

UN MODELO DE ALERTA PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO EN LA EMISIÓN DE OPCIONES *CALL* SOBRE EL IBEX-35

Juan José García Machado, machado@uhu.es, Universidad de Huelva

Juan José de la Vega Jiménez, vega@uhu.es, Universidad de Huelva

Juan Carlos Roca Pulido, jcroca@uhu.es, Universidad de Huelva

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 el grado de exposición al riesgo de los emisores de opciones *call* sobre el índice IBEX-35, intentando diseñar un modelo que lo recoja, e idear un sistema o indicador que dé la voz de alerta cuando el riesgo sea grande. Tras la simulación por ordenador de los resultados de pérdidas y ganancias de las distintas estrategias de cobertura, con ayuda de funciones matemáticas primarias y transformadas y de un análisis de filtros para los parámetros *delta*, *gamma* y *gamma modificada*, proponemos, y contrastamos, un modelo de alerta de utilidad, que sirve como herramienta de gestión del riesgo a los emisores de opciones, basado en una estrategia de cobertura dinámica con cartera réplica.

PALABRAS CLAVE: Riesgo de mercado, gestión del riesgo, replicación de opciones, carteras réplicas, coberturas neutrales.

A MODEL FOR RISK ALERT IN THE MANAGEMENT OF CALL OPTION ISSUES ON THE IBEX-35 SPANISH INDEX

ABSTRACT

This paper analyses the possibilities of forming replicating portfolio and establishing a hedge strategy based on *neutral delta*. The idea is based on a study of the degree of risk to which the issuers of call options on the IBEX-35 stock index are exposed. The goal is to design a model that alerts issuers to an increase in risk. Several useful indicators based on this model are tested. After a computer simulation of gains and losses of different hedge strategies, with primary and transformed mathematics equations, and a filter analysis to *delta*, *gamma* and *modified gamma* parameters, we compare the results obtained. Finally, we recommend a valuable tool for managing the risk of call options issues as a dynamic hedge strategy with replicating portfolio.

KEYWORDS: Market risk, risk management, replicating options, replicating portfolio, *neutral delta* strategies.

UN MODELO DE ALERTA PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO EN LA EMISIÓN DE OPCIONES *CALL* SOBRE EL IBEX-35

1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo se encuadra en un proyecto de investigación más amplio del que forma parte y cuya realización ha sido posible gracias a la colaboración de la CNMV, la Bolsa de Madrid y la Sociedad de Bolsas. La idea del mismo 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 todos los posibles. En éste, se recoge la última parte de dicha investigación, que hemos intentado resumir y sistematizar, y complementa a otros dos titulados «*Replicating Options in Spanish Financial Markets*¹» y «*Arbitrage, Volatility, and Pricing Options on IBEX-35 Spanish Index: An Empirical Examination*²», por lo que no vamos a repetir los objetivos, hipótesis, metodología, itinerario de la investigación, *background*, y otros aspectos tratados en los mismos, y que son aplicables a éste trabajo, pues todos parten del mismo «tronco común».

Con lo analizado en los referidos *papers*, 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 los siguientes epígrafes.

2. DISEÑO DE UN MODELO DE GESTIÓN DEL RIESGO

Para comenzar, basándonos en la información contenida en el trabajo dedicado a la replicación de opciones (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 comprensión del modelo, lo iremos comentando según los pasos que hemos seguido en su construcción.

¹ Dicho trabajo fue presentado en el XVI Congreso Internacional de la AEDEM celebrado en Cracovia (Polonia) del 3 al 5 de septiembre de 2007. Véase: García Machado *et al.* [2007: 511-526]

² Presentado en el XVII Congreso Internacional de la AEDEM celebrado en Salvador de Bahía (Brasil) del 2 al 4 de septiembre de 2008. Véase: García Machado *et al.* [2008: 69-83]

2.1. Variables de partida

La tabla 1 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 «d1» 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 móvil³.

TABLA 1

MODELO DE ALERTA PARA OPCIONES CALL A 3 MESES SOBRE EL IBEX-35 CON VOLATILIDAD MÓVIL (PUNTO DE VISTA DEL EMISOR)								
		Móvil	t					DINÁMICA II V. MÓVIL
Fecha	Ibex-35 Ctdo.	Volatilidad 3m	Días/365	d1	Prima Tca.	Delta	Gamma	Situac. Balance
22-jun-92	2643,92	11,48%	0,24109589041	0,8344603625	134,79	0,80	0,0019	0,00
23-jun-92	2620,14	11,52%	0,23835616438	0,669778594237	115,66	0,75	0,0022	-0,53
24-jun-92	2575,38	12,03%	0,23561643836	0,346279180414	85,99	0,64	0,0025	-5,01
25-jun-92	2591,78	12,00%	0,23287671233	0,453069679114	95,79	0,67	0,0024	-4,92
26-jun-92	2609,65	12,02%	0,2301369863	0,568202213375	107,44	0,72	0,0023	-5,09
29-jun-92	2564,52	12,49%	0,22191780822	0,245110062326	77,38	0,60	0,0026	-7,91
30-jun-92	2553,82	12,51%	0,21917808219	0,169025700344	70,43	0,57	0,0026	-7,85
01-jul-92	2521,46	12,77%	0,21643835616	-0,05235587332	53,92	0,48	0,0027	-10,18
02-jul-92	2523,15	12,63%	0,21369863014	-0,04806457991	53,37	0,48	0,0027	-9,21
03-jul-92	2556,27	12,89%	0,21095890411	-0,168152164233	71,15	0,57	0,0026	-11,48
06-jul-92	2528,53	12,98%	0,20273972603	-0,03480098013	54,44	0,49	0,0027	-10,97
07-jul-92	2527,16	12,94%	0,2	-0,05044468397	52,82	0,48	0,0027	-10,43
08-jul-92	2496,83	13,16%	0,19726027397	-0,26160511106	39,76	0,40	0,0026	-12,33
09-jul-92	2523,2	13,10%	0,19452054795	-0,08906407487	50,12	0,46	0,0027	-12,56
10-jul-92	2518,32	13,10%	0,19178082192	-0,12953417785	47,13	0,45	0,0027	-12,23
13-jul-92	2520,65	12,75%	0,18356164384	-0,13973998776	44,41	0,44	0,0029	-8,84
14-jul-92	2506,15	12,67%	0,18082191781	-0,25466712919	37,26	0,40	0,0029	-8,52
15-jul-92	2459,4	13,19%	0,17808219178	-0,58915968309	22,84	0,28	0,0025	-13,11
16-jul-92	2427,63	13,24%	0,17534246575	-0,83146037613	14,90	0,20	0,0021	-14,23
17-jul-92	2361,77	14,27%	0,17260273973	-1,24107715048	7,04	0,11	0,0013	-19,90
20-jul-92	2291,09	15,51%	0,16438356164	-1,66256891348	2,82	0,05	0,0007	-23,36
21-jul-92	2325,19	15,74%	0,16164383562	-1,42148762981	5,02	0,08	0,0010	-23,96
22-jul-92	2273,45	16,25%	0,15890410959	-1,73962994304	2,39	0,04	0,0006	-25,42
23-jul-92	2252,74	16,35%	0,15616438356	-1,88559165797	1,63	0,03	0,0005	-25,55
24-jul-92	2246,06	16,35%	0,15342465753	-1,95308624028	1,35	0,03	0,0004	-25,50
27-jul-92	2227,15	16,44%	0,14520547945	-2,1496621853	0,77	0,02	0,0003	-25,43
28-jul-92	2222,87	16,44%	0,14246575342	-2,20745916976	0,65	0,01	0,0003	-25,39
29-jul-92	2279,2	17,16%	0,1397260274	-1,74831574447	2,32	0,04	0,0006	-26,32
30-jul-92	2271,31	17,18%	0,13698630137	-1,82459767393	1,89	0,03	0,0005	-26,25
31-jul-92	2289,85	17,25%	0,13424657534	-1,71150613761	2,52	0,04	0,0006	-26,28
03-ago-92	2289,59	17,24%	0,12602739726	-1,78899894622	2,01	0,04	0,0006	-25,83
04-ago-92	2310,37	17,30%	0,12328767123	-1,65972665788	2,77	0,05	0,0007	-25,86
05-ago-92	2309,42	17,09%	0,12054794521	-1,71374322672	2,37	0,04	0,0007	-25,56
06-ago-92	2304,99	16,77%	0,11780821918	-1,80712700938	1,82	0,04	0,0006	-25,25
07-ago-92	2284,61	16,84%	0,11506849315	-1,98276913626	1,14	0,02	0,0004	-25,33

2.2. 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

³ La que habíamos seleccionado porque era la que presentaba los mejores resultados de todas las carteras réplicas.

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:

$$\Gamma_{(-1)} = (\Gamma_t - \Gamma_{t-1}) * 1000$$

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 buscando. Así, hicimos:

$$\Gamma_{transf} = \ln \frac{\Gamma_t}{\Gamma_{t-1}}$$

Y, probamos también con la función exponencial:

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

Para estas dos variables transformadas, las correlaciones con los resultados de pérdidas y ganancias eran también muy bajas, 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.

2.3. 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 móvil⁴ es ya del 46,70%

⁴ 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.

(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 tornarían en ganancias o de que fueran menores. En la figura 1 y en la tabla 2 ilustramos los resultados de esta estrategia recogida en el modelo 1.

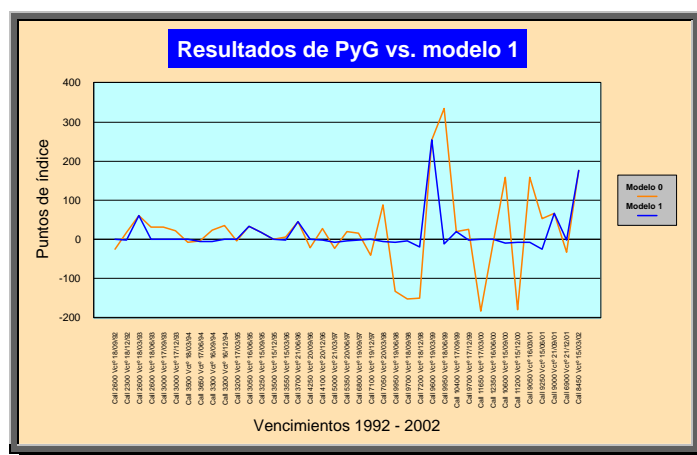


Figura 1. Comparativa de resultados de PyG y del modelo 1.

TABLA 2

ESTADÍSTICOS DE LOS RESULTADOS DE LOS DIFERENTES MODELOS (PUNTO DE VISTA DEL EMISOR)			
	C. Dinámica 3m	C. Dinámica 11 diaria	Aversión riesgo
Parámetros	Modelo 0	Modelo 0 bis	Modelo 1
Nº de Resultados	39	2444	39
Media Py G	19,54	6,12	13,92
Mediana	19,30	4,96	-0,54
Varianza	10.435,07	5.672,39	2.624,55
Desviación Típica	102,15	75,32	51,23
CV = Rcto/Desv. Tip	0,19	0,08	0,27
VAR al 90% (percentil 10)	-136,47	-73,75	-22,76
Prob. Pérdidas (P y G<0)	35,90%	39,89%	79,49%
CV' = [1- P(P y G<0)]/VAR	-0,47%	-0,82%	-0,90%

2.4. 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 aplicable⁵, 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*⁶.

⁵ Estudiada en trabajos anteriores, y habiéndonos decantado por la volatilidad histórica móvil a tres meses del índice IBEX-35 al contado.

⁶ Véase la utilización de los filtros como indicadores para recomponer una cartera réplica con menor frecuencia que la diaria en: FERNÁNDEZ, P. [1996]: *Op. Cit.* Págs. 333-334.

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

§ 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.

§ En caso contrario, si en el día anterior se produjeron pérdidas, se aplicarán, para el día en curso, los siguientes filtros 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, aparecerán las posiciones cerradas, si ya fueron cerradas con anterioridad o si los filtros nos indican que las cerremos ese día.

Tras probar con diferentes posibilidades: sólo un filtro para *delta*, uno sólo para *gamma*, una combinación de dos filtros, 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 la tabla 3 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*.

TABLA 3

Parámetros	MODELO 2: Simulaciones según diferentes filtros						
	Delta < 0,2	Delta < 0,3	Delta < 0,5	Delta < 0,6	0,4 < Delta < 0,6	0,2 > Delta > 0,8	0,2 > Delta > 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). En la figura 2 y en la tabla 4 se recogen los resultados de esta estrategia junto los ya vistos del modelo 0 y del modelo 1.

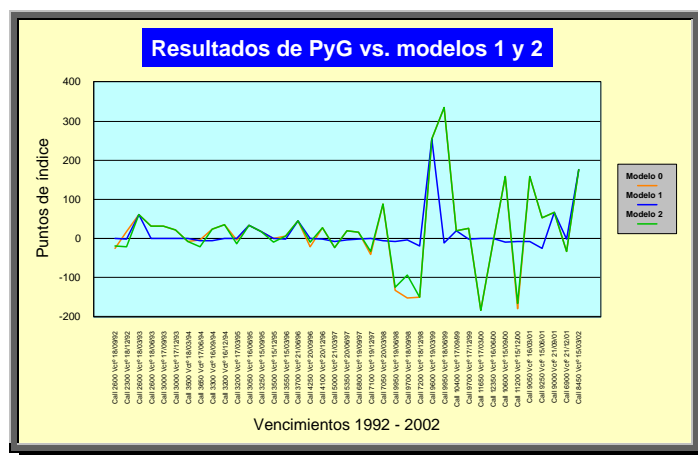


Figura 2. Comparativa de resultados de PyG de los modelos 1 y 2.

TABLA 4

ESTADÍSTICOS DE LOS RESULTADOS DE LOS DIFERENTES MODELOS (PUNTO DE VISTA DEL EMISOR)					
	C. Dinámica II 3m		C. Dinámica II diaria	Aversión riesgo	D < 0,2 y G > 0,15
Parámetros	Modelo 0	Modelo 0 bis	Modelo 1	Modelo 2	
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%	

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).

2.5. 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 pérdidas⁷. Con *deltas* intermedias, podía ocurrir cualquier cosa, y con *deltas*

⁷ 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).

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 ver 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 2.2, 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.

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 tercera⁸. 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:

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

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 punto⁹:

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

Finalmente, d_1' sería la derivada de d_1 :

$$d_1' = \frac{1}{S * \sigma * \sqrt{t}}$$

Dado que los valores de γ' son infinitesimales, decidimos crear una transformada de ésta, denominada «*gamma*' modificada», multiplicando por una constante de valor 100.000¹⁰ y tomando su valor absoluto:

$$\Gamma'_{\text{modif}} = \text{ABS}(\Gamma') * 100.000$$

⁸ 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.

⁹ Recordemos que:

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

¹⁰ 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.

La idea es la ya planteada en el apartado 2.2, 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%).

La tabla 5 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.

TABLA 5

Derivada d1	2ª Derivada N(d1)	Derivada de	G' Modif	DINÁMICA II V. MÓVIL	Variac. Gamma' Modif. < 0,02		
					Situac. Balance	Liquidar Posiciones?	P y G
0,006709964489	-0,001889841716	-0,000013	1,339556	0,00	No		
0,006786220579	-0,002163341366	-0,000016	1,550657	-0,53	No	No	-0,53
0,006652021493	-0,002499342316	-0,000018	1,759615	-5,01	No	No	-5,01
0,006665139699	-0,00239963421	-0,000017	1,691976	-4,92	No	No	-4,92
0,006646433074	-0,002256274316	-0,000016	1,586077	-5,09	No	No	-5,09
0,00662553893	-0,002564987773	-0,000018	1,799461	-7,91	No	No	-7,91
0,006683729777	-0,002628603731	-0,000019	1,859816	-7,85	No	No	-7,85
0,006677844916	-0,002660425883	-0,000019	1,882102	-10,18	No	No	-10,18
0,006788306008	-0,002705015905	-0,000019	1,943455	-9,21	No	No	-9,21
0,00660663697	-0,002598667041	-0,000018	1,818504	-11,48	No	No	-11,48
0,006766763007	-0,002697913637	-0,000019	1,932313	-10,97	No	No	-10,97
0,006839391314	-0,002725052986	-0,000020	1,971601	-10,43	No	No	-10,43
0,006854436272	-0,002642535633	-0,000019	1,917145	-12,33	No	No	-12,33
0,006861007338	-0,002726311332	-0,000020	1,978574	-12,56	No	No	-12,56
0,00692263992	-0,002738660969	-0,000020	2,004626	-12,23	No	No	-12,23
0,007259680631	-0,002868053775	-0,000022	2,195898	-8,84	No	No	-8,84
0,007403948489	-0,002859501277	-0,000022	2,231259	-8,52	No	No	-8,52
0,007306627759	-0,002450491825	-0,000019	1,890121	-13,11	No	No	-13,11
0,007432566065	-0,002098597895	-0,000016	1,646243	-14,23	No	No	-14,23
0,007144172241	-0,001319459487	-0,000010	0,998512	-19,90	No	No	-19,90
0,006942922501	-0,000695389309	-0,000005	0,513155	-23,36	No	No	-23,36
0,006796336484	-0,000987214084	-0,000007	0,713401	-23,96	No	No	-23,96
0,006789208493	-0,000596449717	-0,000004	0,431178	-25,42	No	No	-25,42
0,006871050136	-0,000463314342	-0,000003	0,338912	-25,55	No	No	-25,55
0,006950336078	-0,000411716016	-0,000003	0,304487	-25,50	No	No	-25,50
0,007167915922	-0,000283697332	-0,000002	0,216090	-25,43	No	No	-25,43
0,007250120633	-0,000253001865	-0,000002	0,194811	-25,39	No	No	-25,39
0,006839283002	-0,000591815941	-0,000004	0,430726	-26,32	No	No	-26,32
0,006925652282	-0,000522942576	-0,000004	0,385196	-26,25	No	No	-26,25
0,006908332394	-0,000637094753	-0,000005	0,467949	-26,28	No	No	-26,28
0,007137429541	-0,000574736017	-0,000004	0,435316	-25,83	No	No	-25,83
0,007126837024	-0,000717187977	-0,000005	0,542170	-25,86	No	No	-25,86
0,007299470794	-0,000670591845	-0,000005	0,518534	-25,56	No	No	-25,56
0,007538821661	-0,000587589528	-0,000005	0,468465	-25,25	No	No	-25,25
0,007663710673	-0,000428215387	-0,000003	0,346915	-25,33	No	No	-25,33
0,008037218714	-0,000235668738	-0,000002	0,199847	-25,30	No	No	-25,30
0,008053802859	-0,00009726639	-0,000001	0,084832	-25,56	No	No	-25,56
0,008137343626	-0,000040564836	-0,000000	0,034881	-25,65	No	No	-25,65
0,00826096858	-0,000034740214	-0,000000	0,030303	-25,65	No	No	-25,65
0,008184643185	-0,000064571272	-0,000001	0,055792	-25,67	No	No	-25,67
0,00845447649	-0,000069811919	-0,000001	0,062184	-25,64	No	No	-25,64
0,008610432487	-0,000055383854	-0,000001	0,050196	-25,64	No	No	-25,64
0,008766347651	-0,000043701955	-0,000000	0,040293	-25,64	No	No	-25,64
0,008911297492	-0,000042288567	-0,000000	0,039598	-25,63	No	No	-25,63
0,00895024555	-0,000061264475	-0,000001	0,057581	-25,64	No	No	-25,64
0,009492594941	-0,000015695603	-0,000000	0,015614	-25,67	No	No	-25,67
0,009732474308	-0,000006200898	-0,000000	0,006320	-25,68	Sí	Sí	-25,67
0,010012292081	-0,000001988029	-0,000000	0,002083	-25,69	Sí	Sí	-25,67

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

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

Gamma' modificada < 2%

- 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 la tabla 6, recogemos los resultados de diferentes filtros para γ modificada con los que hemos probado en este modelo 3, y demuestra porqué nos hemos decantado por un filtro del 2%.

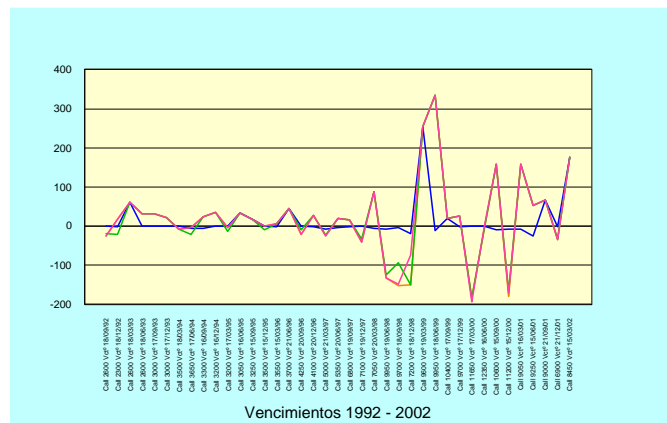
TABLA 6

Parámetros	MODELO 3: Simulaciones según diferentes filtros						
	G Modif < 0,01	G Modif < 0,02	G Modif > 0,01	G Modif < 0,05	G Modif > 0,05	G Modif < 0,1	G Modif > 0,1
Nº de Resultados	39	39	39	39	39	39	39
Media Py 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 (Py G<0)	35,90%	35,90%	79,49%	48,72%	69,23%	53,85%	66,67%
CV' = [1- P(Py 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 γ modificada menor del 2%. 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 la tabla 7 y en la figura 3 se recogen los resultados de esta estrategia junto con los ya vistos de los modelos 0,1 y 2.

TABLA 7

ESTADÍSTICOS DE LOS RESULTADOS DE LOS DIFERENTES MODELOS (PUNTO DE VISTA DEL EMISOR)					
	C. Dinámica II 3m	C. Dinámica II diaria	Aversión riesgo	D < 0,2 y G > 0,15	G' Modif < 0,02
Parámetros	Modelo 0	Modelo 0 bis	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
Nº de Resultados	39	2444	39	39	39
Media Py 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 (Py G<0)	35,90%	39,89%	79,49%	41,03%	35,90%
CV' = [1- P(Py G<0)]/VAR	-0,47%	-0,82%	-0,90%	-0,33%	-0,35%



3. 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, realizamos 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 la tiene «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 ese precio¹¹. 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).

La figura 4 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).

¹¹ 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).

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 la tabla 9, junto con los de no efectuar cobertura alguna, bien a precio teórico, o bien a precio de mercado.

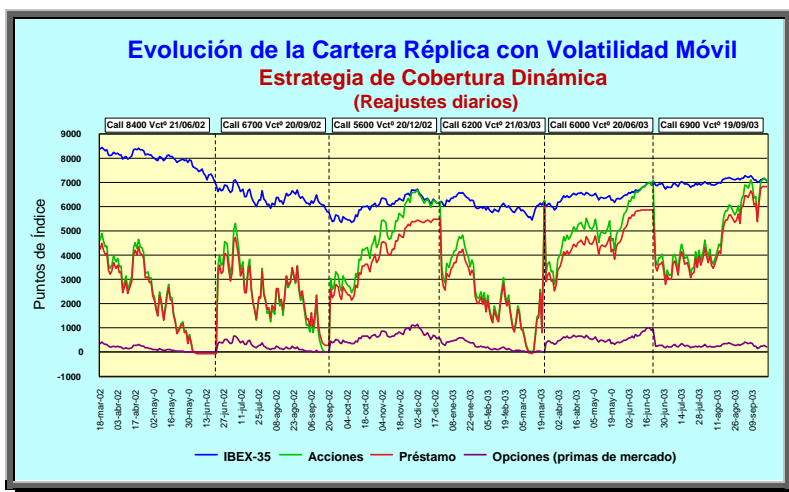


Figura 4. Evolución de las carteras réplicas, IBEX-35 y primas de mercado.

TABLA 9

RESULTADOS DE PÉRDIDAS Y GANANCIAS SEGÚN LOS DIFERENTES MODELOS (PUNTO DE VISTA DEL EMISOR)						
Opción	SIN COBERTURA		Modelo 0			
	P y G Tca.	P y G Mcd.	C. DINÁMICA II	MODELO 1	MODELO 2	MODELO 3
Call 8400 Vctº 21/06/02	426,09	369,00	51,46	-23,22	51,46	51,46
Call 6700 Vctº 20/09/02	285,75	343,00	-301,65	-21,14	-296,50	-299,59
Call 5600 Vctº 20/12/02	-132,42	-113,00	128,02	-37,27	128,02	128,02
Call 6200 Vctº 21/03/03	369,65	376,00	73,01	-6,35	73,01	73,01
Call 6000 Vctº 20/06/03	-716,73	-593,00	211,72	-33,14	211,72	211,72
Call 6900 Vctº 19/09/03	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%

4. SÍNTESIS Y CONCLUSIONES

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. No obstante, como podemos 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.

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.

BIBLIOGRAFÍA

- ALIPRANTIS, C. D.; MONTEIRO, P. K. y TOURKY, R. [2003]: «Non-Marketed Options, Non-Existence of Equilibria, and Non-Linear Prices». *Journal of Economic Theory*.
- ARAGÓ, V.; CORREDOR, P. y SANTAMARÍA, R. [2003]: «Transaction Cost, Arbitrage, and Volatility Spillover: a Note». *Internacional Review of Economics and Finance*, nº 12.
- ASAY, M. y EDELBERG, C. [1986]: «Can a Dynamic Strategy Replicate the Returns on an Option?». *Journal of Futures Market*, nº 6. Primavera.
- BLACK, F. y SCHOLES, M. [1972]: «The Valuation of Option Contracts and a Test of Market Efficiency». *Journal of Finance*, Vol. 27. Mayo.
- BLACK, F. y SCHOLES, M. [1973]: «The Pricing of Options and Corporate Liabilities». *Journal of Political Economy*, Vol. 81, nº 3. Mayo-junio.

- 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.
- BOOKSTABER, R. M. y LANGSAM, J. A. [1988]: «Portfolio Insurance Trading Rules». *Journal of Futures Markets*, nº 8.
- BOYLE, P. P. y EMANUEL, D. [1980]: «Discretely Adjusted Option Hedges». *Journal of Financial Economics*, nº 8.
- BOYLE, P. P. y VORST, T. [1992]: «Option Replication in Discrete Time with Transactions Costs». *Journal of Finance*, nº 47.
- BRAILSFORD, T. J. y FAFF, R. W. [1996]: «An Evaluation of Volatility Forecasting Techniques». *Journal of Banking and Finance*, nº 20.
- CAVALLO, L. y MAMMOLA, P. [2000]: «Empirical Tests of Efficiency of the Italian Index Options Markets». *Journal of Empirical Finance*, Vol. 7, nº 2. Agosto.
- 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, nº 4. Octubre-diciembre.
- 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.
- 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, nº 1. Marzo.
- CORREDOR, P. y SANTAMARÍA, R. [2004]: «Forecasting Volatility in the Spanish Option Market». *Applied Financial Economics*, nº 14.
- CORREDOR, P.; LECHÓN, P. y SANTAMARÍA, R. [2002]: «Is it Possible to Obtain Profits using Naive Volatility Models?». *Derivatives Use, Trading & Regulation*, Vol. 8, nº 1.
- DIMSON, E. y MARSH, P. [1990]: «Volatility Forecasting without Data-Snooping». *Journal of Business, Economics and Statistics*, nº 13.
- DUFIE, D. [1998]: «Black, Merton and Scholes - Their Central Contributions to Economics». *The Scandinavian Journal of Economics*, Vol. 100, nº 2.
- EDIRISINGHE, C.; NAIK, V. y UPPAL, R. [1993]: «Optimal replication of Options with Transaction Costs and Trading Restrictions». *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, nº 28.
- ETZIONI, E. S. [1986]: «Rebalance Disciplines for Portfolio Insurance». *Journal of Portfolio Insurance*, nº 13. Otoño.
- FERNÁNDEZ, P. [1996]: *Opciones, Futuros e Instrumentos Derivados*. Deusto. Bilbao.
- FERNÁNDEZ, P. [2002]: «Valoración de Opciones Reales: Problemas y errores». *Bolsa de Madrid*, nº 106. Febrero.
- FIGLEWSKI, S. [1989]: «Options Arbitrage in Imperfect Markets». *Journal of Finance*, nº 44. Diciembre.
- 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*, nº 100.
- GALAI, D. [1977]: «Tests of Market Efficiency and the Chicago Board Options Exchange». *Journal of Business*, Vol. 50. Abril.
- GALAI, D. [1983]: «The Components of the Return from Hedging Options against Stocks». *Journal of Business*, Vol. 56. Enero.
- GALAI, D. y MASULIS, R. W. [1976]: «The Option Pricing Model and the Risk Factor of Stock». *Journal of Financial Economics*, nº 3. Enero-marzo.
- GARCÍA MACHADO, J. J. y DE LA VEGA JIMÉNEZ, J. J. [2007]: «Replicating Options in Spanish Financial Markets» en Janusz Teczek, H. [2007]: *Business in a Collaborative World*. FUNDACJA Akademii Ekonomicznej w Krakowie. Cracovia.
- GARCÍA MACHADO, J. J.; DE LA VEGA JIMÉNEZ, J. J. y GARCÍA GONZÁLEZ, S. [2008]: «Arbitrage, Volatility, and Pricing Options on IBEX-35 Spanish Index: An Empirical Examination» en CORDEIRO FILHO, J. B. y DÍEZ DE CASTRO, J. A. (Eds.) [2008]: *University, Society and Global Markets*. European Academic Publishers. Salvador de Bahía.
- GARMAN, M. [1976]: «An Algebra for Evaluating Hedge Portfolios». *Journal of Financial Economics*, Vol. 3. Octubre.
- GERBER, H. U. y SHIU, E. S. W. [1995]: «Actuarial Approach to Option Pricing». *Mathematics and Economics*, Vol. 16, nº 3. Julio.
- GERBER, H. U. y SHIU, E. S. W. [1996]: «Actuarial Bridges to Dynamic Hedging and Option Pricing». *Mathematics and Economics*, Vol. 18, nº 3. Noviembre.
- GÓMEZ-BEZARES, F. [2000]: *Gestión de Carteras*. 2ª Edición. Desclée de Brouwer. Bilbao.
- HODGES, S. y NEUBERGER, A. [1989]: «Optimal Replication of Contingent Claims under Transactions Costs». *Review of Futures Markets*, nº 8.
- HULL, J. C. y WHITE, A. [1987]: «Hedging the Risks from Writing Foreign Currency Options». *Journal of International Money and Finance*, nº 6. Junio.
- 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*, nº 3.
- INGERSOLL, J. E. [1977]: «A Contingent-Claims Valuation of Convertible Securities». *Journal of Financial Economics*, nº 4. Mayo.
- JACKWERTH, J. C. y RUBINSTEIN, M. [1996]: «Recovering Probability Distributions from Option Prices». *Journal of Finance*, Vol. 51. Diciembre.

- KLEMKOSKY, R. C. y RESNICK, B. G. [1979]: «Put-Call Parity and Market Efficiency». *Journal of Finance*, Vol. 34. Diciembre.
- LAMBERTON, D. y LAPEYRE, B. [2008]: *Introduction to Stochastic Calculus Applied to Finance*. 2ª Edición. Chapman & Hall/CRC. Londres.
- LAMOTHE FERNÁNDEZ, P. y PÉREZ SOMALO, M. [2003]: *Opciones Financieras y Productos Estructurados*. 2ª Edición. McGraw-Hill. Madrid.
- LELAND, H. E. [1980]: «Who Should Buy Portfolio Insurance?». *Journal of Finance*, nº 35. Mayo. LELAND, H. E. [1985]: «Option Pricing and Replication with Transactions Costs». *Journal of Finance*, nº 40. Diciembre.
- 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, nº 1.
- 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.
- 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, nº 3. Junio.
- MERTON, R. C. [1974]: «On the Pricing of Corporate Debt: The Risk Structure of Interest Rates». *Journal of Finance*, nº 29. Mayo.
- MONOYIOS, M. [2004]: «Option Pricing with Transaction Costs using a Markov Chain Approximation». *Journal of Economic Dynamics and Control*, Vol. 28, nº 5. Febrero.
- 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, nº 2. Octubre.
- PERRAKIS, S. y LEFOLL, J. [2000]: «Option Pricing and Replication with Transaction Cost and Dividends». *Journal of Economic Dynamics and Control*, nº 24.
- PERRAKIS, S. y LEFOLL, J. [2003]: «The American Put under Transactions Costs». *Journal of Economic Dynamics and Control*.
- ROBLES FERNÁNDEZ, Mª. D. [1999]: «Comparación de Medidas de Volatilidad Alternativas: Un Criterio basado en los Beneficios» en VII Foro de Finanzas. Valencia.
- 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.
- RUBINSTEIN, M. [1994]: «Implied Binomial Trees». *Journal of Finance*, Vol. 49, nº 3. Julio. RUBINSTEIN, M. y LELAND, H. E. [1981]: «Replicating Options with Positions in Stock and Cash». *Financial Analysis Journal*, nº 37. Julio-agosto.
- SANTAMARÍA, R. [2003]: «Modelos para la Predicción de la Volatilidad. Nuevas Carreras y más Caballos». *Estrategia Financiera*, nº 199.
- 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*, nº 41. Mayo-Junio.
- TRIPPI, R. R. [1977]: «A Test of Option Efficiency Using a Random Walk Valuation». *Journal of Economics and Business*, Vol. 29. Invierno.