tenga un comportamiento idéntico al de la opción. Por tanto, el precio de la opción será, en el momento cero, igual al valor de la cartera réplica. La cartera réplica de la opción, construida normalmente con acciones y bonos[11], se denomina opción sintética.

La derivación de la fórmula de Black-Scholes[12] se basa, por tanto, en que es posible formar una cartera con acciones y bonos que constituye una perfecta réplica de una opción de compra. Esta cartera se ha de ir modificando, como decimos, según cambia el valor de la acción y también con el transcurso del tiempo. Como ya se ha visto, la cartera réplica de una opción de compra está compuesta en todo momento por acciones y por dinero tomado a préstamo, o lo que es lo mismo, bonos emitidos o vendidos a crédito[13].

Matemáticamente, una opción de compra es igual a una cartera réplica compuesta por Δ acciones y B euros tomados a préstamo a devolver en «t», en todo momento, donde:

$$\Delta = \frac{\partial C}{\partial S} = N(d_1) \text{ y } B = E * e^{-r*t} * N(d_2) \qquad [1]$$

[10] Son consideradas como «máquinas de hacer dinero».

[11] Alternativamente, la cartera réplica puede construirse también con bonos y contratos *forwards*.

[12] Véase, por ejemplo, la explicación a la fórmula de Black-Scholes que dan Brealey y Myers (2003).

[13] Los primeros trabajos sobre replicabilidad de opciones se deben a Rubinstein y Leland (1981 y 1985) y Asay y Edelberg (1986).

donde:

$$d_1 = \frac{\ln(\frac{S}{E}) + (r + \frac{\sigma^2}{2}) * t}{\sigma\sqrt{t}}$$

$$d_2 = \frac{\ln(\frac{S}{E}) + (r - \frac{\sigma^2}{2}) * t}{\sigma\sqrt{t}} = d_1 - \sigma\sqrt{t}$$

siendo:

C = Precio de la opción *call*.
S = Precio del activo subyacente en el momento de la valoración.
E = Precio de ejercicio.
r = Tasa de interés en tiempo continuo: r = ln(1+ r_f).
t = Tiempo hasta el vencimiento de la opción (expresado en años).
σ = Volatilidad del precio del subyacente (medida por la desviación estándar anualizada).
N(i) = Valores de la función de distribución normal estandarizada para «i».
e = Base de los logaritmos neperianos: 2,7183
ln: Logaritmo neperiano.

Tomar prestados B euros es equivalente a emitir o vender a crédito bonos cupón cero (o pagarés) que vencen en «t» y que tienen un valor nominal (VN) de:

$$VN = E * N(d_2) \quad [2]$$

En resumen, como hemos visto, la base de la fórmula de Black-Scholes está en el arbitraje. Su famosa fórmula[14], proporciona el valor de la *call*, porque si formamos una cartera réplica compuesta por Δ acciones y un préstamo de B euros, en la fecha de vencimiento de la opción, esta cartera valdrá exactamente lo mismo que la *call*: Máx. (S-E, 0). Tal y como veremos más adelante, $N(d_1)$ es el ratio de cobertura o ratio *delta*, es decir, la cantidad de acciones (o de unidades del activo subyacente) necesarios para formar la cartera réplica de la opción. Por tanto, $S*N(d_1)$ es el coste de las acciones que necesitamos y, el segundo término (que hemos llamado B), es el importe necesario para financiarnos al tipo de interés libre de riesgo para replicar la opción. En síntesis, la diferencia entre ambos términos, es el coste de la cartera réplica. Como puede verse, por tanto, la fórmula de Black-Scholes es simplemente una relación de arbitraje. El lado izquierdo de la ecuación[14] es el valor de la opción. El lado derecho de dicha ecuación[14] nos proporciona el precio de mercado de la cartera réplica (LAMOTHE *et alt.*, 2003). Este planteamiento será el que utilizaremos más adelante en la parte empírica de nuestro trabajo.

Otro principio general muy importante en la valoración de activos financieros derivados, es el que se conoce como *valoración neutral al riesgo*. Éste puede enunciarse de la siguiente forma (HULL, 2002): «*Cualquier activo financiero dependiente de otros activos financieros negociados puede valorarse bajo el supuesto de que los inversores son neutrales al riesgo*». Este fundamento teórico es muy útil en la práctica. Nótese que la valoración neutral al riesgo no establece que los inversores sean neutrales al riesgo, sino que los activos financieros derivados como las opciones pueden valorarse bajo este supuesto, lo que significa que las preferencias sobre el riesgo de los inversores no influyen en el precio de la opción cuando ésta se expresa o valora en función del precio de las acciones subyacentes.

[14] $C = S * N(d_1) - E * e^{-r*t} * N(d_2)$ [3]

Esto explica porqué las fórmulas de Black-Scholes, sorprendentemente, no incluyen el rendimiento esperado sobre las acciones, sino el tipo de interés libre de riesgo. En un mundo neutral al riesgo, se cumplen dos circunstancias:

1) El rendimiento esperado de todos los activos financieros es el tipo de interés libre de riesgo. Lógicamente, en un mundo donde los inversores son neutrales al riesgo, éstos no exigirán compensaciones o primas por riesgo.
2) El tipo de interés libre de riesgo es el tipo de descuento apropiado para aplicar a cualquier futuro flujo de caja esperado.

Pueden valorarse opciones y otros derivados que generen ingresos (*payoffs*), en un momento determinado, utilizando la valoración neutral al riesgo. De esta forma, cuando se valoran opciones, los precios que se consiguen son válidos no sólo en un mundo neutral al riesgo, sino también en otros entornos. El procedimiento sería el siguiente:

1. Suponer que el rendimiento esperado del activo subyacente es el tipo de interés libre de riesgo.
2. Calcular el pago esperado por la opción a su vencimiento.
3. Descontar el pago esperado al tipo de interés libre de riesgo.

En el análisis Black-Scholes se establece una cartera libre de riesgo de una posición en la opción y una posición en las acciones subyacentes. En ausencia de oportunidades de arbitraje, el rendimiento de la cartera debe ser el tipo de interés libre de riesgo, «r_f». Esto lleva a una ecuación diferencial que debe ser satisfecha por la opción. La razón por la que puede establecerse una cartera libre de riesgo es porque el precio de las acciones y el precio de la opción están afectados por la misma fuente de incertidumbre: los movimientos del precio de las acciones.

En cualquier intervalo de tiempo muy corto, el precio de una opción de compra está perfecta y positivamente correlacionado con el precio de las acciones subyacentes; el precio de una opción de venta está perfecta y negativamente correlacionado con el precio de las acciones subyacentes. En ambos casos, cuando se establece una cartera apropiada de las acciones y de la opción, el beneficio o pérdida de la posición en acciones siempre compensa el beneficio o la pérdida de la posición en la opción, de modo que se conoce con seguridad el valor total de la cartera al final de dicho intervalo de tiempo muy corto (HULL, 2002).

En el análisis de Black-Scholes, la posición que se establece es libre de riesgo sólo para un período de tiempo muy corto. Teóricamente, se permanece libre de riesgo tan sólo un instante. Para poder permanecer libre de riesgo más tiempo, se debe ir ajustando frecuentemente la posición en acciones o redefinirse ésta[15]. No obstante, el rendimiento de una posición libre de riesgo en cualquier período corto de tiempo, siempre debe ser el tipo de interés libre de riesgo para evitar oportunidades de arbitraje. De hecho, esto permite que el precio de la opción pueda ser valorado en términos del precio de las acciones, y es el elemento clave en los argumentos de Black-Scholes y Merton que conduce a sus famosas fórmulas de valoración.

6.2 Las coberturas neutrales a *delta*, *gamma* y *vega*

Básicamente, podemos distinguir entre dos tipos de cobertura con opciones:

- *La de ratio simple*, que se basa en la combinación de una opción con el activo subyacente objeto de la cobertura. La finalidad es que se produzca una

[15] Estos aspectos serán tratados con mayor profundidad cuando hablemos de la cobertura *delta*.

compensación entre ambos, es decir, que el activo proteja las pérdidas de la opción o la opción proteja las del activo. Por tanto, en este tipo de cobertura, la opción se configura como un seguro que garantiza un rendimiento mínimo y la posibilidad de obtener beneficios. En la cobertura de posiciones simples, la relación se establece para *delta* igual a uno. De esta forma, se plantea una cobertura perfecta (o estática) a la fecha de vencimiento de la opción. Ésta podrá ser realizada mediante la compra o la venta de opciones[16].

- *La de ratio delta*, que indica la proporción de activo subyacente que debe tener en su poder el emisor de una opción para estar cubierto y se utiliza para desarrollar las estrategias con *delta neutral*. Si bien, dado que el precio de la opción va variando continuamente, será preciso ir ajustando la posición para tener una cobertura dinámica.

En las estrategias con *delta neutral* se elimina el riesgo de variación de precios, pero no el riesgo que puede surgir de otros elementos como el de la volatilidad. Por tanto, en los mercados de opciones se puede «especular» con la volatilidad del subyacente, de tal manera que, si la volatilidad del mercado es inferior a nuestra previsión de volatilidad, compraríamos opciones con *delta neutral* y, si la volatilidad del mercado es superior a nuestra previsión de volatilidad, venderíamos opciones con *delta neutral* (LAMOTHE *et alt*., 2003). Para construir una posición *delta neutral* se combinan diferentes posiciones al contado y/o en derivados, de tal forma que se logre que la *delta* total de la posición conjunta sea cero.

Esta operación inmuniza ante una variación inmediata del precio del subyacente, ya que nos hemos cubierto con el mismo en la proporción indicada por el *ratio delta* o *ratio de cobertura* (MARTÍNEZ ABASCAL, 1993). No obstante, y dado que la *delta* de las opciones varía con las fluctuaciones del precio del subyacente, habrá que ir ajustando periódicamente la posición *delta neutral* comprando o vendiendo el activo subyacente según corresponda. A esto se le conoce como *reajuste de la cartera*.

Según Hull (2002), es importante darse cuenta que la posición del inversor sólo permanece cubierta (o es *delta neutral*) durante un período de tiempo relativamente corto. Esto es porque, como decíamos, la *delta* cambia en el tiempo y, en la práctica, la cobertura debe reajustarse periódicamente. Las estrategias de cobertura que implican reajustes frecuentes son un ejemplo de *estrategias de cobertura dinámicas*, las cuales, pueden ser contrastadas con las *estrategias de cobertura estáticas*, en las que la cobertura se fija inicialmente y nunca se ajusta. Las estrategias de cobertura estáticas suelen denominarse de *hedge and forget* («cubrir y olvidarse»). En la parte empírica de la investigación construiremos coberturas con *delta neutral* tanto dinámicas (con reajustes diarios) como estáticas, y tanto para volatilidad fija como móvil.

La *delta* está estrechamente relacionada con el análisis de Black-Scholes y la replicabilidad de las opciones expuestas en el epígrafe anterior. Como se comentó, Black y Scholes demostraron que es posible establecer una cartera libre de riesgo consistente en una posición en una opción sobre acciones y una posición en las acciones subyacentes. Dicho de otro modo, podemos decir que Black y Scholes valoraron opciones estableciendo una posición *delta neutral* y argumentando que el rendimiento de la posición debe ser el tipo de interés libre de riesgo.

Es posible, que mantener una posición *delta neutral* sobre una única opción y su activo subyacente, sea excesivamente caro para un inversor dados los denominados *costes de transacción* asociados a las operaciones de compra-venta

[16] Cuando no existan opciones sobre el activo a cubrir, se pueden realizar *coberturas cruzadas*. En este caso, debe existir una gran correlación entre el activo que se desee cubrir y el activo subyacente de la opción.

por los reajustes que se tengan que realizar en la cartera para lograr una cobertura dinámica. Para los gestores de las grandes carteras institucionales, es más factible el establecimiento de este tipo de cobertura. Sólo será necesaria una operación sobre el activo subyacente para neutralizar la *delta* de toda la cartera de opciones y los costes de transacción de la cobertura serían absorbidos por los beneficios de las diferentes operaciones.

Los operadores en derivados no sólo tienen en cuenta el valor de *delta*, sino también la mayor o menor rapidez de sus variaciones, que puede medirse a través del coeficiente *gamma*. Éste nos mide la rapidez en los cambios de *delta* y se define también como la variación en el parámetro *delta* dada una unidad de cambio en el precio del activo subyacente. A veces, los operadores también la denominan la «curvatura» de una opción. El coeficiente *gamma* nos indica también la velocidad de los reajustes para mantener una cartera en *delta neutral*. Si *gamma* es pequeña, la *delta* varía sólo muy lentamente, y se deben realizar pocos ajustes para mantener una cartera neutral a *delta*. Sin embargo, si *gamma* es grande es términos absolutos, la *delta* es altamente sensible al precio del activo subyacente y, entonces, es bastante arriesgado no introducir cambios en la cartera *delta neutral* durante un largo período de tiempo (HULL, 2002). En principio, las opciones que exigen más ajustes para lograr una posición *delta neutral* son las opciones ATM.

Con el fin de seguir una estrategia de cobertura dinámica, tal y como se ha comentado anteriormente, es preciso ir ajustando la posición en el subyacente según nos vaya indicando la *delta*. Sin embargo, la cobertura *delta neutral* no está considerando que se produce un «error de cobertura» debido a la «curvatura» de la relación entre el precio de la opción y el precio del activo subyacente y, *gamma* es, precisamente, el coeficiente que nos mide la frecuencia con la que tenemos que ir adaptando dicha cobertura.

Hay que distinguir entre carteras de opciones con *gamma* positiva y carteras de opciones con *gamma* negativa. Las primeras presentan un perfil global comprador de opciones y las segundas un perfil vendedor de opciones. En términos operativos, la consecuencia de una cartera *gamma* negativa es la exigencia de una gestión de cobertura muy rigurosa con operaciones constantes de compras y ventas del subyacente para ajustar la *delta* de la cartera (neutral). Ello se debe a que la cartera con *gamma* negativa tiene una evolución de la *delta* en sentido inverso a la evolución del precio del subyacente y, además, pierde valor ante cualquier movimiento de este precio, al contrario que la cartera con *gamma* positiva (véase: HULL, 2002 y LAMOTHE *et alt.*, 2003).

Según Granier (1988), este tipo de carteras presentan sistemáticamente un «retardo de cobertura» y suponen una prima pagada a la liquidez del mercado. Esto es debido a que si el mercado se mueve muy deprisa, el vendedor de la cartera no puede siempre lograr los ajustes necesarios para mantener su cartera en *delta neutral*, lo cual le puede ocasionar pérdidas considerables. El único efecto que compensa esta situación es el paso del tiempo. Esta compensación del valor tiempo será mayor cuanto más se aproxime la volatilidad histórica a la volatilidad implícita. La existencia de desfases entre ambas volatilidades aconsejan la adopción de estrategias de *gamma* próxima a cero, denominadas *gamma neutral*, o incluso *gamma* positiva, lo cual implica la necesidad de comprar opciones a efectos de la cobertura global de la cartera.

Una posición en el propio activo subyacente tiene una *gamma* de cero y no puede utilizarse para cambiar la *gamma* total de la cartera. Por tanto, lo que se necesita para neutralizar la *gamma* son contratos de opción, que no dependen linealmente del precio del activo subyacente (BOOKSTABER, 1993). Por supuesto, incluir una opción negociada hace que cambie la *delta* de la cartera, con lo cual, la posición en el activo subyacente tiene que cambiar para mantener la neutralidad *delta*. Nótese que la cartera sólo es neutral a *gamma* durante un período corto de tiempo. Con el paso del tiempo, la neutralidad de *gamma* se mantiene sólo si la posición en la opción negociada se ajusta de manera que siempre sea igual a $-\Gamma/\Gamma_t$[17]

Convertir una cartera *delta neutral* en *gamma neutral* puede considerarse como una primera corrección para el hecho de que la posición en el activo subyacente no pueda cambiarse continuamente cuando se utiliza la *cobertura delta*. La neutralidad *delta* proporciona protección contra los movimientos relativamente pequeños en el precio del subyacente entre reajustes. La neutralidad *gamma* proporciona protección contra movimientos mayores en el precio de dicho subyacente entre reajustes de cobertura.

Realmente, a tenor de lo visto, el parámetro que nos mide el riesgo asumido en nuestras posiciones en opciones es la *gamma*, ya que la *delta* lo que nos mide es el riesgo de posición en términos del subyacente (acciones, futuros, divisas, etc.).

Los coeficientes *delta* y *gamma*, junto con la volatilidad, serán los parámetros sobre los que nos basaremos fundamentalmente en la parte empírica de nuestra investigación para proponer un modelo de gestión del riesgo a los emisores de opciones sobre el IBEX-35.

Por último, otro parámetro que tienen en cuenta los operadores en los mercados de opciones es el coeficiente *vega*. Éste recoge la sensibilidad de la prima de la opción respecto a los cambios en la volatilidad. Hay que destacar que las carteras de opciones globalmente compradoras tienen *vega* positiva y las vendedoras *vega* negativa. Evidentemente, cuando se compran opciones interesa que suba la volatilidad, y cuando se venden que baje. Si *vega* es alta en valor absoluto, el valor de la cartera es muy sensible a pequeños cambios en la volatilidad. Si *vega* es baja en valor absoluto, los cambios en la volatilidad tienen un impacto relativamente pequeño sobre el valor de la cartera.

En general, el cálculo de *vega* se realiza a partir del modelo de Black-Scholes y sus extensiones, lo cual puede parecer extraño, dado que uno de sus supuestos fundamentales es que la volatilidad es constante. Teóricamente, sería más correcto calcular *vega* a partir de un modelo con volatilidad estocástica. Sin embargo, resulta que la *vega* calculada a partir de modelos con volatilidad estocástica es muy similar a la *vega* de Black-Scholes. De ahí, que la práctica de calcular *vega* a partir de un modelo con volatilidad constante funcione razonablemente bien (véase HULL y WHITE, 1987 y 1988).

Según Hull (2002), la *vega* de una cartera puede cambiarse añadiendo, al igual que en la cobertura *gamma neutral*, una posición en una opción negociada. Recordemos que una posición en el activo subyacente tiene una *vega* igual a cero. Si κ es la *vega* de una cartera y κ_t es la *vega* de una opción negociada, una posición de $-\kappa/\kappa_t$ en la opción negociada hace instantáneamente a la cartera neutral a *vega*. Desgraciadamente, una cartera que es neutral a *gamma*, en general, no será neutral a *vega*, y viceversa. Por este motivo, si un coberturista necesita una cartera que sea neutral a *gamma* y a *vega*, deberá utilizar, al menos, dos opciones sobre el activo subyacente[18].

En un mundo ideal, los operadores que trabajan para las grandes instituciones financieras podrían reajustar sus carteras con mucha frecuencia para mantener una *delta* cero, *gamma* cero, *vega* cero, etc. En la práctica esto no es posible. Cuando

---

[17] Donde Γ es la *gamma* de la cartera *delta neutral* y $-\Gamma_t$ el coeficiente *gamma* de una opción negociada cualquiera.

[18] Puede consultarse un ejemplo global de coberturas neutrales a los efectos *delta*, *gamma* y *vega* en Lamothe *et alt*. (2003).

se gestiona una gran cartera que depende de un único activo subyacente, los operadores suelen lograr una *delta neutral* (*delta* igual a cero) al menos una vez al día operando con el activo subyacente. Desgraciadamente, es más difícil conseguir una *gamma* y una *vega neutral* porque es muy complicado encontrar opciones u otros activos derivados, no relacionados linealmente, que puedan negociarse en el volumen necesario a precios competitivos. En la mayoría de los casos, lo que se hace es vigilar muy de cerca a *gamma* y a *vega*, y cuando estos parámetros se hacen muy grandes en valor absoluto, se toman medidas correctoras o se corta la negociación. Y, esto es precisamente lo que haremos en la parte empírica de este trabajo, construiremos carteras con *delta neutral* y realizaremos coberturas estáticas y dinámicas, vigilando el valor que tomen las *gammas* de las mismas ante diferentes alternativas.

En muchos mercados, la mayoría de las operaciones las constituyen las ventas de opciones de compra y de venta por parte de los grandes emisores institucionales. Las emisiones de opciones, como ya se ha dicho, tienen *gammas* y *vegas* negativas. Ocurre que, a medida que pasa el tiempo, la *gamma* y la *vega* de la cartera del emisor tienden a ser progresivamente más negativas. Los gestores de dichas carteras, a menudo, buscan comprar opciones con *gammas* y *vegas* positivas a precios competitivos para solucionar esto. Hay un aspecto que, en cierta medida, mitiga en algo este problema. Las opciones, cuando se emiten por primera vez, están normalmente cerca de ATM, por lo que presentan *gammas* y *vegas* relativamente elevadas. Pero, tras el paso del tiempo, tienden a estar claramente ITM u OTM. En este caso, sus *gammas* y *vegas* se hacen más pequeñas y las consecuencias son escasas. La situación más grave para un emisor de opciones, es que las opciones emitidas permanezcan muy cerca de ATM hasta su vencimiento.

7. Definición de las variables del trabajo empírico y fuentes de datos

Una vez vistos los fundamentos teóricos y metodológicos que vamos a utilizar, pasamos al desarrollo de la investigación empírica propiamente dicha, en la que analizaremos los resultados que obtengamos, en aras a cumplir con los objetivos expuestos para el caso de las emisiones de opciones *call* a corto plazo. Para ello, utilizaremos la metodología comentada anteriormente y presentaremos la información obtenida de forma que sea lo más comprensible posible, es decir, con gráficos y cuadros resumen.

Siguiendo el esquema-itinerario de la investigación, los objetivos establecidos al comienzo, así como, la propia metodología que vamos a emplear, comenzamos definiendo, en primer lugar, las variables y describiendo las fuentes de datos que vamos a utilizar, que, de forma somera, son las siguientes:

1. **Elección de la opción a replicar**: Será la opción *Call* a 3 meses (es decir, la de primer vencimiento de la serie trimestral anual Marzo-Junio-Septiembre-Diciembre) sobre el IBEX-35 desde el punto de vista del emisor de las mismas.
2. **Determinación del activo subyacente**: Dos posibilidades: IBEX-35 al contado y el contrato de futuros sobre el IBEX-35 (en este caso, el de primer vencimiento de la serie trimestral anual, es decir, a 3 meses).
3. **Selección del precio de ejercicio**: El correspondiente a la opción *call* negociada que esté más próximo a la cotización del índice (o del futuro del índice) en el momento de su emisión. Es decir, la más ATM.
4. **Cómputo del tiempo hasta el vencimiento**: Primero en días, desde cada fecha hasta la del vencimiento y, después, convertido en términos anuales.
5. **Elección del tipo de interés a corto plazo**: el del Mercado Interbancario a 3 meses con dos posibilidades: fijo y variable.
6. **Estimación de la volatilidad**: Dado que, a diferencia de las anteriores, la volatilidad no es una variable observable directamente, hemos de estimarla previamente. Utilizaremos la volatilidad histórica muestral corregida, propuesta por Cox y Rubinstein (1985), para estimar la volatilidad futura. En particular, aplicaremos la formulación empleada por el *Chicago Mercantile Exchange* (CME) ya que es una de más utilizadas por los operadores del mercado. Se hará en dos fases, primero, se estimará la volatilidad a partir de los datos del subyacente, sea éste el contado o el futuro sobre el IBEX-35 y, posteriormente, se introducirá como *input* en el modelo al ser una variable explicativa más. Será la volatilidad histórica correspondiente a los tres meses previos de negociación (en días), expresada en porcentaje y anualizada, y tendremos dos posibilidades: volatilidad fija o móvil.

En cuanto a las **fuentes de datos** en las que nos basaremos, éstas son, para datos diarios, y desde marzo de 1992, las siguientes:

1. **Serie histórica del índice IBEX-35**, suministrada por el Servicio de Estudios de la Bolsa de Madrid. Se trata de la serie diaria de cotizaciones del índice desde que existe, del 5 de enero de 1987 hasta la fecha. No obstante, dado que las opciones sobre el IBEX-35 empezaron a negociarse a partir de 1992, utilizaremos esta serie a partir de dicha fecha. La serie contiene los datos referentes a precios de apertura, máximo, mínimo y de cierre; aunque en esta investigación, sólo utilizaremos los precios de cierre. Esta serie, que puede mensualizarse, la utilizaremos para el cálculo de las primas teóricas, la estimación de la volatilidad y la construcción de las carteras réplicas.
2. **Serie histórica de tipos de interés**, también suministrada por el Servicio de Estudios de la Bolsa de Madrid y completada con los datos del Boletín Estadístico del Banco de España. Se trata de la serie diaria de los tipos de interés del mercado interbancario a tres y seis meses desde el 1 de febrero de 1990 hasta la fecha, y que también puede mensualizarse. Como ya hemos explicado, utilizaremos estos datos a partir de 1992, y emplearemos los tipos a tres meses para calcular las primas teóricas de las opciones y el coste financiero de los préstamos de las diferentes carteras réplicas.
3. **Serie histórica de precios y volatilidades del futuro sobre el IBEX-35**, construida por nosotros mismos a partir de las bases de datos suministradas por MEFF. Abarca desde el 20 de abril de 1992 hasta la fecha. Se trata de la serie diaria del futuro de primer vencimiento del ciclo trimestral Marzo-Junio-Septiembre-Diciembre e incluye: precio de compra (demanda), precio de venta (oferta), precios máximos, mínimos y último cruzados (cierre), volumen de mercado, precio de liquidación, interés abierto y volatilidad al cierre. En nuestra investigación, al igual que con el contado del IBEX-35, utilizaremos sólo el precio de cierre para el caso de que, en vez de replicar la opción con el contado lo hagamos con el futuro.
4. **Serie histórica de las primas de mercado y volatilidades de las opciones *call* sobre el IBEX-35**, también construida por nosotros mismos a partir de las bases de datos suministradas por MEFF. La serie de primas de mercado, abarca desde el 1 de julio de 1992 hasta la fecha; y, la de volatilidades, empieza más tarde, desde el 12 de diciembre de 1995, ya que MEFF no publicaba datos de volatilidades al cierre antes de esa fecha. Se trata de la serie diaria de la opción *call* más ATM de primer vencimiento del ciclo trimestral Marzo-Junio-Septiembre-Diciembre e incluye: activo subyacente (FIE[19]), tipo de contrato (*call*, *put* o futuro), fecha de vencimiento, precio de ejercicio, nombre del contrato, precio de compra (demanda), precio de venta (oferta), precios máximos, mínimos y último cruzados (cierre), volumen diario, precio de liquidación, interés abierto y volatilidad al cierre. Esta serie histórica de la opción *call* más ATM, en realidad es doble, una para el caso de realizar la cobertura con el índice al contado y otra para el caso de hacerla con el futuro. Su utilidad y uso en la investigación empírica es fundamental ya que:

    - Por un lado, es necesaria para tener una serie continua de datos de mercado de las opciones para cruzar con el IBEX-35, tanto al contado como en futuros, y comprobar si en el mercado hay productos derivados estandarizados que permiten efectuar la cobertura.
    - Y, por otro, para poder confrontar las primas teóricas y las volatilidades estimadas con las de mercado; y así, poder dar respuesta a algunos de los objetivos y preguntas que nos planteábamos al comienzo.

En cuanto a la prima de mercado, podemos elegir entre varios precios posibles: demanda, oferta, máximo, mínimo y último. En este caso, hemos elegido el precio de demanda, que es el precio al que están dispuestos a comprar los compradores

[19] Así es el nombre con el que aparece el IBEX-35 en los ficheros de MEFF.

de opciones ya que, como nuestro trabajo está enfocado desde el punto de vista de los emisores, éstos siempre encontrarán contrapartida a dicho precio.

Hemos de decir que la construcción de esta última serie de datos ha sido muy laboriosa y difícil de manejar.

En base a lo anterior, y en segundo lugar, pasamos a construir, en hoja de cálculo, las series diarias de volatilidades históricas para el contado y para el futuro sobre el IBEX-35 y, a continuación, valoramos las primas teóricas de las opciones y los parámetros de riesgo (las griegas), tanto para volatilidad fija como móvil, para ambos subyacentes y para cada día. Considerando que dichos cálculos diarios comienzan en marzo de 1992 y llegan hasta marzo de 2002, se han realizado un total de 54.276 estimaciones para las primas teóricas y los parámetros *delta*, *gamma*, *vega*, *theta* y *rho* con el siguiente desglose:

- 2.444 primas teóricas con el IBEX-35 al contado y volatilidad fija.
- 2.444 primas teóricas con el IBEX-35 al contado y volatilidad móvil.
- 2.079 primas teóricas con el futuro del IBEX-35 y volatilidad fija.
- 2.079 primas teóricas con el futuro del IBEX-35 y volatilidad móvil.
- 2.444 estimaciones para cada uno de los cinco parámetros de riesgo[20] con el IBEX-35 al contado y para cada uno de los dos tipos de volatilidad.
- 2.079 estimaciones para cada uno de los cinco parámetros de riesgo con el futuro del IBEX-35 y para cada uno de los dos tipos de volatilidad

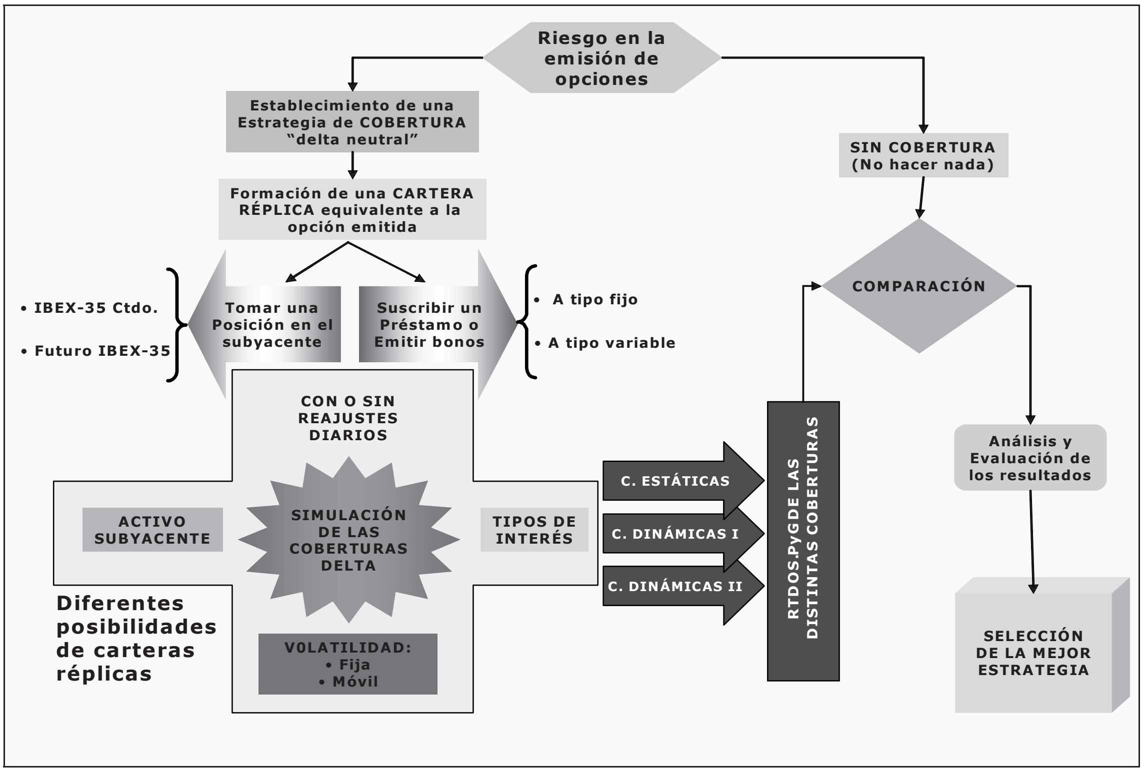
[20] *Delta*, *gamma*, *vega*, *theta* y *rho.*

8. Construcción de carteras réplicas y selección de la mejor estrategia de cobertura

8.1 Construcción de carteras réplica

Una vez calculadas las primas teóricas y las letras griegas, el siguiente paso consiste, en **formar las carteras réplicas equivalentes a la opción emitida**. Un emisor de opciones de compra puede cubrirse del riesgo de que la misma sea ejercida tomando, desde el momento de su emisión, posiciones en el activo subyacente, según la proporción indicada por la *delta* de la opción o ratio de cobertura. Aunque, la formación de carteras réplicas es muy útil como estrategia de cobertura *delta neutral*[21] también puede utilizarse con fines de arbitraje. El gráfico 2 ilustra el proceso que hemos seguido para seleccionar la estrategia más adecuada para cubrir el riesgo en la emisión de opciones a corto plazo sobre el índice bursátil IBEX-35.

Gráfico 2.
Formación de carteras réplicas y estrategias de cobertura



En un primer momento, un emisor de opciones puede decidir no hacer nada, esto es no realizar ningún tipo de cobertura y, por tanto, quedar «a merced» del

[21] Como ya hemos explicado, con estrategias de cobertura del tipo *delta neutral* se elimina el riesgo de variación de los precios del activo subyacente.

mercado (es decir, de cómo evolucionen los precios) o cubrirse, estableciendo una estrategia de cobertura *delta neutral*. Para ello, lo primero que debe hacer es formar una cartera réplica equivalente a la opción emitida, lo que implica realizar dos operaciones simultáneas:

1. **Tomar una posición en el activo subyacente** según la proporción indicada por el ratio *delta*. En nuestro estudio hemos considerado dos posibilidades:

   - Compra del IBEX-35 al contado mediante una cartera índice idéntica al mismo.
   - Compra de contratos de futuros sobre el IBEX-35.

2. **Suscribir un préstamo** por una cantidad igual al coste de compra de las acciones (cartera índice), o de los contratos de futuros, menos la prima cobrada por la opción emitida. Aquí, hemos considerado la posibilidad de que el préstamo pueda ser a tipo de interés fijo o a tipo variable.

A parte de las diferentes posibilidades de formación de carteras réplicas que supone el contemplar distintos subyacentes y tipos de interés, hemos de añadir el tipo de volatilidad que consideremos, fija o móvil, y si realizamos o no reajustes diarios según vaya variando el ratio *delta*, lo que implica, compras/ventas diarias del activo subyacente y un mayor endeudamiento o devolución de parte del préstamo, según corresponda. Por todo ello, y en aras a establecer un orden en la investigación, primero hemos seleccionado el subyacente. Después, el tipo de volatilidad. A continuación, la posibilidad o no de realizar reajustes diarios en la cartera. Y, por último, el tipo de interés fijo o variable, obviamente, sólo para las coberturas dinámicas. Las diferentes posibilidades de carteras réplicas con las que hemos trabajado, y se han simulado sus resultados, son las siguientes:

- <u>Con el IBEX-35 como subyacente</u>:
  - Con volatilidad fija:
    - *Cartera réplica con cobertura estática*: sin reajustes, también denominada *hedge and forget* (cubrir y olvidarse).
    - *Cartera réplica con cobertura dinámica I*: con reajustes diarios y tipo de interés fijo.
    - *Cartera réplica con cobertura dinámica II*: con reajustes diarios y tipo de interés variable.
  - Con volatilidad móvil:
    - *Cartera réplica con cobertura estática* (sus resultados serán, lógicamente, los mismos que en su homónima para volatilidad fija).
    - *Cartera réplica con cobertura dinámica I*.
    - *Cartera réplica con cobertura dinámica II*.

- <u>Con el futuro del IBEX-35 como subyacente</u>:

Los mismos casos anteriores para los tres tipos de cobertura (estática y dinámica I y II) y para los dos tipos de volatilidades (fija y móvil).

A modo de ejemplo, el cuadro 1 muestra una parte de la hoja de cálculo que hemos construido para simular los resultados de las operaciones de las carteras réplicas con cobertura dinámica, con reajustes diarios, para el caso de utilizar la cartera índice IBEX-35 y mantener fijos, tanto la volatilidad como el tipo de interés, durante el período de vida de la opción que corresponda.

Los gráficos 3 y 4 representan la constitución de las carteras réplicas de las opciones de 1992, que se produce en el primer día de negociación del período de tres meses en el primer año en que comienza el estudio; y, su evolución con los reajustes diarios en la composición de la cartera.

Cuadro 1.
Cartera réplica con cobertura dinámica (reajustes diarios y tipo de interés fijo)

Fecha	Compra acciones (1)	Acciones	Préstamo (2)	Coste acumulado préstamo (3)	Intereses	Situación balance
22-jun-92	2.109,82	2.109,82	1.975,03	1.975,03	0,68	0,00
23-jun-92	-127,90	1.962,95	0,00	1.847,82	0,64	-0,37
24-jun-92	-279,66	1.649,75	0,00	1.568,80	0,54	-2,48
25-jun-92	105,10	1.765,36	105,10	1.674,45	0,58	-2,56
26-jun-92	109,61	1.887,15	109,61	1.784,64	0,62	-2,66
29-jun-92	-307,47	1.547,04	0,00	1.477,79	0,51	-3,40
30-jun-92	-82,08	1.458,50	0,00	1.396,21	0,48	-3,28
1-jul-92	-244,17	1.195,86	0,00	1.152,53	0,40	-4,59
2-jul-92	6,10	1.202,76	6,10	1.159,04	0,40	-4,30
3-jul-92	244,12	1.462,67	244,12	1.403,56	0,49	-5,52
6-jul-92	-229,47	1.217,33	0,00	1.174,57	0,41	-4,88
7-jul-92	-17,35	1.199,32	0,00	1.157,64	0,40	-4,58
8-jul-92	-238,32	946,61	0,00	919,71	0,32	-5,75
9-jul-92	195,25	1.151,85	195,25	1.115,28	0,39	-6,40
10-jul-92	-45,94	1.103,68	0,00	1.069,72	0,37	-6,12
13-jul-92	-5,61	1.099,09	0,00	1.064,48	0,37	-4,37
14-jul-92	-122,26	970,51	0,00	942,59	0,33	-4,45
15-jul-92	-345,36	607,05	0,00	597,56	0,21	-7,57
16-jul-92	-194,05	405,15	0,00	403,71	0,14	-8,70
17-jul-92	-252,58	141,58	0,00	151,28	0,05	-12,55
20-jul-92	-110,40	26,95	0,00	40,93	0,01	-14,41
21-jul-92	29,53	56,88	29,53	70,48	0,02	-14,57
22-jul-92	-40,93	14,69	0,00	29,58	0,01	-15,10
23-jul-92	-6,94	7,61	0,00	22,64	0,01	-15,13
24-jul-92	-1,95	5,64	0,00	20,70	0,01	-15,13
27-jul-92	-3,45	2,15	0,00	17,26	0,01	-15,14
28-jul-92	-0,53	1,62	0,00	16,74	0,01	-15,14
29-jul-92	7,79	9,44	7,79	24,53	0,01	-15,21
30-jul-92	-2,77	6,64	0,00	21,77	0,01	-15,21
31-jul-92	4,02	10,71	4,02	25,80	0,01	-15,22
3-ago-92	-3,05	7,66	0,00	22,76	0,01	-15,19
4-ago-92	5,59	13,32	5,59	28,35	0,01	-15,20
5-ago-92	-1,73	11,58	0,00	26,63	0,01	-15,19
6-ago-92	-2,60	8,96	0,00	24,04	0,01	-15,19

(1) $\Delta \times S$
(2) $B = \Delta S - C$
(3) Incluye los intereses.

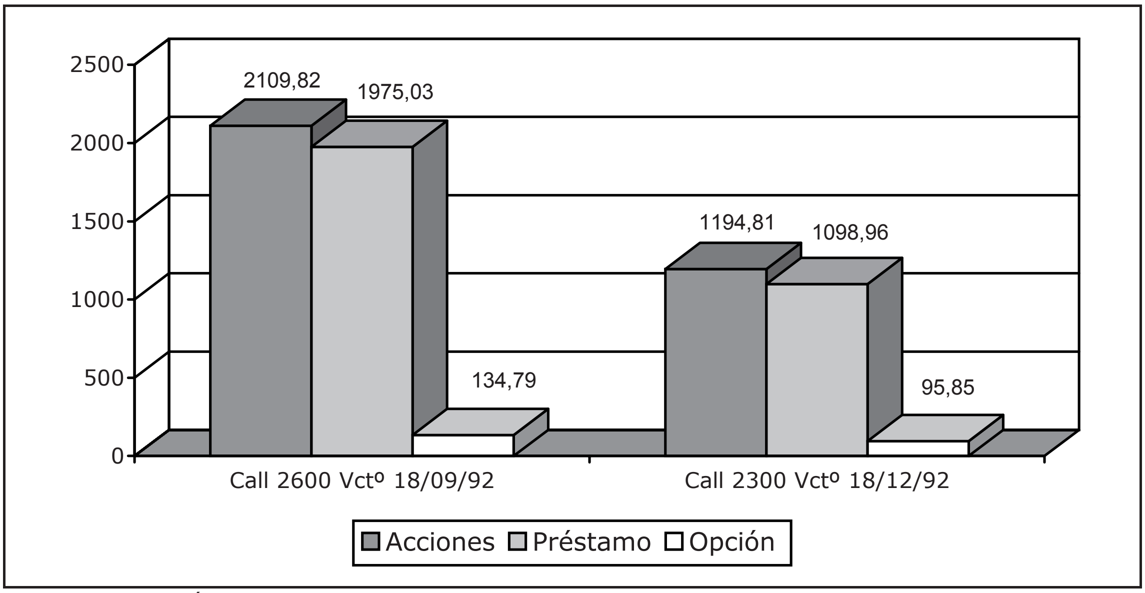
En **total**, se ha realizado, en este apartado, 29.796 simulaciones, con el siguiente desglose:

- 9.932 para las carteras réplicas con coberturas estáticas, considerando los dos tipos de subyacentes (contado y futuro) y los dos tipos de volatilidades (fija y móvil), así como, tanto para liquidaciones de las posiciones al vencimiento como para liquidaciones diarias.

- Otras 9.932 para las carteras réplicas con coberturas dinámicas y tipo de interés fijo, considerando los mismos casos.

- Y, otras 9.932 para las carteras réplicas con coberturas dinámicas y tipo de interés variable, considerando también los mismos casos.

Gráfico 3.
Carteras réplicas con cobertura dinámica (IBEX-35 y Vol. Fija).



Fuente: elaboración propia.

Finalmente, se han simulado los resultados de pérdidas y ganancias (situación en balance) de las distintas estrategias de coberturas *delta neutral* y las de no realizar cobertura alguna, para todas las opciones, durante un horizonte de diez años, desde la «*call* 2600 Vctº 18/09/92» hasta la «*call* 8450 Vctº 15/03/02»[22].

8.2 Selección de la mejor estrategia

Para analizar los resultados obtenidos con las diferentes estrategias, desde el punto de vista del emisor, hemos acudido a la utilización de diversos parámetros estadísticos básicos como la media, la mediana, varianza y desviación típica, que no requieren mayor explicación. Sin embargo, también hemos empleado otros criterios de decisión *ad hoc*, que pasamos a comentar brevemente:

- *Inversa del coeficiente de variación (CV')*: nos representa las pérdidas y ganancias esperadas por unidad de riesgo. Si las pérdidas y ganancias esperadas vienen recogidas por la media de los resultados, y el riesgo por la desviación típica, nos interesará un valor del cociente que sea positivo y lo más grande posible. Matemáticamente, lo hemos calculado como:

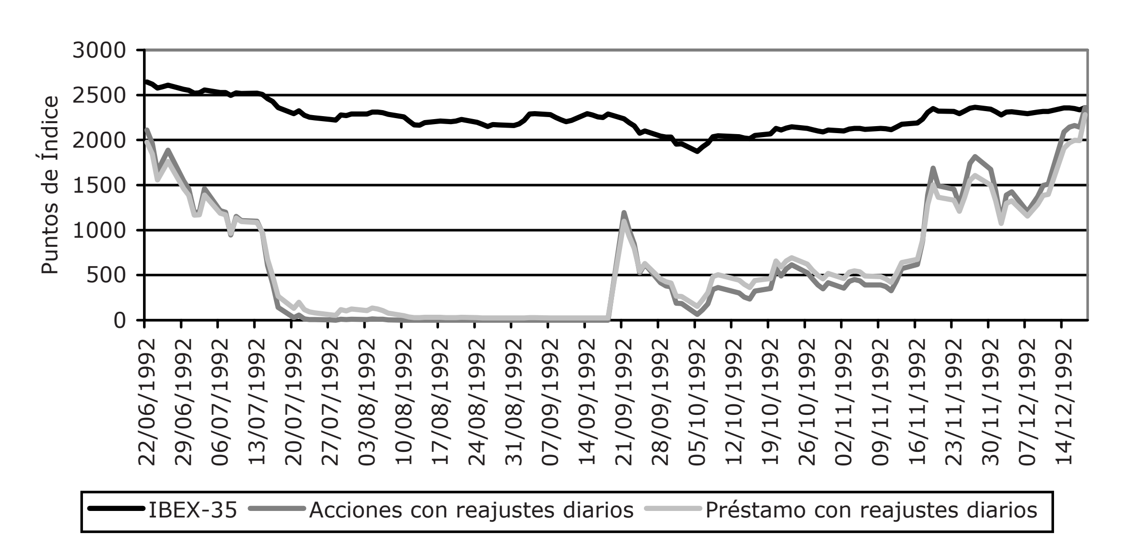
$$CV' = \frac{E(PyG)}{\sigma(PyG)} \quad [4]$$

donde:

E(P y G) = Esperanza de la función de probabilidad de pérdidas y ganancias.
σ(P y G) = Desviación típica de la función de probabilidad de pérdidas y ganancias.

[22] Cuyos cuadros no reproducimos aquí por no extendernos de los límites del trabajo.

Gráfico 4.
Evolución de las carteras réplicas de las opciones de 1992: cartera réplica con volatilidad fija (estrategia de cobertura dinámica).



Fuente: Elaboración propia.

1. *Valor en riesgo (VaR)*: en nuestro caso, hemos elegido un nivel de confianza del 90% o, lo que es lo mismo, una probabilidad de pérdidas del 10%. Esto significa que la probabilidad de que haya una pérdida superior al *VaR* es de un 10%, o bien, que la confianza en una ganancia o en una pérdida inferior al *VaR* será de un 90%. Para ello, calcularemos el valor de las pérdidas y ganancias, en cada una de las estrategias, correspondiente al percentil 10.

2. *Probabilidad de pérdidas*: para cada una de las estrategias, calcularemos el número de veces que la situación en balance ha cerrado con pérdidas sobre el total de resultados de pérdidas y ganancias.

3. *Transformada del coeficiente de variación (CV")*: que nos indicaría la probabilidad de ganancia por unidad de *VaR*. Matemáticamente, vendría definida por el siguiente ratio:

$$CV" = \frac{P(PyG > 0)}{VaR} = \frac{[1 - P(PyG < 0)]}{VaR} \quad [5]$$

siendo:

P(P y G >0) = Probabilidad de obtener resultados positivos (ganancias).

En primer lugar, interesará que el numerador sea lo más grande posible, y como el denominador tomará normalmente un valor negativo[23], interesará un resultado del cociente, en valor absoluto, lo más grande posible. En segundo lugar, se expresará dicho coeficiente en porcentaje, es decir, por cada cien unidades del *VaR*.

Todos los parámetros estadísticos y los criterios explicitados anteriormente, los aplicaremos para analizar y evaluar los resultados simulados con las distintas estrategias ante dos posibles escenarios:

---

[23]El coeficiente no se aplicará para valores positivos del *VaR*, en el caso excepcional de que esto ocurra.

1. Si se mantiene abierta la posición durante todo el período de vigencia de cada opción (tres meses) y sólo se liquida la posición al vencimiento. Esto supone mantener la opción emitida con su correspondiente cartera réplica hasta la expiración y, en ese momento, liquidar la cartera de opciones, acciones y préstamo.

2. Si se liquida la posición diariamente durante todo el período. Esto supone que iríamos asumiendo las pérdidas y ganancias que se produjeran cada día hasta el vencimiento de cada una de las opciones.

Existiría una situación intermedia, que sería mantener la posición (aunque estuvieran disminuyendo las ganancias o se produjeran pérdidas, en espera de una mejora de la situación en balance), y no cerrarla hasta que algún indicador nos dé la voz de alerta de que el riesgo es grande y nos aconseje hacerlo sin esperar al vencimiento. Este es, precisamente, el objetivo número uno de nuestra investigación, el cual será tratado en epígrafes posteriores.

El cuadro 2 muestra los valores que toman los parámetros y criterios anteriores, ante los dos escenarios comentados, para el caso de considerar el IBEX-35 al contado como activo subyacente y la volatilidad fija[24].

Cuadro 2.
Determinación del valor en riesgo (VAR) y de la probabilidad de pérdidas según las diferentes estrategias (punto de vista del emisor)

Resultados de P y G	Parámetros	Sin cobertura (*)	C. Estática (*)	C. dinámica I (*)	C. dinámica II (*)
Si se liquida la posición al vencimiento	Nº de Resultados	39	39	39	39
	Media	-105,99	-52,38	21,21	22,12
	Mediana	62,64	-3,22	13,42	14,95
	Varianza	397.084,72	115.981,10	10.539,10	10.597,09
	Desviación Típica	630,15	340,56	102,66	102,94
	CV = Rdto/Desv. Tip	-0,17	-0,15	0,21	0,21
	VAR al 90% (percentil 10)	-998,20	-525,92	-102,65	-102,19
	Prob. Pérdidas (P y G<0)	41,03%	51,28%	41,03%	38,46%
	CV = [1- P(P y G<0)]/VAR	-0,06%	-0,09%	-0,57%	-0,60%
Si se liquida la posición en cualquier período	Nº de Resultados	2444	2444	2444	2444
	Media	-1,69	-12,32	5,04	5,34
	Mediana	0,00	2,87	3,39	3,43
	Varianza	4.052,68	24.673,16	3.215,90	3.233,10
	Desviación Típica	63,66	157,08	56,71	56,86
	CV = Rdto/Desv. Tip	-0,03	-0,08	0,09	0,09
	VAR al 90% (percentil 10)	-64,53	-189,34	-51,86	-51,69
	Prob. Pérdidas (P y G<0)	47,67%	44,15%	40,26%	40,14%
	CV = [1- P(P y G<0)]/VAR	-0,81%	-0,29%	-1,15%	-1,16%

(*) Con volatilidad fija a tres meses.

En base a la comparación, según los diferentes parámetros y criterios utilizados para evaluar los resultados simulados de pérdidas y ganancias de las distintas estrategias de coberturas *delta neutral*, frente a la de no realizar cobertura alguna, podemos apuntar que:

1. El contado funciona mejor como subyacente que el futuro elegido. Es decir, la cartera de acciones del índice IBEX-35 proporciona mejores resultados a la hora de replicar la opción que el futuro a tres meses sobre dicho índice.

[24] Existen otros tres cuadros más (para el caso de considerar el IBEX-35 al contado y volatilidad móvil y para el caso de considerar el futuro del IBEX-35 como subyacente, y tanto para volatilidad fija como móvil) que no se reproducen aquí por motivo de extensión.

2. Las coberturas dinámicas con reajustes diarios son las que mejor funcionan en la práctica. Dentro de ellas, los mejores resultados se obtienen en las que consideran la volatilidad móvil y el tipo de interés variable. No obstante, las diferencias con las que mantienen fijo el tipo de interés son mínimas.

Cuadro 3.
Cobertura dinámica II con volatilidad móvil y liquidaciones al vencimiento

Período: 22/06/1992 a 15/03/2002	**P y G totales**	**Ganancias**	**Pérdidas**
Media	19,54271	69,10588	-68,96296
Mediana	19,30486	32,14042	-29,36261
Máximo	334,7354	334,7354	-3,005318
Mínimo	-183,3191	0,066021	-183,3191
Desv. Típica	103,4876	83,85333	71,86325
Apuntamiento	0,572595	1,876986	-0,607256
Curtosis	4,670763	5,722764	1,569770
Jarque-Bera	6,667226	22,40182	2,053682
Probabilidad	0,035664	0,000014	0,358137
Sum.	762,1656	1727,647	-965,4814
Sum. Sq. Dev.	406967,6	168753,1	67136,25
Observaciones (trim.)	39	25	14

Cuadro 4.
Cobertura dinámica II con volatilidad móvil y liquidaciones diarias

Período: 22/06/1992 a 15/03/2002	**P y G totales**	**Ganancias**	**Pérdidas**
Media	6,118931	44,05859	-51,04349
Mediana	4,964970	24,02607	-24,73637
Máximo	335,5958	335,5958	-0,016461
Mínimo	-219,4547	0,000000	-219,4547
Desv. Típica	75,33068	59,36257	58,99443
Apuntamiento	0,418886	2,574039	-1,292856
Curtosis	6,717119	10,23203	3,243593
Jarque-Bera	1478,502	4823,519	274,0255
Probabilidad	0,000000	0,000000	0,000000
Sum.	14954,67	64722,07	-49767,40
Sum. Sq. Dev.	13863319	5173107	3389854
Observaciones (días)	2444	1469	975

Por todo ello, estamos ya en condiciones de afirmar, que la mejor estrategia de cobertura con cartera réplica, para la emisión de opciones *call* sobre índices a corto plazo (tres meses) en el mercado español, la proporciona la *cobertura dinámica II con volatilidad móvil, cubriéndose con el índice IBEX-35 al contado*. En particular, para dicha estrategia, hemos considerado interesante mostrar separadamente los estadísticos de las ganancias, por un lado, y los de las pérdidas, por otro; y tanto para liquidaciones al vencimiento (cuadro 3) como diarias (cuadro 4).

Anteriormente, nos pronunciábamos en favor de las coberturas dinámicas, en particular con volatilidad móvil y tipo de interés variable, como la mejor estrategia de cobertura con cartera réplica para la emisión de opciones *call* sobre índices en el mercado español (IBEX-35). También, comentábamos que el índice al contado funcionaba mejor como subyacente, a la hora de replicar la opción, que el futuro sobre el mismo. Aunque los datos no dejaban lugar a dudas: con el índice al contado como subyacente, la probabilidad de pérdidas era del 35,90% frente a un 46,15% con el futuro (y para el caso de no hacer cobertura o de que ésta fuera estática), era necesario encontrar una explicación. Y, las razones que consideramos más plausibles para ello, son las siguientes:

1. La primera razón se centra en el futuro elegido. Como es sabido, el futuro más líquido, el más negociado y el más arbitrado, es el del vencimiento más próximo, es decir, el mensual (a un mes). Sin embargo, nosotros hemos elegido el del primer vencimiento de la serie trimestral anual (a tres meses)[25] ya que el «tiempo» que se mantiene la cartera réplica es de tres meses, igual al plazo de la opción emitida y, claro está, elegir el mensual supondría tener que realizar dos *roll overs*[26] dentro de dicho período. No obstante, no estamos muy convencidos de que con ello se logren mejorar sustancialmente los resultados de la cobertura con el futuro[27].

2. La segunda razón tiene, para nosotros, mayor peso que la anterior. Como ya hemos tenido ocasión de comprobar, el futuro es más volátil que el índice al contado, casi cuatro puntos porcentuales de media por encima, y hemos de recordar que la estrategia de cobertura *delta neutral* sólo nos protege de las fluctuaciones en el precio del subyacente, pero no de las variaciones de la volatilidad (efecto *vega*) o de la «curvatura» de la opción (efecto *gamma*). Estrategias que denominábamos *gamma neutral* y *vega neutral*. Por tanto, si el futuro es más volátil, el efecto *vega* será mayor y los resultados basados sólo en una cobertura *delta neutral* serán peores.

En los siguientes epígrafes profundizaremos un poco más en el análisis de la estrategia seleccionada. Para ello, en primer lugar, compararemos las primas teóricas con las de mercado, tanto para la volatilidad fija como móvil, lo que nos servirá para comprobar la fiabilidad de la estimación que las primeras realizan sobre las segundas, además de ver si ha habido oportunidades de arbitraje que hayan servido para equilibrar los precios en el mercado español de opciones.

En segundo lugar, compararemos también la medida utilizada para estimar la volatilidad (la volatilidad histórica a tres meses, fija y móvil) con la volatilidad de mercado, lo que nos será de utilidad para ver la volatilidad aplicable en la emisión de opciones y cuál de las dos, fija o móvil, es la más adecuada.

Finalmente, realizaremos un análisis de filtros para *delta* y *gamma*, y con ayuda de funciones matemáticas primarias y transformadas, propondremos un modelo para la gestión del riesgo que dé la voz de alerta, al emisor de opciones, cuando el riesgo sea grande y le sirva de ayuda en la toma de decisiones. Además, realizaremos un contraste del mismo probando con las opciones negociadas entre marzo de 2002 y septiembre de 2003.

---

[25] Las razones para ello ya fueron señaladas con anterioridad.

[26] Prorrogar el contrato de futuros por un mes más y, a su vencimiento, prorrogarlo por otro mes más.

[27] Uno de los desarrollos futuros de la presente investigación es precisamente analizar qué ocurriría en la cobertura con futuros si se empleara el futuro a un mes y se hicieran dos *roll overs* hasta el vencimiento. En este caso, hay que considerar los costes de renovar la cobertura dos veces más y la necesidad de estimar el precio teórico del futuro (no ya su precio de mercado) a un mes, dentro de uno y dos meses.

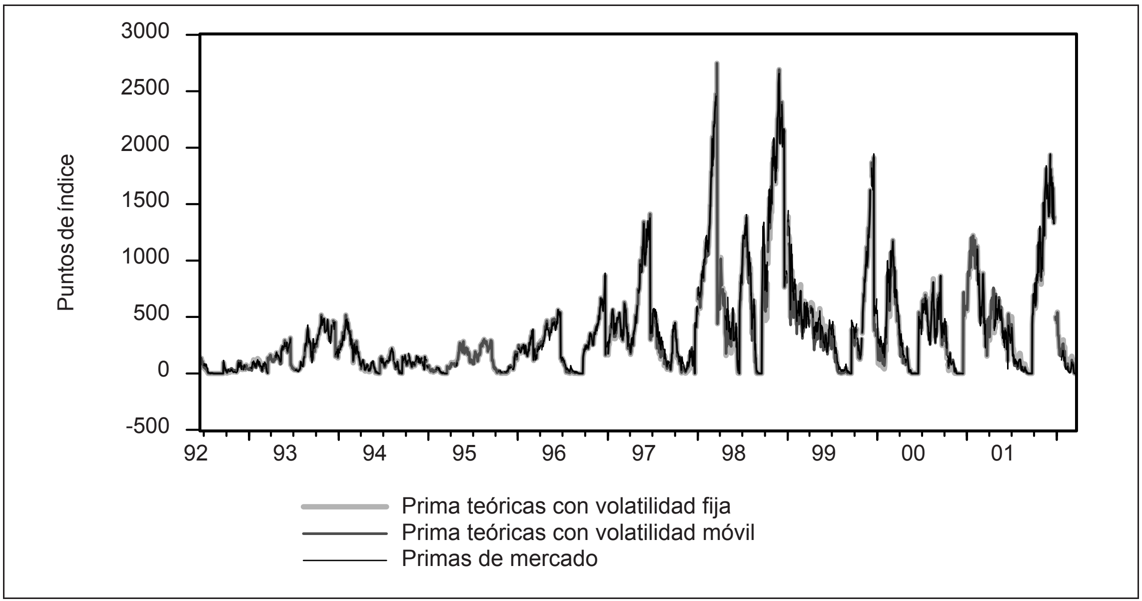
9. Oportunidades de arbitraje: comparación entre las primas teóricas y las primas de mercado

El gráfico 5 representa gráficamente una comparación entre las primas teóricas, calculadas según el modelo de Black-Scholes, utilizando como subyacente el índice IBEX-35 al contado, y las primas de mercado extraídas de las bases de datos suministradas por MEFF.

En las fuentes de datos, explicábamos que habíamos elegido como precio de mercado el de demanda[28] y, en el caso de que éste no existiera para un determinado vencimiento, lo hemos reemplazado por el precio de liquidación. Esto ha ocurrido en los vencimientos de marzo de 2000, 2001 y 2002, y en los de junio de 2000 y 2001.

Como podemos apreciar en el gráfico 5, prácticamente, las tres series se superponen, lo cual viene a indicarnos que la estimación que las primas teóricas realizan de las primas de mercado, con la metodología y datos empleados, es muy buena. El ajuste entre las series se aprecia con más nitidez en el cuadro 5, donde se recogen los estadísticos descriptivos de las series.

Gráfico 5.
Comparación de primas teóricas y de mercado



[28] Recordemos que al precio de demanda estarían dispuestos a comprar los compradores de opciones, y los emisores siempre encontrarían contrapartida a dicho precio.

La relación lineal entre las series de las primas teóricas y de mercado (matriz de correlaciones), se recoge en el cuadro 6.

Cuadro 5.
Primas teóricas y de mercado

Período: 22/06/1992 a 15/03/2002	Primas teóricas Vol. fija	Primas teóricas Vol. móvil	Primas de mercado
Media	363,3244	360,9322	386,5179
Mediana	224,8353	224,7206	245,0000
Máximo	2747,160	2747,160	2757,000
Mínimo	0,000000	0,000000	0,000000
Desv. Típica	435,3987	436,2665	454,7705
Apuntamiento	2,174494	2,207016	2,076444
Curtosis	8,488152	8,591532	7,751536
Jarque-Bera	4993,245	5167,931	3502,815
Probabilidad	0,000000	0,000000	0,000000
Sum.	887964,8	882118,3	815939,3
Sum. Sq. Dev.	4,63E+08	4,65E+08	4,36E+08
Observaciones	2444	2444	2111

Cuadro 6.
Matriz de correlaciones entre primas teóricas y primas de mercado

	Primas teóricas Vol. fija	Primas teóricas Vol. móvil	Primas de mercado
Primas T^{cas} Vol. Fija	1,000000	0,997999	0,994497
Primas T^{cas} Vol. Móvil	0,997999	1,000000	0,995610
Primas de Mercado	0,994497	0,995610	1,000000

Como podemos apreciar, la correlación entre las primas teóricas es del 99,80%, lo que unido a unos parámetros estadísticos casi idénticos, viene a mostrarnos la igualdad existente entre las primas calculadas con volatilidad fija o móvil. Por tanto, da igual utilizar una u otra en el cálculo de la prima teórica. Por otro lado, la correlación de ambas con las primas de mercado es altísima, más de un 99%, lo que indica y ratifica, el enorme grado de acierto de la fórmula de Black-Scholes en la estimación de la prima. De entre las dos, la que más se acerca al 100% es la prima teórica con volatilidad móvil con un 99,56%

No obstante lo anterior, existen pequeñas diferencias entre las primas teóricas, a partir de las cuales se construyen las carteras réplica, y las primas de mercado, que pudieran ser muy bien aprovechadas por los arbitrajistas. Veamos esto con más detenimiento.

Los cuadros 7 y 8 recogen una muestra parcial de las hojas de cálculo que hemos construido para analizar y cuantificar las posibilidades de arbitraje para la cobertura dinámica II con volatilidad fija y móvil respectivamente. Para ello, hemos realizado lo siguiente:

1. En primer lugar hemos calculado la diferencia entre las primas de mercado y las primas teóricas. Primero para la volatilidad fija y después para la móvil. Damos por factible que un emisor siempre puede vender la opción al precio de mercado (precio de demanda) y, simultáneamente, replicar la misma al precio marcado por la prima teórica.

2. En segundo lugar, hemos tenido en cuenta los posibles costes de transacción (horquillas, comisiones, etc.). Para éstos, hemos considerado

dos posibilidades, y se han estimado en un 1% y en un 2% de la compraventa de acciones necesarias (expresadas en puntos de índice) para recomponer diariamente la cartera réplica[29]. Los hemos denominado «costes de transacción I» y «costes de transacción II».

3. En tercer lugar, hemos comparado la diferencia de primas con los costes de transacción, y si la primera era mayor que los segundos, *a priori*, es que había posibilidades de obtener algún beneficio derivado del arbitraje. En caso negativo, dicho arbitraje no se realizaría.

Cuadro 7.
Posibilidades de arbitraje para la cobertura dinámica II con volatilidad fija (muestra parcial de la hoja de cálculo)

Fecha	Costes de transacción I (1)	Costes de transacción II (2)	Con costes de transacción I		Con costes de transacción II	
			Bº arbitraje previsto	Bº arbitraje real	Bº arbitraje previsto	Bº arbitraje real
22-jun-92	21,10	42,20				
23-jun-92	1,28	2,56				
24-jun-92	2,80	5,59				
25-jun-92	1,05	2,10				
26-jun-92	1,10	2,19				
29-jun-92	3,07	6,15				
30-jun-92	0,82	1,64				
1-jul-92	2,44	4,88	22,64	27,24	20,20	24,79
2-jul-92	0,06	0,12	24,92	29,21	24,86	29,15
3-jul-92	2,44	4,88	20,92	26,45	18,48	24,01
6-jul-92	2,29	4,59	19,07	23,95	16,78	21,66
7-jul-92	0,17	0,35	23,56	28,14	23,39	27,97
8-jul-92	2,38	4,77	29,98	35,73	27,59	33,34
9-jul-92	1,95	3,90	40,08	46,48	38,12	44,53
10-jul-92	0,46	0,92	39,46	45,59	39,00	45,13
13-jul-92	0,06	0,11	40,97	45,34	40,91	45,28
14-jul-92	1,22	2,45	31,41	35,86	30,19	34,64
15-jul-92	3,45	6,91	27,49	35,06	24,03	31,61
16-jul-92	1,94	3,88	32,92	41,63	30,98	39,69
17-jul-92	2,53	5,05	7,62	20,17	5,09	17,65
20-jul-92	1,10	2,21	6,47	20,89	5,37	19,78
21-jul-92	0,30	0,59	11,73	26,31	11,44	26,01
22-jul-92	0,41	0,82	4,38	19,49	3,97	19,08
23-jul-92	0,07	0,14	4,83	19,97	4,76	19,90
24-jul-92	0,02	0,04	4,91	20,05	4,89	20,03
27-jul-92	0,03	0,07	2,94	18,09	2,91	18,06
28-jul-92	0,01	0,01	2,98	18,13	2,97	18,12
29-jul-92	0,08	0,16	3,80	19,02	3,72	18,94
30-jul-92	0,03	0,06	1,89	17,11	1,86	17,09
31-jul-92	0,04	0,08	1,82	17,06	1,78	17,02
3-ago-92	0,03	0,06	3,88	19,08	3,84	19,05
4-ago-92	0,06	0,11	3,77	18,99	3,72	18,93
5-ago-92	0,02	0,03	2,84	18,04	2,82	18,03
6-ago-92	0,03	0,05	2,87	18,07	2,84	18,04
7-ago-92	0,05	0,10	0,91	16,13	0,86	16,08
10-ago-92	0,03	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00

(1) 1% s/compraventa de acciones (puntos)
(2) 2% s/compraventa de acciones (puntos)

4. En cuarto lugar, si se decidiese realizar el arbitraje en el punto anterior, se pueden cuantificar los beneficios previstos con el mismo detrayendo

[29] Véase, Fernández, P. (1996).

de la diferencia de primas los costes de transacción. En caso contrario, sin arbitraje, los beneficios previstos, obviamente, son nulos.

5. Finalmente, como ya sabemos que la cartera réplica no es perfecta al 100%, podremos calcular los beneficios reales obtenidos con el arbitraje para cada uno de los costes de transacción. Dichos beneficios reales se han calculado como la diferencia entre la prima de mercado, por una parte, y el coste de formar la cartera réplica (acciones menos préstamo) más los costes de transacción, por otra.

Todo este proceso lo hemos repetido para la cobertura dinámica II con volatilidad móvil considerando las dos posibilidades de costes de transacción (del 1% y del 2%).

Cuadro 8.

Posibilidades de arbitraje para la cobertura dinámica II con volatilidad móvil (muestra parcial de la hoja de cálculo)

Fecha	Costes de transacción I (1)	Costes de transacción II (2)	Con costes de transacción I		Con costes de transacción II	
			Bº arbitraje previsto	Bº arbitraje real	Bº arbitraje previsto	Bº arbitraje real
22-jun-92	21,10	42,20				
23-jun-92	1,30	2,59				
24-jun-92	2,91	5,82				
25-jun-92	1,02	2,04				
26-jun-92	1,05	2,10				
29-jun-92	3,03	6,06				
30-jun-92	0,76	1,52				
1-jul-92	2,22	4,44	16,86	27,04	14,64	24,82
2-jul-92	0,04	0,09	19,59	28,81	19,55	28,76
3-jul-92	2,20	4,39	14,66	26,13	12,46	23,94
6-jul-92	2,04	4,08	12,52	23,49	10,48	21,46
7-jul-92	0,16	0,32	17,02	27,45	16,86	27,30
8-jul-92	2,07	4,15	23,16	35,50	21,09	33,42
9-jul-92	1,71	3,42	33,17	45,73	31,47	44,02
10-jul-92	0,40	0,81	32,47	44,70	32,07	44,29
13-jul-92	0,10	0,20	35,49	44,33	35,39	44,23
14-jul-92	1,13	2,25	26,61	35,13	25,48	34,00
15-jul-92	2,99	5,98	22,17	35,28	19,18	32,29
16-jul-92	1,82	3,64	28,28	42,51	26,46	40,69
17-jul-92	2,26	4,51	3,70	23,61	1,45	21,35
20-jul-92	1,35	2,71	3,83	27,19	2,47	25,83
21-jul-92	0,68	1,37	7,30	31,26	6,62	30,58
22-jul-92	0,83	1,67	1,78	27,19	0,95	26,36
23-jul-92	0,25	0,51	3,11	28,66	2,86	28,41
24-jul-92	0,10	0,19	3,55	29,05	3,45	28,96
27-jul-92	0,21	0,43	2,02	27,44	1,80	27,23
28-jul-92	0,05	0,10	2,31	27,70	2,26	27,65
29-jul-92	0,61	1,21	1,07	27,39	0,47	26,79
30-jul-92	0,14	0,28	0,00	0,00	0,00	0,00
31-jul-92	0,22	0,43	0,00	0,00	0,00	0,00
3-ago-92	0,15	0,31	1,84	27,67	1,68	27,52
4-ago-92	0,27	0,54	0,96	26,83	0,69	26,56
5-ago-92	0,12	0,24	0,51	26,07	0,39	25,95
6-ago-92	0,18	0,36	1,00	26,25	0,81	26,06
7-ago-92	0,27	0,53	0,00	0,00	0,00	0,00
10-ago-92	0,28	0,57	0,00	0,00	0,00	0,00

(1) 1% s/compraventa de acciones (puntos)
(2) 2% s/compraventa de acciones (puntos)

Es importante destacar, que el tipo de arbitraje que aquí hemos tenido en cuenta, ha sido sólo en un sentido de la operación. Es decir, se ha hecho arbitraje cuando la prima de mercado se situaba por encima de la teórica incluidos los costes de transacción. Y, se ha hecho un tipo de arbitraje directo, vendiendo la opción a precio de mercado y «comprándola» por medio de su cartera réplica. Sin embargo, también es posible un arbitraje inverso, esto es, comprar la opción a precio de mercado y venderla «vendiendo» su cartera réplica (venta de acciones y realización de un depósito). Ello ocurriría cuando el precio de mercado se situase por debajo de la prima teórica y la diferencia fuese tal que compensase los costes de transacción. Los gráficos 6 y 7 muestran gráficamente una comparación entre las diferencias de las primas de mercado con las primas teóricas con volatilidad fija y móvil y los costes de transacción. En ellas, podemos apreciar los períodos en los que las primeras han ido por encima de los segundos y viceversa. Para la volatilidad fija, hubo un 50,09% de veces en que se pudo realizar un arbitraje directo, por superar las diferencias de primas los costes de transacción I, y un 46,78% para los costes de transacción II. En el caso de volatilidad móvil, el porcentaje fue un poco mayor, un 51,23% para los costes de transacción I y un 47,09% para los costes de transacción II.

Gráfico 6.
Comparación diferencias de primas y costes de transacción

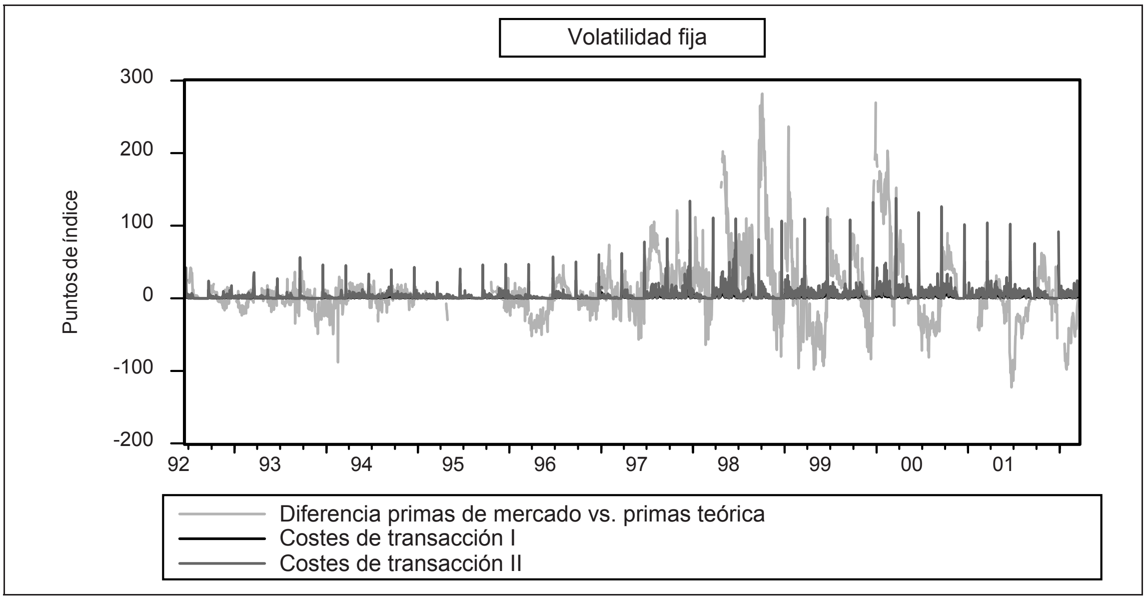
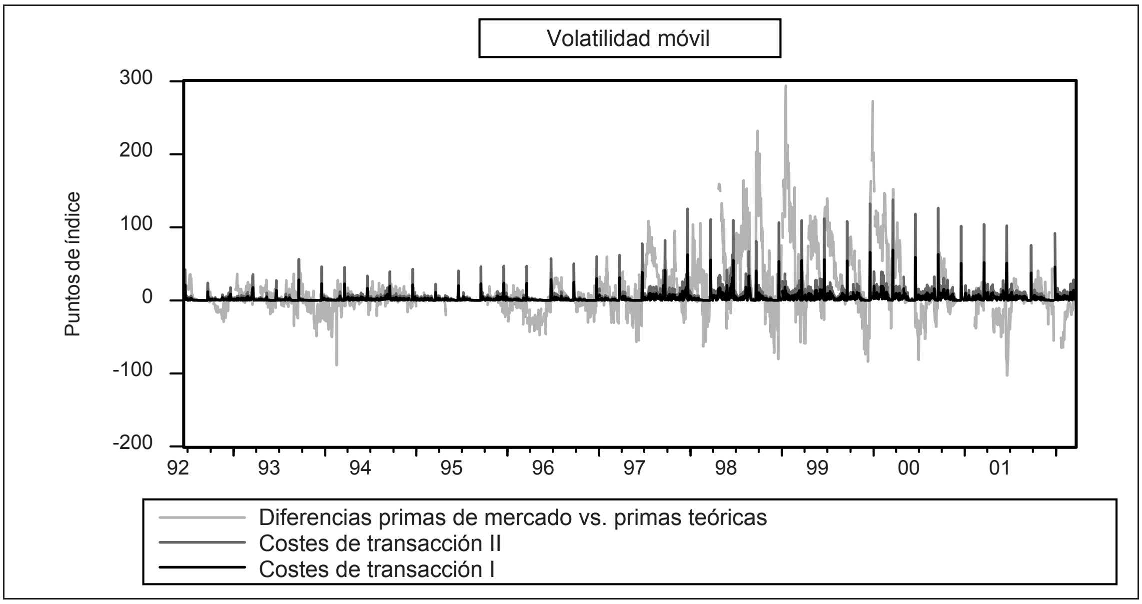


Gráfico 7.
Comparación diferencias de primas y costes de transacción



Los beneficios esperados, derivados del posible arbitraje, si éste se hubiera realizado, en el caso de volatilidad fija, se recogen en el cuadro 9 y, para volatilidad móvil en el cuadro 10.

Como podemos apreciar en dichos cuadros, los beneficios previstos con el arbitraje, en puntos de índice, son muy similares para ambos casos. No ocurre así con los reales. Destaca que, para volatilidad fija, los beneficios previstos sea inferiores a los reales y ocurra lo contrario para la volatilidad móvil. En cualquier caso, lo que ambos cuadros y los gráficos anteriores ponen de manifiesto, es que ha habido importantes oportunidades de arbitraje en el mercado español de opciones, mediante réplicas de las mismas al contado, que no han sido aprovechadas por los operadores y que, de haberse hecho, habrían supuesto jugosos beneficios y habrían ayudado a la nivelación de los precios. Hablábamos de más de un 50% de las veces en que dichas oportunidades eran factibles considerando los costes de transacción.

Cuadro 9.
Beneficios esperados del posible arbitraje: volatilidad fija

Período: 22/06/1992 a 15/03/2002	**Costes de transacción I**		**Costes de transacción II**	
	Beneficios previstos	**Beneficios reales**	**Beneficios previstos**	**Beneficios reales**
Media	17,82444	23.56338	16,34710	22.00163
Mediana	0,099411	0,000000	0,000000	0,000000
Máximo	281,4941	356,9462	281,1001	356,4274
Mínimo	0,000000	-354,9768	0,000000	-362,8134
Desv. Típica	36,72933	60,15896	35,26180	58,20090
Apuntamiento	3,313005	2,302407	3,440966	2,377184
Curtosis	15,91829	11,93828	17,04497	12,75834
Jarque-Bera	19936,87	9562,112	23137,18	11144,67
Probabilidad	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Sum.	40461,48	53488,87	37107,93	49943,71
Sum. Sq. Dev.	3060980	8211738	2821263	7685884
Observaciones	2270	2270	2270	2270

Cuadro 10.
Beneficios esperados del posible arbitraje: volatilidad móvil

Período: 22/06/1992 a 15/03/2002	Costes de transacción I		Costes de transacción II	
	Beneficios previstos	Beneficios reales	Beneficios previstos	Beneficios reales
Media	17,69138	13,59154	16,24696	12,94306
Mediana	0,620008	0,000000	0,000000	0,000000
Máximo	280,7491	347,1324	267,7034	346,6958
Mínimo	0,000000	-319,5471	0,000000	-323,1967
Desv. Típica	34,90420	68,29699	33,53594	65,86500
Apuntamiento	2,925742	0,959119	3,046098	1,028732
Curtosis	13,16814	10,06490	14,08632	10,77426
Jarque-Bera	13017,59	5068,954	15135,35	6116,918
Probabilidad	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Sum.	40159,44	30852,81	36880,61	29380,76
Sum. Sq. Dev.	2764330	10583701	2551852	9843370
Observaciones	2270	2270	2270	2270

Parece evidenciarse, que unos diferenciales importantes entre las primas teóricas y las de mercado (por encima de aquellas) se debería a que los emisores, para «curarse en salud» ante el aumento del riesgo que les supone un incremento en la volatilidad, fijasen unas primas altas, por lo que las opciones serían «caras» desde el punto de vista de los compradores. El proceso de arbitraje descrito hasta ahora, de haberse llevado a cabo, habría contribuido a «abaratar» el coste de dichas opciones.

10. Comparación entre las volatilidades históricas y la volatilidad del mercado

Como habitualmente ocurre, la elección de una u otra medida de la volatilidad dependerá del juicio y opinión personal del investigador[30]. Una regla a seguir será elegir la estimación que demuestre tener mayor capacidad predictiva, esto es, mayor grado de acierto.

Los diferentes tipos de volatilidad se pueden estimar mediante la utilización de diversos métodos. Existirán activos para los cuales las predicciones ARCH serán las mejores, otros las GARCH, otros las AGARCH y otros las históricas a 3 ó 6 meses o 1 ó 2 años. Según Lamothe (2003), por ahora, «*no existen reglas fijas de construcción de los modelos de previsión de la volatilidad futura*», que es la que cualquier operador del mercado desearía conocer. Para ello, se deben tener en cuenta las características propias de cada mercado y subyacente. Una estimación de dicha volatilidad se puede conseguir analizando el pasado de las series de rendimientos del subyacente. Entre los estimadores o técnicas de estimación que emplean datos de precios históricos del subyacente, podemos citar, entre otros (LORENZO ALEGRÍA, 1996), los siguientes: volatilidad histórica muestral, volatilidad histórica muestral corregida, volatilidad histórica con precios máximos y mínimos, el estimador de máxima verosimilitud de Lo, el estimador robusto de Geske y Torous y los modelos tipo ARCH, GARCH y AGARCH.

De todos ellos, para la parte empírica del trabajo, hemos optado por utilizar la volatilidad histórica muestral corregida, propuesta Cox y Rubinstein. Las razones que nos han impulsado a tomar esta decisión son, fundamentalmente, las siguientes:

1. Su amplia utilización en la práctica y su simplicidad de cálculo frente a otras técnicas más sofisticadas. Ello contrasta, especialmente, con la complejidad de estimadores como el de máxima verosimilitud de Lo, el robusto de Geske y Torous y los modelos ARCH, GARCH y AGARCH.

2. Permite corregir, mediante los factores adecuados, las estimaciones sesgadas sobre la media y la desviación típica que proporciona la volatilidad histórica muestral.

3. Para muchos subyacentes, la información de máximos y mínimos es más deficiente que la de precios de cierre (LAMOTHE *et alt.*, 2003).

4. Aunque existen numerosos estudios empíricos sobre activos financieros, que señalan la supremacía de los estimadores que se basan en la

[30] No es nuestro propósito polemizar sobre cuales de las diferentes medidas de la volatilidad es la más adecuada para estimar la volatilidad futura, ni tampoco pasar revista a todos los trabajos existentes sobre ello, por lo que sólo haremos referencia a algunos de los numerosos trabajos que hemos consultado en nuestra investigación. A este respecto, puede consultarse: ARAGÓ, CORREDOR y SANTAMARÍA (2003); CORREDOR, LECHÓN y SANTAMARÍA (2002); CORREDOR y SANTAMARÍA (2004); FIORENTINI, LEÓN y RUBIO (1999) y SANTAMARÍA (2003).

heteroscedasticidad de la volatilidad (ARCH, GARCH y AGARCH) frente a los tradicionales (volatilidad homoscedástica), también, existen un gran número de trabajos[31] que manifiestan lo contrario. Es decir, que las medidas más explicativas no son necesariamente las más sofisticadas (como pueden ser los modelos heteroscedásticos). En este sentido, numerosos operadores de los mercados financieros, como es el caso de JP Morgan y su aplicación informática RiskMetrics®, utilizan modelos de alisado[32] como estimadores de la volatilidad futura. Natenberg (1994), también, propone un modelo de alisado para predecir la volatilidad futura utilizando, para ello, las volatilidades históricas homoscedásticas.

En base a ello, y aunque hay autores que justifican la elección de medidas de volatilidad estocástica porque están más próximas a la realidad de las series de los activos financieros (*clustering*, asimetría y que la volatilidad de los mercados suele ser superior el primer día después de estar cerrado un período de tiempo), hemos optado, dados los objetivos de este trabajo, y por los modelos de valoración de opciones que utilizaremos[33], por medidas de volatilidad histórica como estimación de la volatilidad futura. Además, la propia estimación de la volatilidad nos indicará si hemos acertado o no en predecir la volatilidad futura.

Por tanto, y aunque no descartamos probar con otras medidas de la volatilidad en desarrollos futuros de la investigación, hemos utilizado la volatilidad histórica a tres meses para estimar la volatilidad futura, considerándola de dos formas diferentes: fija, invariable para todos los días del período, y móvil, variándola diariamente en función del último dato de precio disponible. Y, para los propósitos de nuestro trabajo, nos hemos decantado por utilizar la volatilidad histórica muestral corregida, propuesta por Cox y Rubinstein, frente a otros estimadores o técnicas más evolucionadas, como los de volatilidad estocástica, pero de gran complejidad para los operadores del mercado. Ahora es el momento de realizar la «prueba de fuego» que nos permita «salir de dudas» y aclararnos si estábamos en el «buen camino». Es decir, si realmente hemos acertado o no en predecir la volatilidad de mercado.

De las bases de datos suministradas por MEFF, hemos extraído el dato de la volatilidad de mercado y hemos construido la serie de dichas volatilidades. De la descripción de registro del fichero histórico de precios y volatilidades de MEFF, donde se explica el tipo de información que contiene cada registro, se especifica que el dato de la volatilidad corresponde a la volatilidad implícita al cierre para cada día de negociación. La serie de volatilidades de mercado data desde el 12/12/95, fecha en que comienza a ser publicada por MEFF.

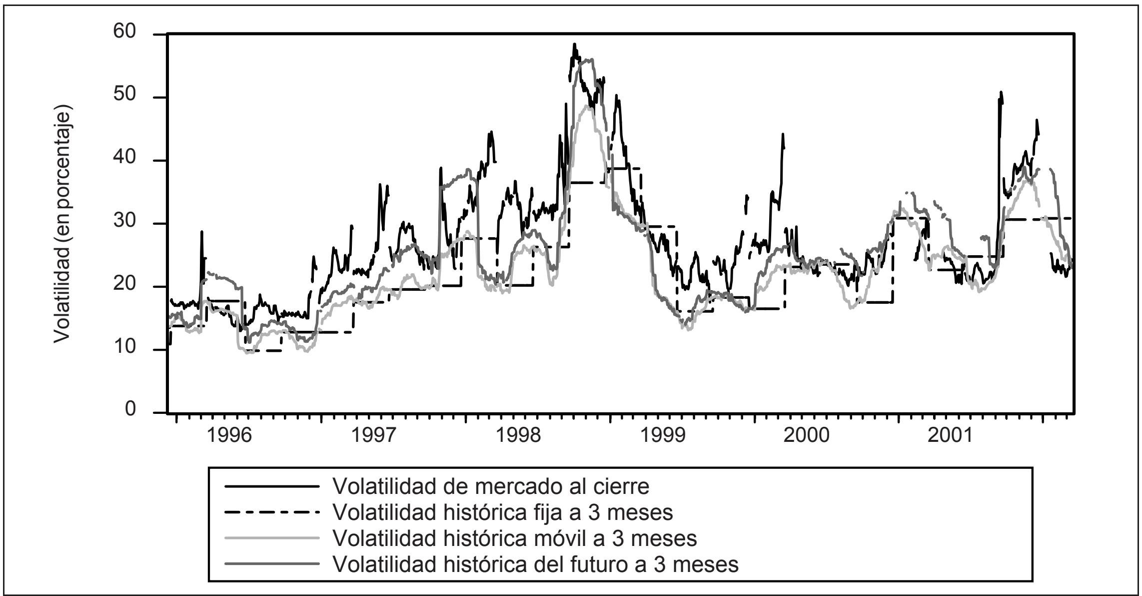
El gráfico 8 nos muestra una comparación de las cuatro volatilidades que hemos considerado: la de mercado, la histórica fija y móvil del índice al contado y la histórica del futuro. En ella, podemos apreciar claramente como la volatilidad histórica fija a tres meses evoluciona escalonadamente, como no podía ser de otra manera, y la histórica móvil sigue el mismo perfil que la mercado, pero, casi siempre, por debajo de ésta y de la del futuro. Para esta última, hay que destacar que, aún siguiendo el perfil de la de mercado, se observa un desplazamiento hacia la derecha.

Para ilustrar un poco más si cabe la relación entre ellas, hemos recogido en los cuadros 11 y 12, los parámetros estadísticos descriptivos de cada una y la matriz de correlaciones.

---

[31] Véase, por ejemplo: DIMSON y MARSH (1990); BRAILSFORD y FAFF (1996) y ROBLES FERNÁNDEZ (1999).
[32] Modelos muy utilizados por los operadores como los de medias móviles y medias móviles exponenciales.
[33] Black-Scholes y Black 76.

Gráfico 8.
Comparación de volatilidades históricas y de mercado.



Cuadro 11.
Parámetros estadísticos descriptivos de las volatilidades

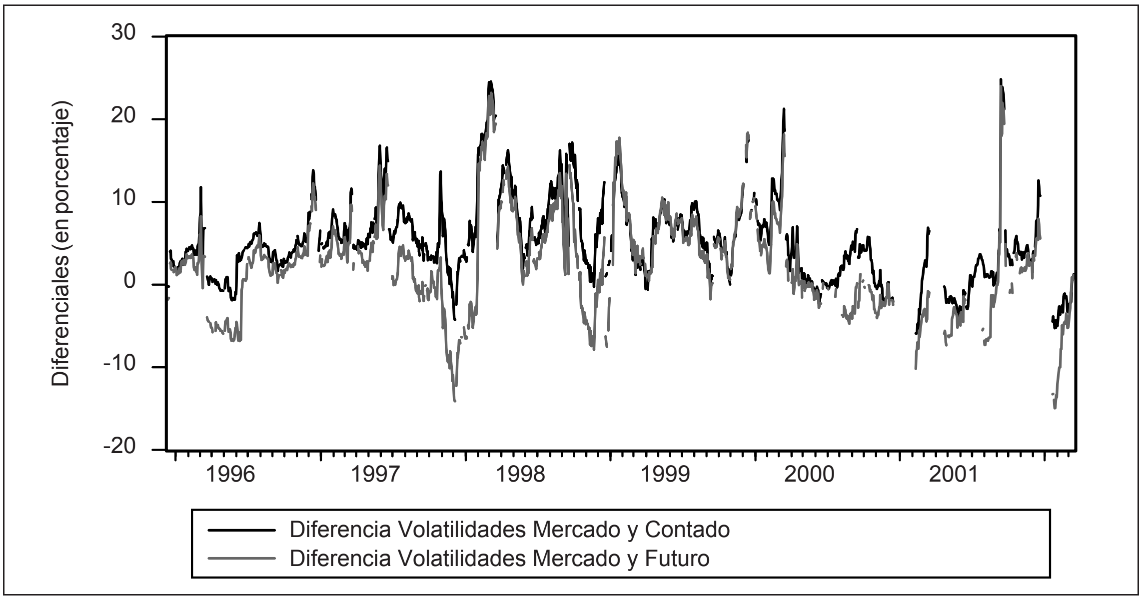
Período: 12/12/1995 a 15/03/2002	Volatilidad de mercado	Volatilidad histórica fija a 3 meses	Volatilidad histórica móvil a 3 meses	Volatilidad histórica del futuro a 3 meses
Media	27,18196	22,21374	22,27234	25,02847
Mediana	24,55000	20,21046	20,76449	23,99359
Máximo	58,50000	38,74064	48,70371	56,10124
Mínimo	13,00000	9,863344	9,463219	11,17802
Desv. Típica	9,187969	7,382641	7,753757	9,128700
Apuntamiento	1,082489	0,455833	1,017027	1,177716
Curtosis	3,937865	2,454736	4,335926	4,806862
Jarque-Bera	339,1063	73,77219	387,1559	516,6510
Probabilidad	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Sum.	39740,02	34853,36	34945,29	35215,06
Sum. Sq. Dev.	123335,8	85461,32	94269,34	117166,4
Observaciones	1462	1569	1569	1407

Es interesante observar que la volatilidad que más se acerca a los valores de mercado, tanto en media, mediana, máximo, mínimo y desviación típica, es la volatilidad histórica del futuro. Sin embargo, la más «parecida», en cuanto a la forma de la distribución, es la volatilidad histórica móvil (apuntamiento y curtosis, más próximos a los valores de la volatilidad de mercado). En cuanto a la matriz de correlaciones, la volatilidad histórica móvil a tres meses del índice al contado, es la que presenta una mayor correlación con respecto a la de mercado, un 83,85%, por encima, incluso, de la del futuro, con un 77,78%, que es el verdadero subyacente de las opciones sobre el IBEX-35. Destacar, además, la elevadísima correlación entre las volatilidades históricas móvil del contado y la del futuro, un 95,58%, como ya habíamos visto en el gráfico 8. Si analizamos los diferenciales entre las volatilidades de mercado y las históricas a tres meses del contado y del futuro, podemos comprobar lo que venimos diciendo (véase el gráfico 9).

Cuadro 12.
Matriz de correlaciones de las volatilidades

	Volatilidad de mercado	Volatilidad histórica fija a 3 meses	Volatilidad histórica móvil a 3 meses	Volatilidad histórica del futuro a 3 meses
Volatilidad de mercado	1,000000	0,727432	0,838549	0,777795
Volatilidad histórica fija a 3 meses	0,727432	1,000000	0,816902	0,755739
Volatilidad histórica móvil a 3 meses	0,838549	0,816902	1,000000	0,955820
Volatilidad histórica del futuro a 3 meses	0,777795	0,755739	0,955820	1,000000

Gráfico 9.
Diferenciales entre las volatilidades históricas y de mercado.



La media de la diferencia entre la volatilidad de mercado y la histórica del índice al contado es de 5,46%, mientras que con la del futuro es del 2,56%. Sin embargo, como se aprecia en el gráfico 9, la amplitud o fluctuación del diferencial de volatilidades es mucho mayor en el caso del futuro que en el del contado. Efectivamente, la diferencia de volatilidades oscila entre un mínimo de -5,93% y un máximo del 24,82%, para la del contado, y entre un -14,94% y un 24,00%, para la del futuro. Es decir, mientras el diferencial máximo es similar, el mínimo puede caer más de nueve puntos porcentuales. Esta razón, junto con la de que con la volatilidad histórica del IBEX-35 al contado se consigue una correlación de la prima teórica con respecto a la prima de mercado de más del 99%[34], además de ser la que presenta una mayor correlación con la volatilidad de mercado; es lo que nos hace considerarla como la más recomendable en su aplicación en la emisión de opciones y en el cálculo de la prima teórica, en base a la cual se establecen las estrategias de cobertura dinámicas mediante la construcción de carteras réplica.

[34] Recordemos que la volatilidad histórica del futuro tenía una menor correlación con la de mercado, exactamente de un 77,78%. Además, no hay que olvidar que prima y volatilidad «van de la mano», y con la volatilidad histórica utilizada, la correlación entre las primas teóricas y de mercado es altísima (más de un 99%) y, probablemente, utilizar otra medida de la volatilidad que «afinara» más a la de mercado, iría en detrimento del ajuste de las primas.

Para finalizar este epígrafe, habría que decir que el nivel de primas del mercado español es alto, como lo demuestra el hecho de que las volatilidades de mercado (las implícitas) están por encima de sus valores históricos tanto al contado como a futuro. Esto hace que, en muchas opciones, las primas de las opciones hayan estado sobrevaloradas en el período estudiado (diez años) y haya habido grandes oportunidades de arbitraje. Por otro lado, como afirma Lamothe (2003), esto no debe extrañarnos, ya que las volatilidades implícitas no suelen ser buenos estimadores de la volatilidad futura (que es la que realmente interesa conocer), pues incorporan primas de riesgo que distorsionan su capacidad de predicción y, por término medio, suelen sobrevalorar a la volatilidad futura.

11. Diseño de un modelo de gestión del riesgo

Con lo analizado hasta aquí, hemos dado respuesta a muchas de las cuestiones y objetivos que nos planteábamos al comienzo de esta investigación y, pensamos que estamos ya en condiciones de atacar uno de los objetivos principales de la misma, cual es, el de diseñar un modelo que recoja el grado de exposición al riesgo para los emisores de opciones y sirva de gestión del mismo, dando la voz de alerta cuando el riesgo sea grande. A ello, dedicaremos el presente epígrafe.

Para comenzar, basándonos en la información contenida en epígrafes anteriores (simulaciones de primas teóricas, parámetros de sensibilidad, carteras réplicas de las distintas estrategias de cobertura, etc.), hemos construido dos nuevas hojas de cálculo, una para la volatilidad fija y otra para la móvil. A éstas, las hemos denominado «modelo de alerta para opciones *call* a tres meses con cobertura dinámica II», cubriéndose con el índice al contado, ya que era la mejor estrategia de cobertura *delta neutral* con carteras réplicas, según los diferentes parámetros y criterios de selección utilizados. La idea de hacerlo para los dos tipos de volatilidades consideradas, se debe a necesidad de contrastar los resultados de ambas entre sí y con los que se obtuvieron para cada una con la estrategia elegida. No obstante, para no ser repetitivos, explicaremos cómo hemos ido construyendo el modelo de alerta sólo para la volatilidad móvil, ya que, en el caso de la fija es exactamente igual.

En aras de sistematizar la explicación y compresión del modelo, lo iremos comentando según los pasos que hemos seguido en su construcción.

11.1 Variables de partida

El cuadro 13 muestra, para los primeros días del período de diez años estudiado, una parte de la hoja de cálculo que hemos utilizado para recoger los datos necesarios para plantear un modelo de alerta para la gestión del riesgo.

En ella, se puede apreciar como las variables de las que hemos partido para diseñar un posible modelo de gestión del riesgo, han sido: la cotización del índice IBEX-35 al contado para cada día de negociación, la volatilidad histórica móvil a tres meses de dicho índice, el tiempo hasta el vencimiento expresado en años, el parámetro «d_1» de la fórmula de Black-Scholes, la prima teórica y los parámetros *delta* y *gamma*, obtenidos como la derivada primera y segunda, respectivamente, de la prima con respecto al precio del activo subyacente (en este caso, la cotización del índice al contado). Asimismo, para comparar los resultados que se obtengan con el nuevo modelo diseñado, también se recoge la situación en balance de la estrategia de cobertura dinámica II al contado con volatilidad móvil[35].

[35] La que habíamos seleccionado porque era la que presentaba los mejores resultados de todas las carteras réplicas.

Cuadro 13.
Modelo de alerta para opciones call a 3 meses sobre el IBEX-35 con volatilidad móvil (punto de vista del emisor)

Fecha	Ibex-35 contado	Volat. móvil 3 meses	Días/365	d1	Prima técnica	Delta	Gamma	Situación balance (1)
22-jun-92	2643,92	11,48%	0,241095890	0,834460363	134,79	0,80	0,0019	0,00
23-jun-92	2620,14	11,52%	0,238356164	0,669778594	115,66	0,75	0,0022	-0,53
24-jun-92	2575,38	12,03%	0,235616438	0,346279180	85,99	0,64	0,0025	-5,01
25-jun-92	2591,78	12,00%	0,232876712	0,453069679	95,79	0,67	0,0024	-4,92
26-jun-92	2609,65	12,02%	0,230136986	0,568202213	107,44	0,72	0,0023	-5,09
29-jun-92	2564,52	12,49%	0,221917808	0,245110062	77,38	0,60	0,0026	-7,91
30-jun-92	2553,82	12,51%	0,219178082	0,169025700	70,43	0,57	0,0026	-7,85
1-jul-92	2521,46	12,77%	0,216438356	-0,05235587	53,92	0,48	0,0027	-10,18
2-jul-92	2523,15	12,63%	0,213698630	-0,04806458	53,37	0,48	0,0027	-9,21
3-jul-92	2556,27	12,89%	0,210958904	0,168152164	71,15	0,57	0,0026	-11,48
6-jul-92	2528,53	12,98%	0,202739726	-0,03480098	54,44	0,49	0,0027	-10,97
7-jul-92	2527,16	12,94%	0,200000000	-0,05044468	52,82	0,48	0,0027	-10,43
8-jul-92	2496,83	13,16%	0,197260274	-0,26160511	39,76	0,40	0,0026	-12,33
9-jul-92	2523,20	13,10%	0,194520548	-0,08906407	50,12	0,46	0,0027	-12,56
10-jul-92	2518,32	13,10%	0,191780822	-0,12953418	47,13	0,45	0,0027	-12,23
13-jul-92	2520,65	12,75%	0,183561644	-0,13973999	44,41	0,44	0,0029	-8,84
14-jul-92	2506,15	12,67%	0,180821918	-0,25466713	37,26	0,40	0,0029	-8,52
15-jul-92	2459,40	13,19%	0,178082192	-0,58915968	22,84	0,28	0,0025	-13,11
16-jul-92	2427,63	13,24%	0,175342466	-0,83146038	14,90	0,20	0,0021	-14,23
17-jul-92	2361,77	14,27%	0,172602740	-1,24107715	7,04	0,11	0,0013	-19,90
20-jul-92	2291,09	15,51%	0,164383562	-1,66256891	2,82	0,05	0,0007	-23,36
21-jul-92	2325,19	15,74%	0,161643836	-1,42148763	5,02	0,08	0,0010	-23,96
22-jul-92	2273,45	16,25%	0,158904110	-1,73962994	2,39	0,04	0,0006	-25,42
23-jul-92	2252,74	16,35%	0,156164384	-1,88559166	1,63	0,03	0,0005	-25,55
24-jul-92	2246,06	16,35%	0,153424658	-1,95308624	1,35	0,03	0,0004	-25,50
27-jul-92	2227,15	16,44%	0,145205479	-2,14966219	0,77	0,02	0,0003	-25,43
28-jul-92	2222,87	16,44%	0,142465753	-2,20745917	0,65	0,01	0,0003	-25,39
29-jul-92	2279,20	17,16%	0,139726027	-1,74831574	2,32	0,04	0,0006	-26,32
30-jul-92	2271,31	17,18%	0,136986301	-1,82459767	1,89	0,03	0,0005	-26,25
31-jul-92	2289,85	17,25%	0,134246575	-1,71150614	2,52	0,04	0,0006	-26,28
3-ago-92	2289,59	17,24%	0,126027397	-1,78899895	2,01	0,04	0,0006	-25,83
4-ago-92	2310,37	17,30%	0,123287671	-1,65972666	2,77	0,05	0,0007	-25,86
5-ago-92	2309,42	17,09%	0,120547945	-1,71374323	2,37	0,04	0,0007	-25,56
6-ago-92	2304,99	16,77%	0,117808219	-1,80712701	1,82	0,04	0,0006	-25,25
7-ago-92	2284,61	16,84%	0,115068493	-1,98276914	1,14	0,02	0,0004	-25,33

(1) Dinámica II (volatilidad móvil)

11.2 Generación de variables transformadas

Las pesquisas se centraron inicialmente en buscar alguna relación, o pauta de comportamiento, entre la cotización del índice al contado, la prima teórica y las pérdidas y ganancias de la estrategia elegida. Como la correlación entre los resultados de pérdidas y ganancias con los parámetros *delta* y *gamma* eran muy bajos (del 14% y del 5%, respectivamente), pensamos en calcularlos de modo discreto, esto es, como las variaciones relativas. En este caso, las correlaciones bajaron aún más, a un 1% y 2% respectivamente. Con ello, nos dimos cuenta de que éste no era el camino.

A continuación, probamos con variables transformadas de las que ya teníamos. Empezamos por calcular la primera diferencia de *gamma*, y como los valores eran infinitesimales, decidimos multiplicarlo por una constante de valor 1.000:

$$\Gamma_{(-1)} = (\Gamma_t - \Gamma_{t-1}) * 1000 \qquad [6]$$

La idea era encontrar si una variación significativa en la *gamma* era indicativa de un cambio o salto cuantitativo en la situación de balance. En este caso, la correlación fue de un -1% y continuamos probando con otras variables transformadas. Pensamos que la tasa de variación continua de *gamma* (en logaritmos neperianos), podría ser indicativa de lo que andábamos buscado. Así, hicimos:

$$\Gamma_{transf} = \ln \frac{\Gamma_t}{\Gamma_{t-1}} \qquad [7]$$

Y, probamos también con la función exponencial:

$$\Gamma_{transf'} = e^{\left(\frac{\Gamma_t}{\Gamma_{t-1}}\right)} \qquad [8]$$

Para estas dos variables transformadas, las correlaciones con los resultados de pérdidas y ganancias eran también muy bajos, del -2% y -5% respectivamente, lo que nos mostraba su independencia con éstos.

Dado que los resultados que íbamos obteniendo, probando con diferentes funciones matemáticas para las variables transformadas de *gamma*, no eran significativos, decidimos abandonar esta línea y replantearnos el camino de nuestra investigación.

11.3 Planteamiento de un modelo de total aversión al riesgo

Basándonos en lo comentado anteriormente, supongamos un emisor de opciones que, en cuanto aparecen las primeras pérdidas en su situación de balance, decidiera cerrar sus posiciones. Se trataría de un hipotético emisor al que le aterra el riesgo, y ya sabemos que, aunque establezca una estrategia de cobertura *delta neutral* con ajustes diarios mediante carteras réplica (cobertura dinámica II), existe una probabilidad de pérdidas del 35,90%. Su actuación sería la siguiente:

- Mientras que su posición en balance sea positiva, es decir, tenga beneficios, mantendrá sus posiciones abiertas de un día para otro.

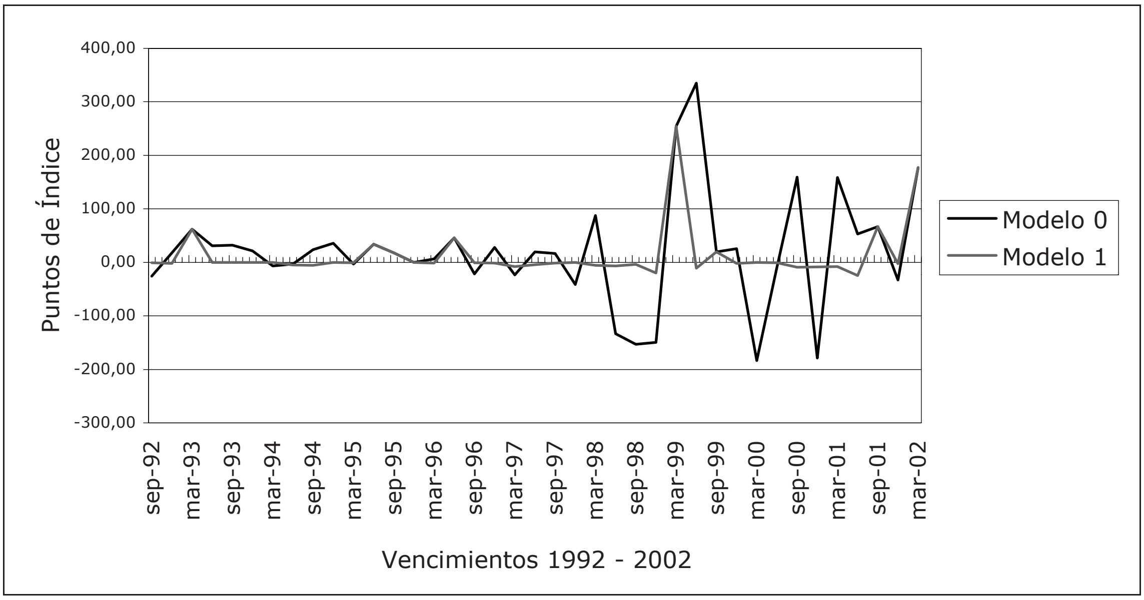
- En caso contrario, nada más que aparezcan las primeras pérdidas en un día, cerrará todas sus posiciones hasta el vencimiento y asumirá, únicamente, las pérdidas de ese día.

Esta actuación es fácilmente trasladable a un modelo en hoja de cálculo, y eso es lo que hemos programado en Lotus SmartSuite 1-2-3, y le hemos denominado «modelo 1».

La correlación de los resultados de este modelo 1 con los de pérdidas y ganancias de la estrategia de cobertura dinámica II con volatilidad móvil[36] es ya del 46,70% (y del 43,10% con el modelo 0 bis). Sin embargo, al analizar las series, nos dimos cuenta de un «pequeño» inconveniente, al liquidar las posiciones ante las primeras pérdidas, se evitaba que éstas aumentasen, pero se renunciaba a una posible recuperación en el resultado, es decir, que las pérdidas se tornarán en ganancias o de que fueran menores. En el grñáfico 10 y en el cuadro 14 ilustramos los resultados de esta estrategia recogida en el modelo 1.

[36] A partir de aquí, pasamos a denominarlo «modelo 0» y «modelo 0 bis», recogiendo el primero los resultados por vencimientos trimestrales, y el segundo, los diarios.

Gráfico 10.
Comparación de resultados de P y G de los modelos 0 y 1.



Cuadro 14.
Estadísticos de los resultados de los diferentes modelos (punto de vista del emisor)

Parámetros	**Modelo 0 (c. dinámica II 3 meses)**	**Modelo 0 bis (c. dinámica II diaria)**	**Modelo 1 (aversión al riesgo)**
Nº de Resultados	39	2444	9
Media P y G	19,54	6,12	903,28
Mediana	19,30	4,96	4,96
Varianza	10.435,07	5.672,39	3.424.120,92
Desviación Típica	102,15	75,32	1.850,44
CV = Rdto/Desv. Tip	0,19	0,08	0,49
VAR al 90% (percentil 10)	-136,47	-73,75	-67,85
Prob. Pérdidas (P y G<0)	35,90%	39,89%	22,22%
CV' = [1- P(P y G<0)]/VAR	-0,47%	-0,82%	-1,15%

Efectivamente, los resultados del modelo de total aversión al riesgo no son satisfactorios, por no decir contraproducentes. Es decir, obteníamos una media de pérdidas y ganancias inferior a la del modelo 0 y la probabilidad de pérdidas se nos iba al 79,46%. Para eso, es mejor no hacer nada, y seguir con la estrategia original hasta el vencimiento. El modelo 1, como modelo de alerta, no nos serviría, no obstante, supuso un pequeño avance en nuestra investigación y nos dio «algo de luz» sobre el camino a seguir.

11.4 Propuesta de un modelo basado en el análisis de filtros para *delta* y *gamma*

Como decíamos antes, al modelo de total aversión al riesgo, nos indicó, en cierta medida, que andábamos por el buen camino. Teníamos claro que había que liquidar posiciones, para no seguir perdiendo, pero sin renunciar a los posibles cambios que tornasen las pérdidas en ganancias o en menores pérdidas. Pero, como decidir ante dicha tesitura. Estaba claro que basarnos en las primeras pérdidas no funcionaba.

Necesitábamos encontrar un indicador que nos diera una señal cuando el riesgo de pérdidas fuese a incrementar. Algo así como un termómetro que nos informa de la temperatura y nos indica cuando un enfermo tiene fiebre. ¿Pero, en qué parámetro podríamos basarnos para ello?

Habiéndonos decidido ya por cuál debía de ser la volatilidad aplicable[37], cuyo efecto se recoge en el parámetro *vega*, nos quedaba probar con los parámetros *delta* y *gamma* como señalizadores del riesgo de pérdidas para un emisor de opciones. Y, así hicimos, introduciendo filtros para *delta* y *gamma*[38].

La actuación a seguir por un posible emisor sería la siguiente:

1. Igual que en el modelo 1, mientras que su posición en balance sea positiva, es decir, tenga beneficios, mantendrá sus posiciones abiertas de un día para otro.

2. En caso contrario, si en el día anterior se produjeron pérdidas, se aplicarán, para el día en curso, los siguientes filtros[39] para *delta* y *gamma*:

- Se comprobará si la *delta* es menor que 0,2 (un 20%). Para este caso, se observaría si la variación de *gamma*, en valor absoluto, es mayor de 0,15 (un 15%) y, en caso afirmativo, se liquidarían todas las posiciones. En caso contrario, se mantendrían un día más.
- En caso de que la *delta* fuese mayor que 0,2, también cabría la posibilidad de introducir, para ella, otro filtro superior (por ejemplo, 0,8), de tal manera que, si lo superase, se observaría si la variación de *gamma*, en valor absoluto, es mayor de 0,15 y, en caso afirmativo, liquidar. En caso contrario, se mantendrían las posiciones un día más (*gamma* menor que 0,15 o *delta* menor que 0,8).

En resumen, mientras haya beneficios en la situación de balance se seguiría adelante con la cobertura dinámica, reajustando diariamente la cartera réplica, pero no perdiendo de vista la información suministrada por los filtros, de tal manera que, en el momento en que se tenga una señal de alerta, habría que cerrar todas las posiciones hasta el vencimiento. En cualquier día, permanecerán las posiciones cerradas si ya fueron cerradas con anterioridad, o las cerraremos ese día, si los filtros así nos lo indican.

Tras probar con diferentes posibilidades: un único filtro para *delta*, otro para *gamma*, una combinación de ambos, uno superior y otro inferior, etc. Nos decantamos por lo siguiente:

Filtro de *delta* < 20% y variación de *gamma*, en valor absoluto > 15%

Esta estrategia fue bastante compleja de modelizar en una hoja de cálculo pero conseguimos hacerlo gracias a la versatilidad del programa Lotus SmartSuite 1-2-3 y la denominamos «modelo 2». En el cuadro 15 recogemos los resultados de diferentes filtros para *delta* con los que hemos probado en este modelo 2, siempre para variaciones de *gamma*, en valor absoluto, superiores al 15% y demuestra las razones por las que hemos seleccionado un modelo de filtros combinado de *delta* y *gamma*.

---

[37] Estudiada en epígrafes anteriores, y habiéndonos decantado por la volatilidad histórica móvil a tres meses del índice IBEX-35 al contado.
[38] Véase la utilización de los filtros como indicadores para recomponer una cartera réplica con menor frecuencia que la diaria en Fernández (1996).
[39] Los filtros deben ser establecidos por el inversor en función de su grado de aversión al riesgo. En nuestro caso, los hemos simulado mediante prueba y error.

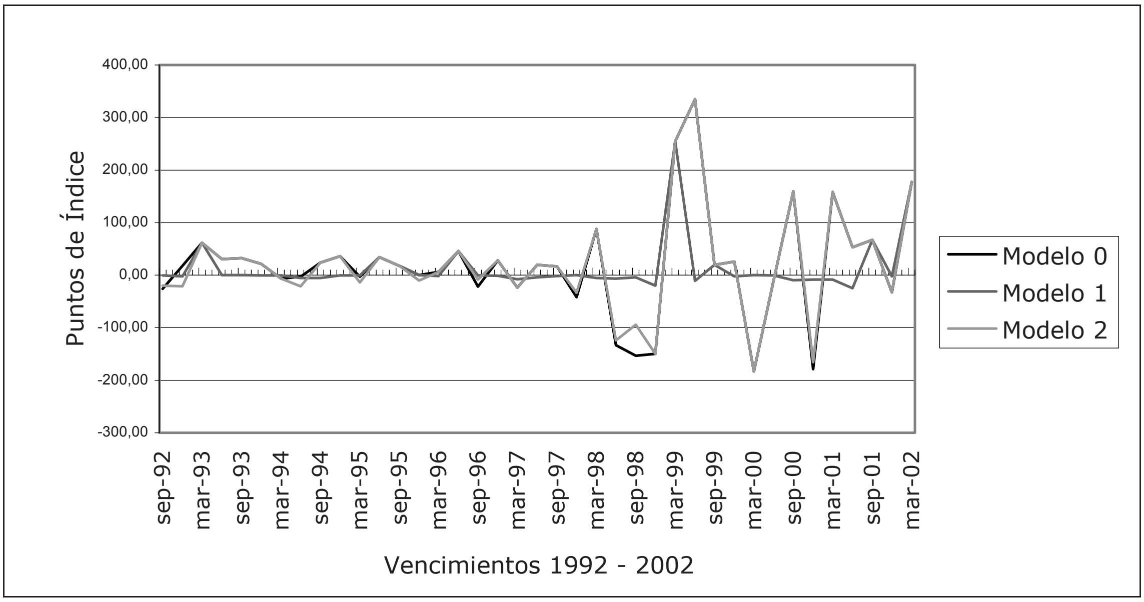
Cuadro 15.
Modelo 2: simulaciones según diferentes filtros para *delta* (variación de *gamma* > 15% en valor absoluto)

Parámetros	***Delta***						
	< 0,2	**< 0,3**	**< 0,5**	**< 0,6**	**0,4 – 0,6**	**0,2 – 0,8**	**0,2 – 0,9**
Nº de Resultados	39	39	39	39	39	39	39
Media P y G	20,34	20,44	20,44	20,82	17,97	19,05	19,70
Mediana	19,30	19,30	19,30	19,30	-0,48	17,87	19,30
Varianza	9.842,32	9.812,31	9.812,31	9.734,18	9.847,31	9.958,17	10.044,86
Desviación Típica	99,21	99,06	99,06	98,66	99,23	99,79	100,22
CV = Rdto/Desv. Tip	0,21	0,21	0,21	0,21	0,18	0,19	0,20
VAR al 90% (percentil 10)	-176,52	-176,52	-176,52	-176,52	-180,86	-180,86	-186,51
Prob. Pérdidas (P y G<0)	41,03%	43,59%	43,59%	43,59%	56,41%	46,15%	41,03%
CV' = [1- P(P y G<0)]/VAR	-0,33%	-0,32%	-0,32%	-0,32%	-0,24%	-0,30%	-0,32%

Como podemos comprobar, el que presenta una menor probabilidad de pérdidas, con una mayor ganancia media esperada y menor *VaR*, es el filtro correspondiente a una *delta* menor del 20% y una variación de *gamma*, en valor absoluto, mayor del 15%.

La correlación de los resultados de este modelo 2 con los de pérdidas y ganancias de la estrategia de cobertura dinámica II con volatilidad móvil (modelo 0) es, sorprendentemente, del 99,29% (y del 99,55% con el modelo 0 bis).

Gráfico 11.
Comparación de resultados de P y G de los modelos 1 y 2



En el gráfico 11 y en el cuadro 16 se recogen los resultados de esta estrategia junto los ya vistos del modelo 0 y del modelo 1.

Ciertamente, los resultados de este modelo son bastante satisfactorios. Presenta la mayor ganancia media esperada de todos los modelos vistos hasta ahora, una desviación típica menor que la de la estrategia inicial y una correlación del 99,29% con esta última. Sin embargo, aunque hemos bajado la probabilidad de pérdidas al 41,03%, todavía es mayor que la del modelo 0. Lo bueno de este modelo basado en filtros, es que le indica a un emisor de opciones que puede «aguantar» unas pérdidas mientras que los parámetros *delta* y *gamma* no le den señales de alarma. De esta forma, consigue mejorar muchísimo sus resultados frente a los de una estrategia de total aversión al riesgo. La única pega que podríamos hacerle es que si se quisiera la mínima probabilidad de pérdidas, entonces, habría que mantener las posiciones hasta el vencimiento, realizando diariamente reajustes en la cartera según una estrategia de cobertura *delta neutral* (es decir, utilizar el modelo 0).

Cuadro 16.
Estadísticos de los resultados de los diferentes modelos (punto de vista del emisor)

	Modelo 0 (1)	Modelo 0 bis (2)	Modelo 1 (3)	Modelo 0 (4)
Nº de Resultados	39	2444	39	39
Media P y G	19,54	6,12	13,92	20,34
Mediana	19,30	4,96	-0,54	19,30
Varianza	10.435,07	5.672,39	2.624,55	9.842,32
Desviación Típica	102,15	75,32	51,23	99,21
CV = Rdto/Desv. Tip	0,19	0,08	0,27	0,21
VAR al 90% (percentil 10)	-136,47	-73,75	-22,76	-176,52
Prob. Pérdidas (P y G<0)	35,90%	39,89%	79,49%	41,03%
CV' = [1- P(P y G<0)]/VAR	-0,47%	-0,82%	-0,90%	-0,33%

(1) Cobertura dinámica II 3 meses
(2) Cobertura dinámica II diaria
(3) Aversión al riesgo
(4) *Delta* < 0,2 y *Gamma* > 0,15

11.5 Estimación de un modelo de alerta basado en un filtro para *gamma'* modificada

El análisis de filtros realizado en el modelo anterior, nos sirvió para obtener mucha información sobre el comportamiento de *delta* y *gamma*. Analizando los cambios de *delta*, y distinguiendo si su valor era alto o bajo, observábamos que si éste era grande y se tenían resultados positivos, por lo general, los beneficios subían al hacerlo la *delta*, o al mantenerse en valores altos. El problema es que si bajaba mucho, los beneficios también disminuían, e incluso se tornaban en pérdidas[40]. Con *deltas* intermedias, podía ocurrir cualquier cosa, y con *deltas* bajas, tanto los beneficios como las pérdidas se mantenían más o menos estables. Sin embargo, si ya se tenían pérdidas, un aumento de la *delta* ocasionaba que éstas aumentasen.

En el caso de *gamma*, si se tenían ganancias y la *gamma* era alta, en muchos casos, era mejor mantener las posiciones. No obstante, mantener *gammas* elevadas es muy arriesgado, porque anticipa un cambio o un salto cuantitativo en el resultado de la posición, que puede ser para bien o para mal. Es decir, *gamma* indica que va a haber un cambio, pero no dice en qué sentido. De hecho, si ya se tenían pérdidas con una *gamma* alta, en la mayoría de los casos, era mejor liquidar. Con *gammas* bajas, se podían mantener las posiciones asumiendo las pérdidas o ganancias que se produjesen. A parte de lo comentado, también habría que tener en cuenta el valor que tomase *delta* en cada caso y ponerlos en relación unos con otros. Sin embargo, ya vimos en el apartado 11.2, que las correlaciones de *delta* y *gamma* con los resultados de pérdidas y ganancias, tanto en forma continua como discreta, así como las de sus variables transformadas, eran muy bajas.

[40] Para evitar confusiones, recordemos que la comparación que hacemos no es en relación con la prima de la opción, sino con los resultados de la cartera global (cartera réplica -acciones y préstamo- y opción *call* emitida) recogidos en la situación en balance de la cobertura dinámica II con volatilidad móvil (modelo 0).

Los comentarios anteriores nos hicieron reorientar nuestra investigación hacia otra variable transformada unida a un análisis de filtros para la misma y, pensamos en derivar nuevamente la *gamma* con respecto al precio del activo subyacente. Es decir, si *delta* (Δ) era la primera derivada y *gamma* (Γ) la segunda, por que no hacer la tercera[41]. Sería un nuevo parámetro que nos mediría la proporción en que cambia la *gamma* de una opción ante variaciones del precio del subyacente. Decidimos llamarle «Γ'». Matemáticamente:

$$\Gamma' = \frac{S * N''(d_1) - N'(d_1)}{S^2 * \sigma\sqrt{t}} \qquad [9]$$

Donde $N''(d_1)$ corresponde al valor de la derivada de la función de densidad normal estandarizada en el punto d_1. Es decir, es la segunda derivada de $N(d_1)$ en dicho punto[42]:

$$N''(d_1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} * (-d_1') * e^{\frac{d_1^2}{2}} \qquad [10]$$

Finalmente, d_1' sería la derivada de d_1:

$$d_1' = \frac{1}{S * \sigma\sqrt{t}} \qquad [11]$$

Dado que los valores de Γ' son infinitesimales, decidimos crear una transformada de ésta, denominada «*gamma'* modificada», multiplicando por una constante de valor 100.000[43] y tomando su valor absoluto:

$$\Gamma'_{\mathrm{mod}if} = ABS(\Gamma') * 100.000 \qquad [12]$$

La idea es la ya planteada en el apartado 11.2, encontrar si este nuevo parámetro es indicativo de la situación en balance para el caso de la cobertura dinámica II con volatilidad móvil (modelo 0), y si podemos utilizar un filtro que actúe como señalizador del riesgo de pérdidas para un emisor de opciones. Y, esto es lo que hemos hecho utilizando un filtro para la *gamma'* modificada de 0,02 (un 2%).

El cuadro 17 recoge, para los primeros días del período de diez años estudiado, una parte de la hoja de cálculo que hemos diseñado para realizar los cálculos necesarios y para la implementación de esta estrategia.

[41] El problema es que cuanto más derivadas se vayan sacando, más se complica su formulación matemática y mayor es la dificultad para obtener su función derivada.

[42] Recordemos que:

$$N(d_1) = \int_{-\infty}^{d_1} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} * e^{-\frac{d_1^2}{2}} * \partial(d_1) \text{ y } N'(d_1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} * e^{-\frac{d_1^2}{2}}$$

[43] El valor de la constante es por comodidad en la operatoria, de tal forma que, con ella, el valor de *gamma'* modificada sea más manejable. No obstante, puede cambiarse por cualquier otro a juicio del operador.

Cuadro 17.
Estimación del modelo 3 de alerta basado en un filtro para *gamma'* modificada (muestra parcial de la hoja de cálculo)

d_1'	N''(d_1)	*Gamma'*	*Gamma'* modificada	Situación balance [1]	Modelo 3 [2] ¿Liquidar posiciones?	P y G
0,006709964	-0,001889842	-0,000013	1,339556	0,00	No	
0,006786221	-0,002163341	-0,000016	1,550657	-0,53	No	-0,53
0,006652021	-0,002499342	-0,000018	1,759615	-5,01	No	-5,01
0,006665140	-0,002399634	-0,000017	1,691976	-4,92	No	-4,92
0,006646433	-0,002256274	-0,000016	1,586077	-5,09	No	-5,09
0,006625539	-0,002564988	-0,000018	1,799461	-7,91	No	-7,91
0,006683730	-0,002628604	-0,000019	1,859816	-7,85	No	-7,85
0,006677845	-0,002660426	-0,000019	1,882102	-10,18	No	-10,18
0,006788306	-0,002705016	-0,000019	1,943455	-9,21	No	-9,21
0,006606637	-0,002598667	-0,000018	1,818504	-11,48	No	-11,48
0,006766763	-0,002697914	-0,000019	1,932313	-10,97	No	-10,97
0,006839391	-0,002725053	-0,000020	1,971601	-10,43	No	-10,43
0,006854436	-0,002642536	-0,000019	1,917145	-12,33	No	-12,33
0,006861007	-0,002726311	-0,000020	1,978574	-12,56	No	-12,56
0,006922640	-0,002738661	-0,000020	2,004626	-12,23	No	-12,23
0,007259681	-0,002868054	-0,000022	2,195898	-8,84	No	-8,84
0,007403948	-0,002859501	-0,000022	2,231259	-8,52	No	-8,52
0,007306628	-0,002450492	-0,000019	1,890121	-13,11	No	-13,11
0,007432566	-0,002098598	-0,000016	1,646243	-14,23	No	-14,23
0,007144172	-0,001319459	-0,000010	0,998512	-19,90	No	-19,90
0,006942923	-0,000695389	-0,000005	0,513155	-23,36	No	-23,36
0,006796336	-0,000987214	-0,000007	0,713401	-23,96	No	-23,96
0,006789208	-0,000596450	-0,000004	0,431178	-25,42	No	-25,42
0,006871050	-0,000463314	-0,000003	0,338912	-25,55	No	-25,55
0,006950336	-0,000411716	-0,000003	0,304487	-25,50	No	-25,50
0,007167916	-0,000283697	-0,000002	0,216090	-25,43	No	-25,43
0,007250121	-0,000253002	-0,000002	0,194811	-25,39	No	-25,39
0,006839283	-0,000591816	-0,000004	0,430726	-26,32	No	-26,32
0,006925659	-0,000522943	-0,000004	0,385196	-26,25	No	-26,25
0,006908332	-0,000637095	-0,000005	0,467949	-26,28	No	-26,28
0,007137430	-0,000574736	-0,000004	0,435316	-25,83	No	-25,83
0,007126837	-0,000717188	-0,000005	0,542170	-25,86	No	-25,86
0,007299471	-0,000670592	-0,000005	0,518534	-25,56	No	-25,56
0,007538822	-0,000587590	-0,000005	0,468465	-25,25	No	-25,25
0,007663711	-0,000428215	-0,000003	0,346915	-25,33	No	-25,33
0,008037219	-0,000235669	-0,000002	0,199847	-25,30	No	-25,30
0,008053803	-9,97266E-05	-0,000001	0,084832	-25,56	No	-25,56
0,008137344	-4,05648E-05	0,000000	0,034881	-25,65	No	-25,65
0,008260997	-3,47402E-05	0,000000	0,030303	-25,65	No	-25,65
0,008184643	-6,45713E-05	-0,000001	0,055792	-25,67	No	-25,67
0,008454476	-6,98191E-05	-0,000001	0,062184	-25,64	No	-25,64
0,008610432	-5,53839E-05	-0,000001	0,050196	-25,64	No	-25,64
0,008766348	-4,37020E-05	0,000000	0,040293	-25,64	No	-25,64
0,008911297	-4,22886E-05	0,000000	0,039598	-25,63	No	-25,63
0,008950246	-6,12645E-05	-0,000001	0,057581	-25,64	No	-25,64
0,009492595	-1,56956E-05	0,000000	0,015614	-25,67	No	-25,67
0,009732474	-6,20090E-06	0,000000	0,006320	-25,68	Sí	-25,67
0,010012292	-1,98803E-06	0,000000	0,002083	-25,69	Sí	-25,67

[1] Cobertura dinámica II (volatilidad móvil).
[2] Variación de *gamma'* modificada < 0,02.

La actuación a seguir por un posible emisor, sería la siguiente:

1. Al igual que en el modelo 1 y 2, mientras que su posición en balance sea positiva, es decir, tenga beneficios, mantendrá sus posiciones abiertas de un día para otro.

2. En caso contrario, si en el día anterior se produjeron pérdidas, se aplicará el siguiente filtro para *gamma'* modificada:

Gamma' modificada < 2%

3. Se comprobará si la *gamma'* modificada es menor que 0,02 (un 2%) y, en caso afirmativo, se liquidarían todas las posiciones. En caso contrario, se mantendrían un día más.

En resumen, mientras haya beneficios en la situación de balance, se seguiría adelante con la cobertura dinámica, reajustando diariamente la cartera réplica pero, vigilando la información suministrada por el filtro para la *gamma'* modificada, de tal forma que, en el momento que se tenga una señal de alerta, habría que cerrar todas las posiciones hasta el vencimiento. En cualquier día, aparecerán las posiciones cerradas, si ya fueron cerradas con anterioridad o si el filtro indica que se cierren ese día.

Esta estrategia no fue tan complicada de modelizar en Lotus SmartSuite 1-2-3, una vez hecha la del modelo 2, y la denominamos «modelo 3». En el cuadro 18, recogemos los resultados de diferentes filtros para *gamma'* modificada con los que hemos probado en este modelo 3, y demuestra porqué nos hemos decantado por un filtro del 2%.

Cuadro 18.
Modelo 3: simulaciones según diferentes filtros para *gamma'* modificada

Parámetros	***Gamma'* modificada**						
	< 0,01	**< 0,02**	**> 0,01**	**< 0,05**	**> 0,05**	**< 0,1**	**> 0,1**
Nº de Resultados	39	39	39	39	39	39	39
Media P y G	17,76	21,57	14,51	18,45	24,94	18,47	15,02
Mediana	19,30	19,30	-0,54	0,07	-0,49	-0,21	-0,49
Varianza	11.039,47	9.918,60	2.592,45	2.731,95	7.572,85	2.660,46	10.038,96
Desviación Típica	105,07	99,59	50,92	52,27	87,02	51,58	100,19
CV = Rdto/Desv. Tip	0,17	0,22	0,29	0,35	0,29	0,36	0,15
VAR al 90% (percentil 10)	-199,95	-185,25	-16,41	-37,67	-134,68	-28,06	-181,53
Prob. Pérdidas (P y G<0)	35,90%	35,90%	79,49%	48,72%	69,23%	53,85%	66,67%
CV' = [1- P(P y G<0)]/VAR	-0,32%	-0,35%	-1,25%	-1,36%	-0,23%	-1,65%	-0,18%

Como podemos observar, el que presenta una menor probabilidad de pérdidas con una mayor ganancia media esperada es el filtro correspondiente a una *gamma'* modificada menor del 2%.

Cuadro 19.
Estadísticos de los resultados de los diferentes modelos (punto de vista del emisor)

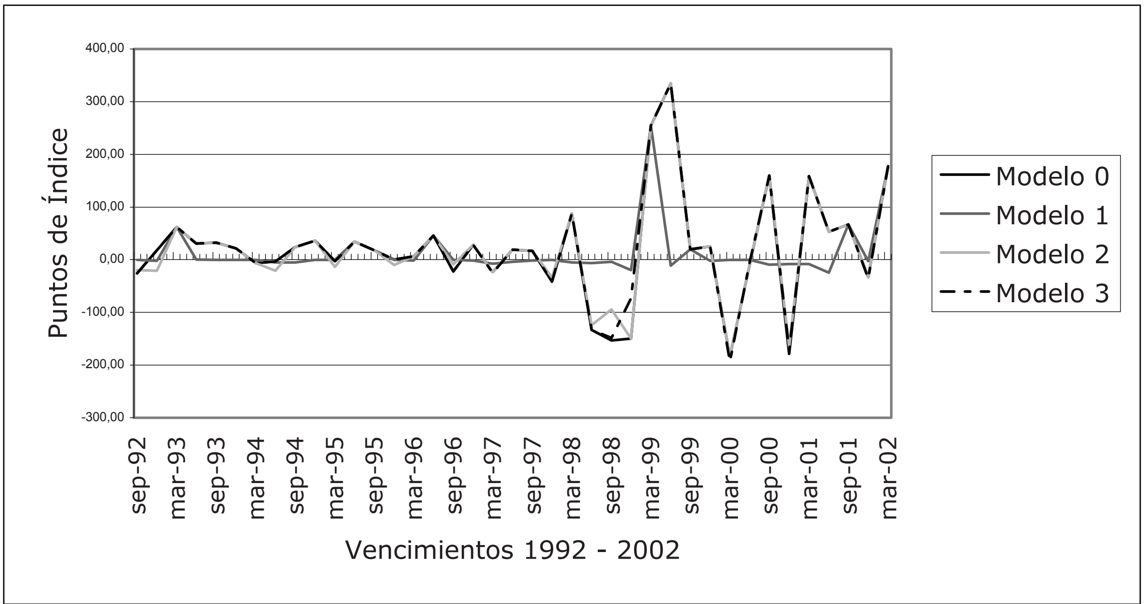
Parámetros	**Modelo 0** (1)	**Modelo 0 bis** (2)	**Modelo 1** (3)	**Modelo 2** (4)	**Modelo 3** (5)
Nº de Resultados	39	2444	39	39	39
Media P y G	19,54	6,12	13,92	20,34	21,57
Mediana	19,30	4,96	-0,54	19,30	19,30
Varianza	10.435,07	5.672,39	2.624,55	9.842,32	9.918,60
Desviación Típica	102,15	75,32	51,23	99,21	99,59
CV = Rdto/Desv. Tip	0,19	0,08	0,27	0,21	0,22
VAR al 90% (percentil 10)	-136,47	-73,75	-22,76	-176,52	-185,25
Prob. Pérdidas (P y G<0)	35,90%	39,89%	79,49%	41,03%	35,90%
CV' = [1- P(P y G<0)]/VAR	-0,47%	-0,82%	-0,90%	-0,33%	-0,35%

(1) Cobertura dinámica II 3 meses.
(2) Cobertura dinámica II diaria.
(3) Aversión al riesgo.
(4) *Delta* < 0,2 y *Gamma* > 0,15.
(5) *Gamma'* modificada < 0,02.

La correlación de los resultados de este modelo 3 con los de pérdidas y ganancias de la estrategia de cobertura dinámica II con volatilidad móvil (modelo 0) es altísima, también de un 99,29% (y del 97,95% con el modelo 0 bis), y el único que lo iguala en probabilidad de pérdidas (o de ganancias, si se prefiere).

En el cuadro 19 y en el gráfico 12 se recogen los resultados de esta estrategia junto con los ya vistos de los modelos 0,1 y 2.

Gráfico 12.
Comparación de resultados de P y G de los modelos 0, 1, 2 y 3.



Si comparamos todos los modelos planteados, este modelo 3 es el que presenta los mejores resultados:

- Es el que proporciona la mayor ganancia media esperada (más incluso que el modelo 0), presenta la mayor mediana positiva (igual a la del modelo 0) y tiene menor desviación típica que el modelo 0.
- Es el segundo mejor en rendimiento por unidad de riesgo y, aunque tiene el mayor *VaR*, si lo relacionamos con la probabilidad de ganancias, presenta mejor *CV* que el modelo 2.
- Finalmente, es el único que logra igualar la probabilidad de pérdidas (o de ganancias, como decíamos antes) de la cobertura dinámica II con volatilidad móvil (modelo 0).

El cuadro 20 presenta, para cada opción replicada, los resultados globales de la cartera, según los diferentes modelos, desde el punto de vista del emisor.

Ciertamente, hemos conseguido idear un modelo de gestión del riesgo que nos avisa de cuando debemos cerrar nuestras posiciones ante un aumento del mismo. Sus resultados mejoran, en cuanto a rentabilidad y riesgo, a los de la cobertura dinámica basada en el ajuste a la *delta* (*delta neutral*) y, gracias al filtro de la *gamma'* modificada, no tenemos que mantener nuestras posiciones hasta el vencimiento para conocer los resultados, sino que, dependiendo del valor que tome dicho parámetro, decidiremos si mantenerlas o cerrarlas.

Cuadro 20.
Resultados globales de la cartera para cada opción replicada (punto de vista del emisor)

Opción	Pérdidas y ganancias			
	Cobertura dinámica II	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
Call 2600 Vctº 18/09/92	-25,86	-0,53	-19,90	-25,67
Call 2300 Vctº 18/12/92	17,63	-2,22	-20,94	17,63
Call 2600 Vctº 18/03/93	61,84	61,84	61,84	61,84
Call 2600 Vctº 18/06/93	30,63	-0,03	30,63	30,63
Call 3000 Vctº 17/09/93	32,14	-0,16	32,14	32,14
Call 3000 Vctº 17/12/93	21,22	-0,44	21,22	21,22
Call 3500 Vctº 18/03/94	-6,69	-0,26	-6,69	-6,60
Call 3650 Vctº 17/06/94	-3,18	-5,17	-20,98	-3,18
Call 3300 Vctº 16/09/94	23,66	-5,40	23,66	23,66
Call 3200 Vctº 16/12/94	35,84	-0,44	35,84	35,84
Call 3200 Vctº 17/03/95	-3,01	-0,51	-13,71	-2,99
Call 3050 Vctº 16/06/95	34,07	34,07	34,07	34,07
Call 3250 Vctº 15/09/95	17,87	17,87	17,87	17,87
Call 3500 Vctº 15/12/95	0,07	-0,05	-10,35	0,07
Call 3550 Vctº 15/03/96	6,18	-1,46	6,18	6,18
Call 3700 Vctº 21/06/96	45,90	45,90	45,90	45,90
Call 4250 Vctº 20/09/96	-21,96	-0,49	-8,60	-21,95
Call 4100 Vctº 20/12/96	28,16	-1,36	28,16	28,16
Call 5000 Vctº 21/03/97	-23,64	-7,84	-23,64	-25,03
Call 5350 Vctº 20/06/97	19,30	-4,13	19,30	19,30
Call 6800 Vctº 19/09/97	16,65	-1,57	16,65	16,65
Call 7100 Vctº 19/12/97	-41,62	-0,21	-33,53	-41,62
Call 7050 Vctº 20/03/98	87,44	-5,26	87,44	87,44
Call 9950 Vctº 19/06/98	-133,19	-6,62	-123,89	-133,19
Call 9700 Vctº 18/09/98	-153,06	-3,88	-94,44	-148,11
Call 7200 Vctº 18/12/98	-149,60	-19,72	-149,60	-73,01
Call 9600 Vctº 19/03/99	254,35	254,35	254,35	254,35
Call 9950 Vctº 18/06/99	334,74	-11,03	334,74	334,74
Call 10400 Vctº 17/09/99	19,43	19,43	19,43	19,43
Call 9700 Vctº 17/12/99	25,42	-2,11	25,42	25,42
Call 11650 Vctº 17/03/00	-183,32	-0,09	-183,32	-193,34
Call 12350 Vctº 16/06/00	-8,89	-0,54	-8,89	-4,14
Call 10600 Vctº 15/09/00	159,58	-9,40	159,58	159,58
Call 11200 Vctº 15/12/00	-178,61	-8,28	-165,42	-172,05
Call 9050 Vctº 16/03/01	158,55	-8,16	158,55	158,55
Call 9250 Vctº 15/06/01	52,98	-24,62	52,98	52,98
Call 9000 Vctº 21/09/01	66,83	66,83	66,83	66,83
Call 6900 Vctº 21/12/01	-32,87	-2,50	-32,87	-35,52
Call 8450 Vctº 15/03/02	177,15	177,15	177,15	177,15

Como decíamos al comienzo de este epígrafe, todo lo explicado en la construcción del modelo de alerta para volatilidad móvil, se repitió exactamente igual para la volatilidad fija, llegándose a la misma conclusión: el modelo 3 es el que mejores resultados ofrece y el único que iguala a la mínima probabilidad de pérdidas (o a la máxima probabilidad de ganancias, si se prefiere). En este caso, el filtro utilizado para la *gamma′* modificada fue del 1%. En total, las nuevas simulaciones que hemos realizado en este epígrafe suman 58.656.

11.6 Contraste del modelo de alerta propuesto

Ciertamente, puede decirse que son dos los modelos de alerta que estamos manejando: uno, basado en el análisis de filtros para *delta* y *gamma* (modelo 2), y otro, construido por nosotros mismos, apoyado en un filtro para la derivada de *gamma*, al que hemos denominado «*gamma'* modificada» (modelo 3) y por el que nos hemos decantado. Pues bien, en este epígrafe, realizaremos una comprobación empírica o contraste sobre la bondad de dichos modelos en comparación con los de cobertura dinámica (modelo 0) y de aversión al riesgo (modelo 1). En definitiva, se trata de probar si dichos modelos funcionan en la práctica.

Con dicho propósito recabamos de la Bolsa de Madrid, de la Sociedad de Bolsas y de MEFF, los datos necesarios para valorar las opciones correspondientes a junio, septiembre y diciembre de 2002 y, marzo, junio y septiembre de 2003. Por lo que nuestro estudio se «alargó» un año y medio más. Es decir, abarca desde 1992 a 2003, los diez primeros años para estimar el modelo y los dos últimos para testarlo empíricamente.
Para ello, hemos construido varias hojas de cálculo en Lotus SmartSuite 1-2-3 (que por razones de espacio no hemos incluido aquí), en las que, en primer lugar, se han incluido los datos necesarios para calcular la volatilidad histórica a tres meses para cada día (la móvil), la prima teórica de las referidas opciones y los parámetros *delta* y *gamma*. A continuación, se recogen sus precios de mercado para cada día.

La serie de las primas de mercado se ha construido a partir de las bases de datos facilitadas por MEFF y se han considerado aquellas opciones para los vencimientos de la serie trimestral anual de junio de 2002 hasta septiembre de 2003, y en las que sus precios de ejercicio se encontraban más ATM con la cotización del IBEX-35 en el primer día de cada período trimestral en el que la opción era negociada.

Para el primer día del período, se ha seleccionado el precio de demanda, pues, desde el punto de vista del emisor, a ese precio siempre tiene la opción «vendida». Para el resto de los días, hasta el vencimiento, se han elegido los precios de oferta, ya que si un emisor quisiera cerrar su posición en opciones, siempre la podría «recomprar» a es precio[44]. La idea es movernos siempre en un plano lo más cercano posible a la realidad, ya que lo que se pretende es corroborar si el modelo de alerta para la gestión del riesgo funciona bien en la práctica.

Una vez hecho lo anterior, pasamos a probar la validez de los modelos propuestos. En primer lugar, basándonos ahora en las primas de mercado, construimos las carteras réplicas con el índice IBEX-35 al contado, considerando la volatilidad móvil, tipo de interés variable y reajustes diarios a la *delta* siguiendo una cobertura *delta neutral* (modelo 0).

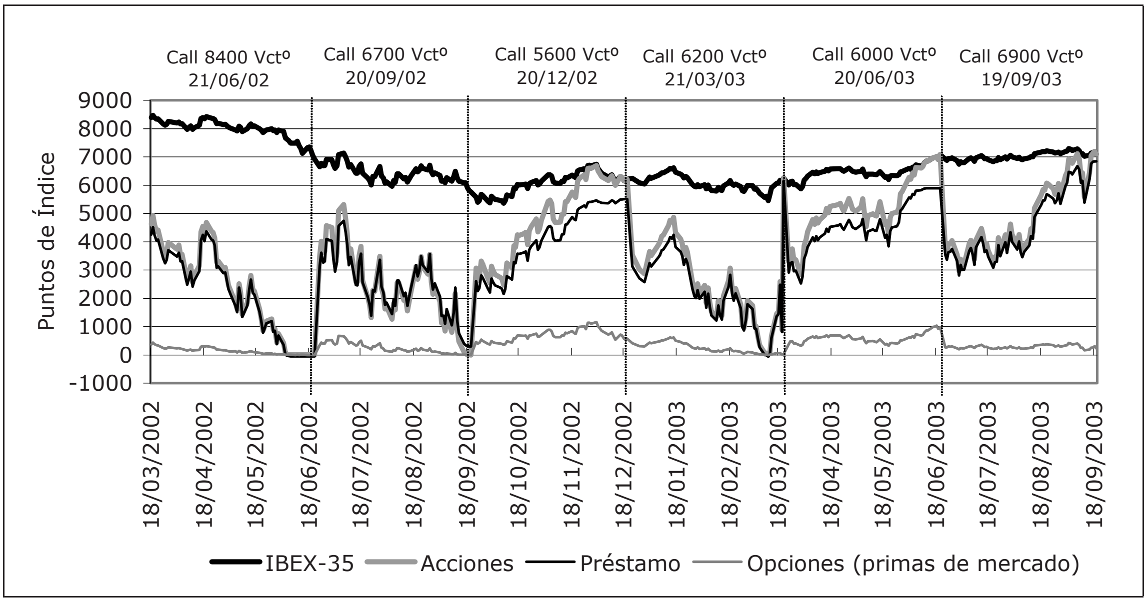
El gráfico 13 muestra una gráfica de la evolución de las carteras réplicas de las seis opciones consideradas junto con la del IBEX-35 y la de las primas de mercado.

A continuación, probamos con el modelo de total aversión al riesgo (modelo 1) y, finalmente, aplicamos los modelos basados en los filtros para *delta* y *gamma* (modelo 2) y para *gamma'* modificada (modelo 3).

Finamente, los resultados de pérdidas y ganancias según los distintos modelos, y desde el punto de vista del emisor, los hemos resumido, por vencimientos, en el cuadro 21, junto con los de no efectuar cobertura alguna, bien a precio teórico, o bien a precio de mercado.

[44] Esto contrasta con las primas de mercado utilizadas hasta ahora (precios de demanda). Como ya explicamos, utilizamos dichos precios para contrastar la estimación de las primas de mercado a través de la valoración de las primas teóricas conforme al modelo de Black-Scholes, así como sus posibilidades de arbitraje por medio de la replicación de opciones según su valor teórico (se vende la opción a precio de mercado -contrapartida siempre al mejor precio de demanda- y se compra una «opción sintética» a su precio teórico por medio de su cartera réplica). Véase el epígrafe 7.

Gráfico 13.
Evolución de las carteras réplicas, IBEX-35 y primas de mercado: estrategia de cobertura dinámica (reajustes diarios)



A continuación, vamos a comentar cómo se han comportado los modelos en la práctica para comprobar su validez y fiabilidad. Hay que advertir que los modelos que se han inferido, en base al estudio de las carteras réplicas durante un horizonte temporal de diez años, habría que testarlos con un plazo temporal mayor que el de sólo seis vencimientos, aunque hayamos incluido el último vencimiento del que disponíamos de datos a la fecha de cierre del estudio. No obstante, como podremos ver, aún así los modelos de alerta «funcionan» bastante bien.

Si no se realiza cobertura alguna, y estamos «a merced del mercado», se tienen pérdidas en dos de las seis opciones emitidas por un importe de 849,15 puntos, a precio teórico, y de 706 puntos, a precios de mercado. Sin embargo, en el global de pérdidas y ganancias, se obtienen beneficios por importe de 364,62 y 422 puntos, respectivamente. Como los resultados son pocos, no sería significativo calcular la probabilidad de pérdidas, aunque insistimos, han sido dos de seis.

Cuadro 21.
Resultados de pérdidas y ganancias según los diferentes modelos (punto de vista del emisor)

Opción (*)	Sin cobertura				Modelo 0	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
	Co	Cn	P y G Tca.	P y G Mdo.	P y G	P y G	P y G	P y G
Call 8400 21/06/02	426,09	0,00	426,09	369,00	51,46	-23,22	51,46	51,46
Call 6700 20/09/02	285,75	0,00	285,75	343,00	-301,65	-21,14	-296,50	-299,59
Call 5600 20/12/02	475,58	608,00	-132,42	-113,00	128,02	-37,27	128,02	128,02
Call 6200 21/03/03	427,65	58,00	369,65	376,00	73,01	-6,35	73,01	73,01
Call 6000 20/06/03	364,87	1.081,60	-716,73	-593,00	211,72	-33,14	211,72	211,72
Call 6900 19/09/03	334,97	202,70	132,27	40,00	32,86	-24,82	32,86	32,86
Suma de PyG			364,62	422,00	195,42	-145,94	200,57	197,47
Media de PyG			60,77	70,33	32,57	-24,32	33,43	32,91
Coef. correlación (%)			-4,80%	-3,79%		-19,44%	100,00%	100,00%

(*) Se indica la fecha de vencimiento del contrato.

Con la cobertura dinámica según reajustes diarios a la *delta*, y manteniendo las posiciones en opciones y en sus carteras réplicas hasta el vencimiento (modelo 0), se consigue mejorar la situación, en el sentido de que ahora, sólo en un caso de los seis se tienen pérdidas por importe de 301,65 puntos. La suma total de pérdidas y ganancias es, en este caso, de 195,42 puntos, menor que la anterior.

El modelo de aversión al riesgo es contraproducente para cualquier emisor, ya que, casi siempre, en cualquier día del período se producirá una pérdida, por lo que, si cuando esto ocurre se cierran las posiciones, por lo general, todas terminarán con pérdidas, como de hecho sucede en los seis casos.

Los modelos 2 y 3 funcionan de manera similar mediante filtros que dan la voz de alerta e indican cuando es conveniente cerrar las posiciones y no esperar hasta el vencimiento. Ambos mantienen las posiciones abiertas mientras se tengan beneficios o pérdidas, siempre que no salte la alarma contemplada por el filtro para la *delta*, la variación de *gamma* o la *gamma'* modificada. Si observamos los resultados diarios que se producen con la aplicación de estos modelos en la hoja de cálculo referenciada, comprobaremos como aún produciéndose pérdidas, éstos aconsejan mantener las posiciones y esperar para, finalmente, cerrar con beneficios. Esto ha ocurrido en cinco de las seis opciones emitidas, consiguiéndose unos resultados idénticos a los de la cobertura dinámica (modelo 0). Pero, a diferencia de ésta, y para la opción «*call* 6700 Vctº 20/09/02», se frenan las pérdidas cuando los filtros dan la voz de alarma. De hecho, el modelo 2 «avisa» una semana antes del vencimiento, y el modelo 3, lo hace justo un día antes. Las pérdidas, en estos casos son de 296,50 y de 299,59 puntos, menores que las del modelo 0. No obstante, y esto es muy importante de destacar, durante ese período de tres meses, ha habido días donde las pérdidas hubieran sido de hasta 324,45 puntos (el 08/08/02) de haber cerrado las posiciones, sin embargo, tal cosa no se hizo porque los filtros no lo aconsejaron.

Durante otros vencimientos, también ha habido pérdidas, pero se han ido asumiendo y, al final, se ha terminado con beneficios. Caso destacable, es el de la opción «*call* 6000 Vctº 20/06/03» en la que se empieza perdiendo en los primeros días para, finalmente, cerrar con las mayores ganancias de todas las opciones consideradas; cuando, además, si no se hubiera hecho la cobertura, se hubieran perdido 716,73 o 593 puntos, según el caso.

La suma de pérdidas y ganancias es de 200,57 y 197,47 puntos respectivamente, y ambos modelos mantienen una correlación del 100% con el de cobertura dinámica, en el que se basan, pero mejorando sus resultados. Los dos son muy parejos y la única diferencia radica en el parámetro que da la voz de alerta, aunque el modelo 3 ha dado mejores resultados, en cuanto a probabilidad de pérdidas, en el horizonte temporal de los diez años que hemos analizado.

Un último apunte hasta ahora no considerado, el cual consiste en combinar los filtros con un *stop* o límite de pérdidas, por ejemplo, de 100 puntos. De esta manera, el emisor mantendría abierta sus posiciones en situación de pérdidas, y las asumiría, cuando éstas fueran inferiores al *stop*, y siempre que el filtro no diga lo contrario.

En definitiva, podemos afirmar que los modelos de alerta propuestos «funcionan» en la práctica y pueden ser una herramienta de gran utilidad al alcance de los emisores de opciones para la gestión del riesgo de mercado.

12. Conclusiones

12.1 Relacionadas con la volatilidad estimada y la volatilidad de mercado

1. *La aplicación de la volatilidad histórica móvil a tres meses del IBEX-35 al contado, proporciona mejores resultados que la fija y que la del futuro en la predicción de la volatilidad de mercado y en la valoración de las primas en la emisión de opciones a corto plazo (tres meses) sobre dicho índice.*

   Además, hemos defendido que, para los propósitos de nuestro trabajo, nos habíamos decantado por utilizar la volatilidad histórica muestral corregida, propuesta por Cox y Rubinstein, frente a otros estimadores o técnicas más evolucionadas, como los de volatilidad estocástica, pero de gran complejidad para los operadores del mercado. No hay que olvidar, que el modelo de valoración utilizado, el de Black-Scholes, se base en la hipótesis de volatilidad constante (homoscedástica y determinista) y los resultados que se consiguen con éste, en la parte empírica de la investigación al estimar las primas de mercado, son muy satisfactorios.

   Es interesante destacar que la volatilidad móvil a tres meses del índice al contado es la que presenta mayor correlación con respecto a la de mercado (un 83,85%), por encima, incluso, que la del futuro (un 77,78%). La correlación entre éstas dos es elevadísima, concretamente de un 95,58%.

2. La mayor amplitud o fluctuación del diferencial de volatilidades en el caso del futuro (más que en el del contado), junto a que, con la volatilidad histórica del IBEX-35 al contado, se consigue una correlación de la prima teórica con respecto a la prima de mercado de más del 99%, además de ser la que presenta una mayor correlación con la volatilidad de mercado, es lo que nos hace considerarla como la más recomendable en su aplicación en la emisión de opciones y en el cálculo de la prima teórica, en base a la cual se establecen las estrategias de cobertura dinámicas mediante la construcción de *Ante el incremento del riesgo que suponen los aumentos de volatilidad, los operadores del mercado se «curan en salud» subiendo mucho el diferencial o prima por volatilidad, en cambio, cuando baja, no lo hacen tanto*.

   Si comparamos las volatilidades históricas del índice IBEX-35 al contado y a futuro, podemos comprobar como la volatilidad del futuro ha ido, casi siempre, por encima de la del contado, es decir, que la negociación del futuro como subyacente, introduce una mayor volatilidad que la del contado, con una media de cuatro puntos por encima de diferencia. Es más, cuando la volatilidad aumenta por encima del 4%, la prima por volatilidad llega a subir más de ocho puntos en media, hasta más del 12% de diferencia; y, cuando disminuye, sólo baja a más de un punto y medio de media, hasta situarse el diferencial en poco menos del 3,5%. La máxima diferencia entre las volatilidades históricas a tres meses del contado y del futuro, en el período que va desde el 22/06/92 hasta el

15/03/02, ha llegado a ser de un 21,44% y la mínima de -2,78%. En resumen, cuando la volatilidad aumenta, la diferencia entre ambas se amplifica y, cuando disminuye, se estrecha, pero en menor medida.

Por otro lado, la media de la diferencia entre la volatilidad de mercado y la histórica del índice al contado es de 5,46% mientras que con la del futuro es del 2,56%. Sin embargo, la amplitud o fluctuación del diferencial de volatilidades es mucho mayor en el caso del futuro que en el del contado. Efectivamente, la diferencia de volatilidades oscila entre un mínimo de -5,93% y un máximo del 24,82%, para la del contado, y entre un -14,94% y un 24,00%, para la del futuro. Es decir, mientras el diferencial máximo es similar, el mínimo puede caer más de nueve puntos porcentuales.

3. *Las elevadas volatilidades puestas por los emisores o vendedores de opciones en el mercado y, por tanto, unas primas tan altas, no se justifican según las volatilidades históricas*.

Como hemos podido comprobar, la volatilidad de mercado, casi siempre, ha ido por encima de la histórica fija y móvil del índice al contado y de la histórica del futuro, encontrándonos con casos «extremos». Por ejemplo, en el primer vencimiento de 2000, la diferencia entre la prima de mercado y la teórica, a principios y a mediados de ese período, rondaba entre los nueve y diez puntos porcentuales y, sin embargo, a finales del mismo, la diferencia casi se duplicó, llegando a situarse, a pocos días del vencimiento, en más de veintiún puntos (44,22%-22,97%).

12.2 Relacionadas con la valoración de las primas teóricas, las primas de mercado y las posibilidades de arbitraje

1. *El nivel de las primas de las opciones en el mercado español es alto, dada la relación entre éstas y las volatilidades de mercado (las implícitas) que están por encima de sus valores históricos tanto al contado como a futuro*.

Esto es lo que hace que, generalmente, las primas de las opciones hayan estado sobrevaloradas en el período estudiado (diez años) y haya habido grandes oportunidades de arbitraje. Por otro lado, esto no debe sorprendernos ya que las volatilidades implícitas incorporan primas por riesgo ante la incertidumbre del mercado y suelen sobrevalorar a la volatilidad futura.

2. *El modelo de Black-Scholes «funciona» perfectamente en la práctica, es decir, las primas teóricas estiman conveniente a las de mercado y los operadores actúan, en su operativa diaria, teniendo presente dicho modelo de valoración*.

El enorme grado de acierto de la fórmula de Black-Scholes en la estimación de la prima, está avalado por lo siguiente:

En primer lugar, por la elevadísima correlación entre las primas teóricas y las primas de mercado, tanto con volatilidad fija como móvil, llegando a ser de un 99,44% y 99,56% respectivamente. Prácticamente, da igual utilizar una que otra en el cálculo de la prima teórica, ya que, además, la correlación entre ambas es de un 99,8%. Aunque, por ser la móvil la que más se acerca al 100%, y porque proporciona mejores resultados en la cobertura dinámica mediante carteras réplicas, es la que nosotros recomendamos.

En segundo lugar, porque, manteniendo la hipótesis de este modelo en cuanto al parámetro de la volatilidad, se alcanza una correlación entre la volatilidad histórica móvil y la de mercado de un 83,85% (por encima del 72,74% para la fija y del 77,78% para el futuro) dada, además, la estrecha relación entre la fijación de primas y las volatilidades puestas por los emisores.

3. *No obstante lo anterior, existen diferencias entre las primas de mercado y las teóricas que pudieran ser muy bien aprovechadas por los arbitrajistas mediante la construcción de carteras réplicas y el establecimiento de coberturas dinámicas con delta neutral*.

   Teniendo en cuenta sólo el tipo de arbitraje directo, esto es, «vendiendo» la opción a precios de mercado y «comprándola» por medio de su cartera réplica (acciones menos préstamo)[45], hubo un 50,09% de veces en que pudo realizarse para la volatilidad fija, por superar las diferencias de primas los costes de transacción I y un 46,78% para los costes de transacción II. En el caso de volatilidad móvil, el porcentaje fue un poco mayor, de un 51,23% para los costes de transacción I y un 47,09% para los costes de transacción II.

   Por otra parte, mientras que los beneficios previstos con el arbitraje son muy similares para los casos de considerar volatilidad fija o móvil, no ocurre lo mismo con los reales. Destaca que, para volatilidad fija, los beneficios previstos sean inferiores a los reales y ocurra lo contrario para la volatilidad móvil. En cualquier caso, lo que se pone de manifiesto, es que ha habido importantes oportunidades de arbitraje en el mercado español de opciones, mediante réplicas de las mismas al contado, con unos beneficios derivados del arbitraje que van de los 12,94 a los 23,96 puntos de índice de media.

4. *Debido a lo anterior, y a que por lo general, las primas de mercado han estado por encima de sus valores teóricos, tanto al contado como a futuros, puede decirse que existe evidencia empírica de que ha habido oportunidades de arbitraje que no han sido aprovechadas por los operadores y, por tanto, su función, en cuanto a nivelación de precios y disminución de la volatilidad, no se ha notado como debiera en el mercado español*.

   Es muy probable, que de haberse aprovechado las oportunidades de arbitraje mediante la replicación de opciones, dicha actuación habría contribuido, sin lugar a dudas, a equilibrar las primas de las opciones, disminuir la volatilidad de mercado y a dotar al mercado de una mayor eficiencia en la formación de los precios.

5. *El mercado español presenta signos de «buen funcionamiento» tanto al contado como en derivados sobre el IBEX-35, por lo que podemos afirmar que estamos ante un mercado desarrollado y consolidado que ha alcanzado un cierto grado de madurez y eficiencia*.

   El que en el supuesto de no realizar cobertura alguna, la media de los resultados diarios de pérdidas y ganancias dé próxima a cero (-1,69 puntos para el caso de utilizar el índice IBEX-35 al contado como activo subyacente y -1,96 para el caso de emplear el futuro) y que la mediana sea exactamente cero, valor que deja por encima y por debajo exactamente la misma probabilidad (un 50%) de que existan beneficios o pérdidas, dice mucho en favor del funcionamiento del propio mercado.

[45] Lo que podría realizarse cuando el precio de mercado se situase por encima de la prima teórica y la diferencia fuese tal que compensase los costes de transacción.

12.3 Relacionadas con las distintas estrategias de cobertura y con las posibilidades de replicación de opciones

1. *En la práctica, no pueden replicarse de manera exacta los resultados de las opciones al 100%, por lo que, la posición de la cartera global de un inversor que adopte posiciones contrarias en el mercado de contado y en el de opciones, no será neutral o inmune frente al riesgo, sino que tendrá que soportar una determinada probabilidad de pérdidas*.

   Aún en ausencia de costes de transacción, el valor final de las carteras réplicas no es exactamente igual al valor de las opciones, incluso con reajustes diarios de la posición. En cualquiera de los casos, al vencimiento, la situación en balance es distinta de cero, es decir, se producirán pérdidas o ganancias, debido a lo siguiente:

   En primer lugar, porque en el momento de seleccionar la opción para replicar con el subyacente, mientras que la forma de cotización del IBEX-35 al contado es en centésimas (0,01 punto), o la del futuro es en puntos enteros del índice (con una fluctuación mínima de 1 punto), los precios de ejercicio de las opciones listadas, debido a su estandarización, van de 50 en 50, para las de vencimiento inferior a dos meses, o de 100 en 100, para las de vencimiento superior a dos meses. Ello supone la imposibilidad de elegir opciones cuyo precio de ejercicio coincida exactamente con la cotización del subyacente (IBEX-35 al contado o a futuro), ya que en la realidad del mercado no existen, y nos vemos obligados a escoger la más ATM, pero no exactamente en igualdad de precios.

   En segundo lugar, porque con la cobertura *delta neutral* lo que se consigue es una «seudoinmunización» ya que sustituimos riesgo de precios por riesgo de volatilidad. Es decir, se necesita hacer que la cartera sea neutral no sólo a los efectos de *delta*, sino también a los de *gamma* y *vega*. Recordemos lo ya comentado sobre la «curvatura»[46] de la prima de las opciones ante los movimientos del precio del subyacente, medida por la *gamma*, y la necesidad de hacer nuestra cartera neutral a los efectos, no sólo de *delta*, sino también de *gamma* y *vega*. Para ello, habría que construir una cartera *delta neutral*, *gamma neutral* y *vega neutral*, añadiendo nuevas y más opciones a nuestra posición de réplica. Además, tendríamos que hacer reajustes continuos en la composición de la cartera. No obstante, al igual que otros investigadores[47], reconocemos la imposibilidad práctica para llevarlo a cabo. Por ejemplo, según Hull (2002), «*en la práctica, los operadores de opciones suelen reajustar sus carteras al menos una vez al día para mantener la neutralidad delta. Normalmente, no es factible mantener neutralidades gamma o vega de forma regular. Es típico que los operadores vigilen estas medidas. Si se hacen demasiado grandes, se toma alguna acción correctora o se cortan las operaciones*».

   Por todo ello, la replicación de la opción no va a ser exacta al 100% y nos vamos a tener que conformar con una cuasi-réplica de la misma. Este es el motivo, con más razón si cabe, por el que nos planteamos idear un modelo de gestión del riesgo para los emisores de opciones que les sea útil en la práctica.

---

[46] Se puede comprobar cómo, cuando sube el subyacente, la prima sube más rápido que la *delta* y, cuando baja el subyacente, la prima baja más rápido que la *delta*, y por eso se gana o se pierde.

[47] Véase, por ejemplo, Asay y Edelberg (1986), Figlewski (1989), Leland (1985) y Rubinstein y Leland (1981).

2. *La mejor estrategia de cobertura mediante carteras réplicas para la emisión de opciones call sobre índices en el mercado español (IBEX-35), la proporciona la cobertura dinámica con volatilidad móvil y tipo de interés variable (interbancario a tres meses), cubriéndose con el índice al contado mejor que con el futuro.*

   Los resultados de las simulaciones de las coberturas *delta* para las diferentes posibilidades de carteras réplicas (con el contado o el futuro como subyacente, con volatilidad fija o móvil, con o sin reajustes diarios, con tipo de interés fijo o móvil y con liquidación diaria o al vencimiento) no dejan lugar a dudas. Cubriéndose con el futuro, sólo las coberturas dinámicas I y II, reportarían escasas ganancias esperadas con liquidación al vencimiento, en todos los demás casos se obtendrían pérdidas. Todo ello, además, con unas probabilidades de pérdidas del 46,15% y del 48,39%, en el mejor de los casos para liquidaciones al vencimiento o diarias, respectivamente. Lo sorprendente es que dichas probabilidades de pérdidas más bajas, se dan para el supuesto de no realizar cobertura alguna.

   En el caso de cubrirse con el contado, las menores probabilidades de pérdidas, junto con las mayores ganancias esperadas, las ofrecen las coberturas dinámicas, y dentro de éstas, la de volatilidad móvil con tipo de interés variable y liquidación al vencimiento (un 35,90%).

   Las razones que argumentábamos para ello, son las siguientes:

   En primer lugar, por el futuro elegido como subyacente, el de primer vencimiento de la serie trimestral anual (ya que es el «tiempo» que se mantiene la cartera réplica, igual al plazo de la opción emitida -tres meses-), que es menos líquido que el de vencimiento más próximo (el mensual).

   En segundo lugar, porque al ser el futuro más volátil que el índice al contado[48], y recordando que la estrategia de cobertura *delta neutral* sólo nos protege de las fluctuaciones en el precio del subyacente, pero no de las variaciones de la volatilidad (efecto *vega*) o de la «curvatura» de la opción (efecto *gamma*)[49], ocurre que, si el futuro es más volátil, el efecto *vega* será mayor y los resultados basados sólo en una cobertura *delta neutral* serán peores.

12.4 Relacionadas con la propuesta de un modelo de alerta para la gestión del riesgo

1. *Debido a la imposibilidad práctica de mantener una cartera neutral a delta, gamma y vega a la vez, bien porque no existan en el mercado las opciones precisas para ello, o bien porque sea excesivamente caro a causa al reajuste diario y de los costes de transacción que conlleva; los emisores de opciones pueden optar por una estrategia de cobertura dinámica delta neutral vigilando regularmente el valor de los parámetros de riesgo y tomando alguna acción correctora o cerrando posiciones si se hacen excesivamente grandes*.

   En un mundo ideal, los operadores podrían reajustar teóricamente sus carteras con mucha frecuencia para mantener una *delta* cero, *gamma* cero, *vega* cero, etc. pero, en la práctica, esto no es posible. Cuando se gestiona una gran cartera institucional que depende de un único activo subyacente, los operadores suelen lograr una *delta neutral* al menos una vez al día operando con el activo

[48] Hay casi cuatro puntos porcentuales por encima de media.
[49] Estrategias que denominábamos *gamma neutral* y *vega neutral*.

subyacente pero, desgraciadamente, es más difícil conseguir una *gamma* y una *vega neutral* porque es muy complicado encontrar opciones u otros derivados, no relacionados linealmente, que puedan negociarse en el volumen necesario a precios competitivos. En la mayoría de los casos, lo que se hace es vigilar muy de cerca a *gamma* y a *vega*, y cuando estos parámetros se hacen muy grandes en valor absoluto, se toman medidas correctoras o se corta la negociación.

2. *Tomando como base la cobertura dinámica con delta neutral para volatilidad móvil y el análisis de filtros para la delta, las variaciones de gamma y la derivada de gamma modificada (en valor absoluto), hemos conseguido idear modelos de alerta para la gestión del riesgo, cuyo funcionamiento se ha contrastado en la práctica, y que suponen una herramienta de gran utilidad al alcance de los emisores de opciones para la gestión del riesgo de mercado*.

   Realmente, puede decirse que son dos los modelos de alerta que hemos construido: uno, basado en el análisis de filtros para *delta* y *gamma* (al que hemos llamado modelo 2), y otro, apoyado en un filtro para la derivada de *gamma*, al que hemos denominado «*gamma'* modificada» (modelo 3), y por el que nos hemos decantado ya que ha evidenciado una menor probabilidad de pérdidas en el período de diez años estudiado.

   Ambos modelos funcionan de manera similar mediante filtros que dan la voz de alerta, e indican cuando es conveniente cerrar las posiciones y no esperar hasta el vencimiento. En los dos se mantienen las posiciones abiertas mientras se tengan beneficios o pérdidas, siempre que no salte la alarma contemplada por el filtro para la *delta*, la variación de *gamma* o la derivada de *gamma* modificada. Es decir, permiten frenar las pérdidas cuando dichos filtros dan la voz de alarma, incluso ha quedado demostrado que las pérdidas podrían haber sido mayores, o no haber cerrado con beneficios, de no haberse hecho caso al filtro. Ambos modelos mantienen una correlación del 100% con el de cobertura dinámica, en el que se basan, pero mejoran sus resultados. Los dos son muy parejos, su diferencia radica en el parámetro que da la voz de alerta y pueden combinarse con un *stop* o límite de pérdidas que, al igual que el filtro, puede ser fijado por el emisor de opciones.

Resumiendo, concluimos con que existe evidencia empírica sobre las posibilidades de replicación de opciones sobre índices en el mercado español (IBEX-35), cuya utilización hubiera sido muy beneficiosa para el propio mercado, en aras a nivelar los precios de opciones sobrevaloradas a causa de las altas volatilidades fijadas por los emisores, las cuales, no se justifican según sus valores históricos. Dichos emisores, en vez de intentar «protegerse» del riesgo de mercado estableciendo volatilidades y primas altas, podrían hacerlo con modelos de alerta para la gestión del mismo como los aquí diseñados. Finalmente, hay que decir que el modelo de Black-Scholes funciona bien porque se puede replicar la opción haciendo arbitraje, pero «falla» en la *gamma* (se puede comprobar cómo, cuando sube el subyacente, la prima sube más rápido que la *delta* y, cuando baja el subyacente, la prima baja más rápido que la *delta*, y por eso se gana o se pierde). Al final, la situación de balance no da cero, pero debería ser próxima a cero. Y, no lo es, porque se está poniendo una volatilidad bastante alta. No obstante, para un período lo suficientemente largo, como el estudiado, podemos comprobar como, en el caso de la estrategia elegida (cobertura dinámica con volatilidad móvil y tipo de interés variable), el resultado de restar a la media de las ganancias (69,10 puntos), la media de las pérdidas (-68,96 puntos), si nos da una cantidad próxima a cero, exactamente, 0,14 puntos[50].

[50] Véase el cuadro 2.

13. Referencias bibliográficas

ARAGÓ, V.; CORREDOR, P. y SANTAMARÍA, R. (2003): «Transaction Cost, Arbitrage, and Volatility Spillover: a Note». Internacional *Review of Economics and Finance*, num. 12. Págs. 399-415.

ASAY, M. y EDELBERG, C. (1986): «Can a Dynamic Strategy Replicate the Returns on an Option?». *Journal of Futures Market*, núm. 6. Primavera. Págs. 63-70.

BLACK, F. y SCHOLES, M. (1972): «The Valuation of Option Contracts and a Test of Market Efficiency». *Journal of Finance*, Vol. 27. Mayo. Págs. 399-418.

BLACK, F. y SCHOLES, M. (1973): «The Pricing of Options and Corporate Liabilities». *Journal of Political Economy*, Vol. 81, núm. 3. Mayo-junio. Págs. 637-654.

BOOKSTABER, R. M. (1993): «Options Replication Technology» en SCHWARTZ, R. J. y SMITH, C. F. (1993): *Advanced Strategies in Financial Risks Management*. New York Institute of Finance. Nueva York. Págs. 163-180.

BOOKSTABER, R. M. y LANGSAM, J. A. (1988): «Portfolio Insurance Trading Rules». *Journal of Futures Markets*, núm. 8. Págs. 15-31.

BOYLE, P. P. y EMANUEL, D. (1980): «Discretely Adjusted Option Hedges». *Journal of Financial Economics*, núm. 8. Págs. 259-282.

BOYLE, P. P. y VORST, T. (1992): «Option Replication in Discrete Time with Transactions Costs». *Journal of Finance*, núm. 47. Págs. 271-293.

BRAILSFORD, T. J. y FAFF, R. W. (1996): «An Evaluation of Volatility Forecasting Techniques». *Journal of Banking and Finance*, num. 20. Págs. 419-439.

BREALEY, R. A. y MYERS, S. C. (2003): *Principios de Finanzas Corporativas*. 7ª Edición. McGraw-Hill. Madrid. Págs. 416-418.

CAVALLO, L. y MAMMOLA, P. (2000): «Empirical Tests of Efficiency of the Italian Index Options Markets». *Journal of Empirical Finance*, Vol. 7, núm. 2. Agosto. Págs. 173-193.

CHAUVEAU, T. Y GATFAOUI, H. (2002): «Systematic Risk and Idiosyncratic Risk: A useful Distinction for Valuing European Options». *Journal of Multinational Financial Management*, Vol. 12, núm. 4. Octubre-diciembre. Págs. 305-321.

CHIRAS, D. y MANASTER, S. (1978): «The Information Content of Option Prices and a Test of Market Efficiency». *Journal of Financial Economics*, Vol. 6. Septiembre. Págs. 213-234.

CORIELLI, F. y PENATI, A. (1996): «Long-run Equity Risk and Dynamic Trading Strategies: A Simulation Exercise for the Italian Stock Market». *Ricerche Economiche*, Vol. 50, núm. 1. Marzo. Págs. 27-56.

CORREDOR, P.; LECHÓN, P. y SANTAMARÍA, R. (2002): «Is it Possible to Obtain Profits using Naive Volatility Models?». *Derivatives Use, Trading & Regulation*, Vol. 8, num. 1. Págs. 13-32.

CORREDOR, P. y SANTAMARÍA, R. (2004): «Forecasting Volatility in the Spanish Option Market». *Applied Financial Economics*, num. 14. Págs. 1-11.

COX, J. C. y RUBINSTEIN, M. (1985): *Options Markets*. Prentice Hall. New Jersey. Págs. 256 y ss.

DIMSON, E. y MARSH, P. (1990): «Volatility Forecasting without Data-Snooping». *Journal of Business, Economics and Statistics*, num. 13. Págs. 253-264.

DUFIE, D. (1998): «Black, Merton and Scholes - Their Central Contributions to Economics». *The Scandinavian Journal of Economics*, Vol. 100, núm. 2. Págs. 411-423.

EDIRISINGHE, C.; NAIK, V. y UPPAL, R. (1993): «Optimal replication of Options with Transaction Costs and Trading Restrictions». *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, núm. 28. Págs. 117-138.

ETZIONI, E. S. (1986): «Rebalance Disciplines for Portfolio Insurance». *Journal of Portfolio Insurance*, núm. 13. Otoño. Págs. 59-62.

FERNÁNDEZ, P. (1996): *Opciones, Futuros e Instrumentos Derivados*. Deusto. Bilbao. Págs. 330-336.

FERNÁNDEZ, P. (2002): «Valoración de Opciones Reales: Problemas y errores». *Bolsa de Madrid*, núm. 106. Febrero. Págs. 32-37.

FIGLEWSKI, S. (1989): «Options Arbitrage in Imperfect Markets». *Journal of Finance*, núm. 44. Diciembre. Págs. 1289-1311.

FIORENTINI, G.; LEÓN, A. y RUBIO, G. (1999): «La Estimación Diaria de la Prima de Riesgo de la Volatilidad». *Revista Española de Financiación y Contabilidad*, num. 100. Págs. 89-110.

GALAI, D. (1977): «Tests of Market Efficiency and the Chicago Board Options Exchange». *Journal of Business*, Vol. 50. Abril. Págs. 167-197.

GALAI, D. (1983): «The Components of the Return from Hedging Options against Stocks». *Journal of Business*, Vol. 56. Enero. Págs. 45-54.

GALAI, D. y MASULIS, R. W. (1976): «The Option Pricing Model and the Risk Factor of Stock». *Journal of Financial Economics*, núm. 3. Enero-marzo. Págs. 53-82.

GARCÍA MACHADO, J. J. y DE LA VEGA JIMÉNEZ, J. J. (1997): «La Volatilidad en el Mercado Bursátil Español» en V Foro de Finanzas (1997): Nuevos Desarrollos Financieros. Asociación Española de Finanzas (AEFIN). Málaga. Págs. 163-171.

GARMAN, M. (1976): «An Algebra for Evaluating Hedge Portfolios». *Journal of Financial Economics*, Vol. 3. Octubre. Págs. 403-427.

GERBER, H. U. y SHIU, E. S. W. (1995): «Actuarial Approach to Option Pricing». *Mathematics and Economics*, Vol. 16, núm. 3. Julio. Pág. 288.

GERBER, H. U. y SHIU, E. S. W. (1996): «Actuarial Bridges to Dynamic Hedging and Option Pricing». *Mathematics and Economics*, Vol. 18, núm. 3. Noviembre. Págs. 183-218.

GÓMEZ-BEZARES, F. (2000): *Gestión de Carteras*. 2ª Edición. Desclée de Brouwer. Bilbao.

GRANIER, B. (1988): «Delta, Gamma: Faut-il Grec pour Comprendre lés Óptions?». *Marchés et Techniques Financieres*. Marzo-abril. Págs. 43-44.

HODGES, S. y NEUBERGER, A. (1989): «Optimal Replication of Contingent Claims under Transactions Costs». *Review of Futures Markets*, núm. 8. Págs. 222-242.

HULL, J. C. (2002): *Introducción a los Mercados de Futuros y Opciones*. 4ª Edición. Prentice Hall. Madrid. Págs. 272-273, 276, 337-338, 347-348, 355, 357-360 y 363-364..

HULL, J. C. y WHITE, A. (1987): «Hedging the Risks from Writing Foreign Currency Options». *Journal of International Money and Finance*, núm. 6. Junio. Págs. 131-152.

HULL, J. C. y WHITE, A. (1988): «An Analysis of the Bias in Option Pricing Caused by Stochastic Volatility». *Advances in Futures and Options Research*, núm. 3. Págs. 27-61.

INGERSOLL, J. E. (1976): «A Theoretical and Empirical Investigation of the Dual Purpose Funds: An Application of Contingent-Claims Analysis». *Journal of Financial Economics*, núm. 3. Enero-marzo. Págs. 83-124.

INGERSOLL, J. E. (1977): «A Contingent-Claims Valuation of Convertible Securities». *Journal of Financial Economics*, núm. 4. Mayo. Págs. 289-322.

JACKWERTH, J. C. y RUBINSTEIN, M. (1996): «Recovering Probability Distributions from Option Prices». *Journal of Finance*, Vol. 51. Diciembre. Págs. 1611-1631.

KLEMKOSKY, R. C. y RESNICK, B. G. (1979): «Put-Call Parity and Market Efficiency». *Journal of Finance*, Vol. 34. Diciembre. Págs. 1141-1155.

LAMOTHE FERNÁNDEZ, P. y PÉREZ SOMALO, M. (2003): *Opciones Financieras y Productos Estructurados*. 2ª Edición. McGraw-Hill. Madrid. Págs. 60, 105, 136-137, 143, 152, 159-160, 163-167 y 175-177..

LAUTERBACH, B. y SCHULTZ, P. (1990): «Pricing Warrants: An Empirical Study of the Black-Scholes Model and its Alternatives». *Journal of Finance*, Vol. 4, núm. 4. Septiembre. Págs. 1181-1210.

LELAND, H. E. (1980): «Who Should Buy Portfolio Insurance?». *Journal of Finance*, núm. 35. Mayo. Págs. 581-594.

LELAND, H. E. (1985): «Option Pricing and Replication with Transactions Costs». *Journal of Finance*, núm. 40. Diciembre. Págs. 1283-1301.

LORENZO ALEGRÍA, R. Mª. (1996): «La Volatilidad: Modelización en la Valoración de Opciones y Estimadores». *Investigaciones Europeas de Dirección y Economía de la Empresa*, Vol. 2, num. 1. Págs. 59-83.

LORING, J. (2000): *Opciones y Futuros.* Descleé de Brouwer. Bilbao. Pág. 340.

MACBETH, J. D. y MERVILLE, L. J. (1979): «An Empirical Examination of the Black-Scholes Call Option Pricing Model». *Journal of Finance*, Vol. 34. Diciembre. Págs. 1173-1186.

MARTÍNEZ ABASCAL, E. (1993): *Futuros y Opciones en la Gestión de Carteras*. McGraw-Hill. Madrid. Pág. 70.

MELINO, A. y TURNBULL, S. M. (1995): «Misspecification and the Pricing and Hedging of Long-term Foreign Currency Options». *Journal of International Money and Finance*, Vol. 14, núm. 3. Junio. Págs. 373-393.

MERTON, R. C. (1974): «On the Pricing of Corporate Debt: The Risk Structure of Interest Rates». *Journal of Finance*, núm. 29. Mayo. Págs. 449-470.

MODIGLIANI, F. y MILLER, M. H. (1958): «The Cost of Capital, Corporation Finance, and Theory of Investment». *The American Economic Review*, Vol. 48, núm. 3. Junio. Págs. 261 y ss.

MONOYIOS, M. (2004): «Option Pricing with Transaction Costs using a Markov Chain Approximation». *Journal of Economic Dynamics and Control*, Vol. 28, núm. 5. Febrero. Págs. 889-913.

MYERS, S. (1977): «Determinants of Corporate Borrowing». *Journal of Financial Economics*. Noviembre. Págs. 147-175.

NATENBERG, S. (1994): *Options, Volatility and Pricing. Advanced Trading, Strategies and Techniques*. 2ª Edición. McGraw-Hill. Chicago.

PELSSER, A. (2003): «Pricing and Hedging Guaranteed Annuity Options via Static Option Replication». *Mathematics and Economics*, Vol. 33, núm. 2. Octubre. Págs. 283-296.

PERRAKIS, S. y LEFOLL, J. (2000): «Option Pricing and Replication with Transaction Cost and Dividends». *Journal of Economic Dynamics and Control*, núm. 24. Págs. 1527-1561.

ROBLES FERNÁNDEZ, Mª. D. (1999): «Comparación de Medidas de Volatilidad Alternativas: Un Criterio basado en los Beneficios» en VII Foro de Finanzas. Valencia. Págs. 1-44.

ROSS, S. A. (1977): «The Determination of Financial Structure: The Incentive Signalling Approach». *Bell Journal of Economics*, núm. 8. Págs. 23-40.

RUBINSTEIN, M. (1981): «Alternative Paths for Portfolio Insurance». *Financial Analysts Journal*, núm. 41. Julio-agosto. Págs. 42-52.

RUBINSTEIN, M. (1985): «Nonparametric Tests of Alternative Option Pricing Model Using All Reported Trades and Quotes on the 30 Most Active CBOE Option Classes from August 23, 1976 through August 31, 1978». *Journal of Finance*, Vol. 40. Junio. Págs. 455-480.

RUBINSTEIN, M. (1994): «Implied Binomial Trees». *Journal of Finance*, Vol. 49, núm. 3. Julio. Págs. 771-818.

RUBINSTEIN, M. y LELAND, H. E. (1981): «Replicating Options with Positions in Stock and Cash». *Financial Analysis Journal*, núm. 37. Julio-agosto. Págs. 63-72.

SANTAMARÍA, R. (2003): «Modelos para la Predicción de la Volatilidad. Nuevas Carreras y más Caballos». *Estrategia Financiera*, num. 199. Págs. 38-46.

SHASTRI, K. (1981): *Two Essays Concerning the Effects of Firm Investment/Financing Decisions on Security Values: An Option Pricing Approach*. Tesis Doctoral. Ph. D. UCLA.

TILLEY, J. A. y LATAINER, G. O. (1985): «A Synthetic Option Framework for Asset Allocation». *Financial Analysis Journal*, núm. 41. Mayo-Junio. Págs. 32-41.

TRIPPI, R. R. (1977): «A Test of Option Efficiency Using a Random Walk Valuation». *Journal of Economics and Business*, Vol. 29. Invierno. Págs. 92-101.

CNMV Comisión Nacional del Mercado de Valores

www.cnmv.es

Oficina en Madrid
Paseo de la Castellana 19
28046 Madrid
Tel.: 91 585 1500

Oficina en Barcelona
Passeig de Grácia 19
08007 Barcelona
Tel.: 93 304 7300

ISBN 84-87870-48-1
9 788487 870484