

**RENDIMIENTOS Y VOLATILIDAD EN EL
MERCADO DE
FUTUROS SOBRE EL IBEX 35: IMPLICACIONES
PARA LA COBERTURA DE CARTERAS DE
RENDA VARIABLE.**

TESIS DOCTORAL

Juan Ángel Lafuente Luengo

Director: Alfonso Novales Cinca

Departamento de Economía Cuantitativa

Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales

Universidad Complutense de Madrid

1999



CAPÍTULO 1: Introducción.....	1
CAPÍTULO 2: Organización y Funcionamiento del Mercado.....	6
2.1. El Mercado Español de Futuros sobre el Ibex 35.....	7
2.1.1. Orígenes Históricos.....	7
2.1.2. Organización y Funcionamiento del Mercado.....	9
2.1.2.1. Agentes que Participan en el Mercado.....	10
2.1.2.2. Órdenes.....	15
2.1.2.3. Liquidación de las Operaciones.....	16
2.1.2.4. Garantías.....	18
2.2. Especificaciones del Contrato de Futuros sobre el Ibex 35.....	19
2.3. Características del Activo Subyacente. ¿Qué es el Ibex 35?.....	20
2.3.1. Cálculo del Valor del Índice.....	22
2.4. Utilidad del Futuro como Instrumento Derivado.....	24
2.4.1. Cobertura.....	24
2.4.2. Especulación.....	26
2.4.3. Arbitraje.....	26
APÉNDICE 1. Cuadros y Tablas Estadísticas.....	28
CAPÍTULO 3. Análisis del Comportamiento de los Rendimientos. Causalidad entre el Mercado de Futuros y el Mercado de Contado.....	34
3.1. Introducción.....	34
3.2. El Precio Teórico de un Contrato de Futuros.....	38
3.3. Datos.....	41
3.3.1. Descripción y Fuente de los Datos.....	41
3.3.2. Series de Rendimientos.....	43
3.4. Relaciones de Corto y Largo Plazo entre las Cotizaciones del Contrato de Futuro y el Ibex 35.....	48
3.4.1. Resultados Empíricos.....	53
3.5. Dinámica y Causalidad entre los Rendimientos del Contrato de Futuros sobre el Ibex 35 y el Ibex 35.....	54

3.5. Dinámica y Causalidad entre los Rendimientos del Contrato de Futuros sobre el Ibex 35 y el Ibex 35.....	54
3.5.1. Revisión de la Literatura y Análisis Previos.....	56
3.5.2. Un Modelo de Corrección de Error Bivariante para los Rendimientos del Mercado.....	61
3.6. Conclusiones.....	66
APÉNDICE 1. Tablas Estadísticas.....	67
APÉNDICE 2. Ilustraciones y Gráficos.....	88
CAPÍTULO 4. Análisis del Comportamiento de la Volatilidad en el Mercado de Futuros y la Volatilidad del Mercado <i>Spot</i>.....	104
4.1. Introducción.....	104
4.2. Estimación de la Volatilidad del Mercado.....	115
4.2.1. Coeficientes de Variación Diarios.....	115
4.2.2. Un Modelo Bivariante de Corrección de Error con Perturbaciones Heterocedásticas.....	116
4.2.2.1. Descripción del Modelo.....	116
4.2.2.2. Estimación del Modelo.....	119
4.2.2.3. Resultados Empíricos.....	121
4.2.2.4. Diagnóstico del Modelo.....	123
4.3. Estudio del Comportamiento <i>Intradía</i> de la Volatilidad.....	125
4.3.1. Resultados a partir de Coeficientes de Variación Diarios de los Precios.....	125
4.3.2. Resultados a partir del Modelo <i>GARCH</i>	129
4.4. Análisis del Comportamiento de la Volatilidad a lo Largo de los Días.....	132
4.4.1. Estadísticos Previos.....	132
4.4.2. Estudio Comparativo de las Distribuciones de Volatilidad.....	134
4.4.3. Relación entre Rendimiento Semanal y Volatilidad Diaria.....	135
4.5. Estudio de la Relación de Causalidad entre la Volatilidad del Mercado de Contado y la Volatilidad del Mercado de Futuros.....	138

4.5.1. Resultados a partir de un Vector de Corrección de Error sobre Primeras Diferencias de los Coeficientes de Variación Diarios.....	138
4.5.2. Resultados a partir de un Vector de Corrección de Error con Perturbaciones Heterocedásticas.....	146
4.6. Utilidad del Contrato de Futuro como Instrumento para la Cobertura del Riesgo.....	148
4.6.1. Introducción.....	148
4.6.2. La Regla de Cobertura Óptima.....	152
4.6.3. Estimación del Ratio de Cobertura. El modelo <i>GARCH</i> frente a otras Alternativas Metodológicas.....	159
4.6.4. Simulación de Operaciones de Cobertura.....	161
4.7. Conclusiones.....	165
APÉNDICE 1. Tablas Estadísticas.....	168
APÉNDICE 2. Ilustraciones y Gráficos.....	181
CAPÍTULO 5. Relaciones <i>Intradía</i> entre Volatilidades, Volúmenes Negociados y Arbitraje.....	239
5.1. Introducción.....	239
5.2. Datos.....	244
5.3. Un modelo de Ecuaciones Simultáneas para las Volatilidades y la Base Teórica.....	246
5.4. Resultados Empíricos.....	249
5.4.1. Estadísticos Previos.....	249
5.4.2. Estimación del Modelo.....	251
5.5. Conclusiones.....	258
APÉNDICE 1. Tablas Estadísticas.....	260
APÉNDICE 2. Ilustraciones y Gráficos.....	265
APÉNDICE 3. Una Nota sobre el Concepto de Eficiencia en los Mercados de Futuros sobre Índice.....	268
CAPÍTULO 6. Conclusiones.....	280

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.

En el transcurso de las dos últimas décadas la economía española ha experimentado una profunda transformación, que tiene su punto de partida en el año 1985, con la ratificación por parte del Gobierno Español del Tratado de Adhesión a la Comunidad Económica Europea. Posteriormente, en 1992, entra en vigor la libre circulación de capital entre todos los países de la que hoy en día ha pasado a denominarse Unión Europea. El nuevo contexto europeo requería una adaptación de los intermediarios financieros de la economía española, los cuales diseñaron nuevas políticas de captación de pasivo y asignación de activos, pero asimismo se hacía necesario la aparición de nuevos mercados que permitiesen una capacidad operativa similar a la ya existente en las principales economías, tanto de ámbito europeo, como a nivel mundial. En concreto, a partir del 14 de Enero de 1992 los operadores financieros tienen la posibilidad de negociar en España operaciones de futuros con el índice Ibex 35 como activo subyacente, índice bursátil representativo de la Bolsa Española en su conjunto.

La aparición del mercado de derivados amplió considerablemente las posibilidades operativas en la gestión dinámica de carteras de renta variable, por cuanto el contrato de futuros sobre el Ibex 35 puede ser utilizado como un elemento de cobertura frente al riesgo implícito en las carteras de contado, debido a las posibles fluctuaciones de precios. De hecho, como se muestra en el Capítulo 2, el número de contratos negociados en el mercado de futuros experimentó en sus inicios un crecimiento prácticamente exponencial.

La creación de este nuevo mercado dejó abiertas numerosas líneas de investigación empírica, algunas de las cuales ya habían sido llevadas a cabo a escala mundial para los principales mercados de futuros en los que el activo subyacente es un índice bursátil. En este sentido, las autoridades encargadas de la regulación de este tipo de mercados habían mostrado cierta preocupación acerca del impacto sobre el mercado de contado de la introducción del mercado de derivados, fundamentalmente en términos de transmisión de volatilidad desde el segundo hacia el primero. De esta forma, cuantificar el riesgo de mercado, analizar la interacción entre las volatilidades de cada mercado, examinar las pautas de comportamiento del nivel liquidez dentro del día de negociación, calibrar si han existido posibilidades sistemáticas de arbitraje entre el mercado de futuros y el mercado *spot*,

o estudiar la conveniencia de imponer restricciones a la venta en corto de activos son cuestiones que adquieren un notable interés, no sólo desde el punto de vista académico, sino también desde la perspectiva de los operadores y reguladores del mercado.

En este sentido, los contratos de futuros sobre índice que han sido objeto de mayor atención por parte de la literatura dedicada al estudio de los mercados de derivados son: a) futuro sobre el índice *Standard and Poor's 500*, (*Chicago Mercantile Exchange*) b) futuro sobre el *Major Market Index* (*Chicago Board of Trade*), c) futuro sobre el *Financial Times-Stock Exchange 100* (*London International Financial Futures Exchange*), d) futuro sobre el *Nikkei Stock Average* (*Osaka Securities Exchange*), entre otros. Al respecto destacan los trabajos de Kawaller, Koch y Koch (1987 y 1990), Stoll y Whalley (1990), Chan y Chung (1993), Abhyankar (1995), Koutmos y Tucker (1996) y Daigler (1997), entre otros, todos ellos dedicados, fundamentalmente, al estudio del comportamiento dinámico de los rendimientos y la volatilidad, tanto del mercado de futuros como del mercado de contado.

Esta Tesis Doctoral tiene dos objetivos principales: a) obtener evidencia empírica acerca de la interacción entre el mercado de futuros y el mercado de contado tanto en lo que concierne a la dinámica de los rendimientos como en lo que respecta a la dinámica de las volatilidades, y b) analizar la importancia de la medida de volatilidad estimada cuando se pretende explotar la capacidad del mercado de futuros como instrumento de cobertura para una determinada posición de contado.

Al abordar ambas cuestiones se utilizan diferentes especificaciones econométricas poniéndose de relieve la importancia de la metodología *GARCH* (*General Autoregressive Conditional Heteroskedasticity*), inicialmente propuesta por Engle (1982) para cuantificar la volatilidad del mercado, y por tanto para estimar el ratio de cobertura óptimo. A través de la simulación de una determinada estrategia de cobertura se observa que el ratio estimado a partir de los segundos momentos condicionales de las series de rendimientos, utilizando un modelo bivalente de corrección de error con perturbaciones heterocedásticas, es el que consigue una mejor inmunización de la cartera de contado, frente a las fluctuaciones de precios experimentadas en el mercado. Asimismo, esta Tesis Doctoral también aborda el estudio del comportamiento de la volatilidad del mercado de futuros y el mercado de contado dentro del día de negociación, con objeto de caracterizar la posible existencia de pautas estacionales dentro de la sesión negociadora. Esta cuestión es de especial relevancia al estimar los ratios de cobertura óptimos. En caso de producirse agrupamientos sistemáticos de

volatilidad en un determinado intervalo temporal del día de negociación, esta pauta cualitativa debería ser recogida por la metodología econométrica que se utilice con objeto de cuantificar la volatilidad de los mercados.

Si bien en todos los Capítulos se trabaja con datos de muy alta frecuencia, también se calibra la importancia de la frecuencia de observación muestral al analizar la relación de causalidad tanto entre los rendimientos como entre las volatilidades de ambos mercados .

El trabajo está estructurado en seis Capítulos (el primero de los cuales es esta introducción) cuyo contenido se repasa brevemente a continuación.

En el **Capítulo 2** se hace una síntesis acerca de la organización y el funcionamiento del mercado español de futuros sobre el Ibex 35. Una vez hecha una breve reseña histórica sobre el nacimiento de este mercado de derivados en la economía española, se describen los diferentes tipos de agentes que pueden intervenir en el mercado: a) participantes con acceso directo al mercado, que en función de sus capacidades operativas (negociar por cuenta propia o por cuenta ajena, liquidar diariamente las pérdidas y ganancias, custodiar los depósitos en garantías) se clasifican en tres tipos: 1) Miembro Negociador, 2) Miembro Liquidador y 3) Miembro Liquidador Custodio, y b) participantes con acceso indirecto al mercado, que reciben el nombre de Clientes y deben operar a través de alguno de los tres agentes anteriormente mencionados. Asimismo el Capítulo resalta los aspectos más importantes del funcionamiento del mercado: i) tipos de órdenes y posibilidades de ejecución, ii) cálculo del precio de liquidación diario del contrato de futuros el cual difiere en función de si el día corresponde al vencimiento del instrumento derivado y iii) especificaciones del contrato de futuros sobre el Ibex 35. Por otro lado, se resumen las principales características del Ibex 35, el índice bursátil susceptible de ser utilizado como activo subyacente: a) revisiones semestrales (en Enero y Julio) acerca de la composición de los 35 activos, cuyas cotizaciones son ponderadas para el cálculo del índice y b) fórmula de cálculo y actualización del valor del índice.

El Capítulo finaliza realizando una pequeña panorámica sobre la utilidad del contrato de futuros como instrumento derivado en los mercados financieros: a) cobertura, b) especulación, y c) arbitraje, otorgando una mayor importancia al primer tipo de operación, sin duda alguna la más relevante de las tres para la mayoría de los operadores en el mercado.

En el **Capítulo 3** se lleva a cabo el estudio de la dinámica de los rendimientos del mercado de futuros y el mercado de contado a lo largo del periodo muestral que abarca desde el 20 de Diciembre de 1993 hasta el 20 de Diciembre de 1996, utilizando datos de alta frecuencia. El objetivo es obtener evidencia empírica acerca de las características de la relación de causalidad entre ambos mercados. Teniendo en cuenta que la evolución de los precios de ambos mercados tiene lugar de forma que el diferencial entre el precio cotizado del contrato de futuros y el valor del índice permanece acotado dentro de unas bandas en las que no se pueden materializar operaciones de arbitraje, procedemos a estudiar si los precios de ambos mercados evolucionan ligados por la presencia de una relación de equilibrio de largo plazo. La metodología utilizada con objeto de contrastar estadísticamente esta cuestión es la propuesta por Engle y Granger (1987), y pone de manifiesto que los precios del mercado de futuros sobre el Ibex 35 y el Ibex 35 presentan una relación de cointegración.

La inferencia acerca de las características de la relación de causalidad entre los rendimientos de ambos mercados se lleva a cabo a través de dos tipos de herramientas estadísticas: a) funciones de correlación cruzada, y b) contrastes de significatividad conjunta para los coeficientes relevantes que subyacen a la estimación de un modelo vectorial bivalente de corrección de error.

Además se calibra si las relaciones encontradas son robustas a lo largo de todo el periodo muestral analizado, aplicando la segunda de las metodologías que acabamos de citar a cada una de las tres submuestras que resultan de la partición del periodo muestral en tres submuestras, cada una de las cuales contiene 12 contratos. Finalmente se utiliza el filtrado propuesto por Stoll y Whalley (1990) con objeto de analizar la sensibilidad de los resultados frente a los efectos de la falta de homogeneidad en la frecuencia de negociación de cada uno de los activos que entran a formar parte en la composición del Ibex 35.

El **Capítulo 4** está dedicado al estudio del comportamiento de la volatilidad en el mercado de futuros y en el mercado de contado durante el periodo muestral anteriormente citado. La metodología utilizada con objeto de medir la volatilidad es de dos tipos: a) coeficientes de variación de los precios a lo largo de un determinado intervalo temporal, y b) varianzas condicionales de las series de rendimientos horarios. En primer lugar se lleva a cabo un estudio del comportamiento de la volatilidad tanto dentro del día de negociación como a lo largo de la semana. En segundo lugar se procede al estudio de las

características de la relación de causalidad entre las volatilidades de ambos mercados mediante la estimación de dos modelos econométricos alternativos: a) un vector de corrección de error bivalente sobre una medida de volatilidad diaria (coeficientes de variación diarios) y b) un vector de corrección de error sobre las series de rendimientos horarios con perturbaciones heterocedásticas, que permite la existencia de interacción entre las varianzas condicionales de ambos mercados.

Para finalizar, el Capítulo analiza la importancia de la medida de volatilidad considerada cuando se pretende utilizar el mercado de futuros como instrumento de cobertura. La estimación de ratios de cobertura óptimos cambiantes en el tiempo requiere cuantificar sucesivamente, tanto las covariaciones entre los rendimientos del mercado de futuros y el mercado de contado, como la varianza del mercado de futuros. Como veremos, las simulaciones efectuadas para una determinada estrategia de cobertura a corto plazo pone de manifiesto que los ratios estimados con la metodología *GARCH* multivariante, son los que permiten disponer de una senda de riqueza mucho más estable a lo largo del tiempo.

El Capítulo 5 está dedicado al estudio de la interacción entre las volatilidades de ambos mercados, la base teórica (diferencial entre el precio teórico del contrato de futuros según el modelo de valoración *Cost of Carry* y el precio cruzado) y el volumen relativo negociado entre ambos mercados, dentro del día de negociación. Para ello se utilizan datos de muy alta frecuencia (cada cinco minutos), siendo la medida de volatilidad diferente a la utilizada en el Capítulo 4. Asimismo se evalúa el efecto de la existencia de restricciones a la venta en corto de activos sobre la capacidad operativa para llevar a cabo operaciones de arbitraje entre ambos mercados.

El Capítulo finaliza con un apéndice teórico que revisa el concepto de eficiencia en los mercados de futuros sobre índice. En particular, el modelo teórico propuesto sugiere que si los precios del mercado de futuros y el valor del índice están cointegrados, el precio cotizado del futuro será, en general, un predictor sesgado del valor de la cesta representativa del mercado en el vencimiento del contrato de futuros. A partir del modelo, se propone una especificación econométrica concreta con objeto de contrastar la teoría de las expectativas, la cual es susceptible de ser utilizada con datos de alta frecuencia.

Por último, el Capítulo 6 resume las principales conclusiones del trabajo y se sugieren futuras líneas de investigación.

CAPÍTULO 2. ORGANIZACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DEL MERCADO DE FUTUROS SOBRE EL IBEX 35.

La aparición de los contratos de futuros en los mercados financieros internacionales surge como extensión natural de los contratos *forward* o contratos a plazo. Un contrato *forward* es un acuerdo entre dos partes, ya sean entidades físicas o jurídicas, en la que una de ellas se compromete a comprar o vender a la otra una cantidad de una determinada mercancía o un determinado número de activos (activo subyacente) en una fecha futura (fecha de vencimiento), a un precio que es fijado en el momento presente (precio del futuro). Para que el cruce de la operación se lleve a cabo es preciso que ambas partes tengan expectativas contrarias acerca de la evolución del precio del activo subyacente en el futuro. Llegada la fecha de vencimiento del contrato, una de las partes obtendrá beneficio, mientras que la otra deberá asumir pérdidas, puesto que los contratos *forward* no otorgan el derecho al comprador o vendedor a no ejercer el contrato a diferencia de lo que ocurre con las opciones financieras. Sin embargo, puede ocurrir que una de las partes no cumpla lo estipulado en el contrato, es decir, los contratos *forward* presentan riesgo de crédito.

Con objeto de eliminar este riesgo que subyace a la propia naturaleza de los contratos *forward*, surgen los mercados de futuros. En este sentido, un contrato de futuros es similar a un contrato *forward*, pero la negociación de los mismos se lleva a cabo en un mercado organizado, de forma que interviene la Cámara de Compensación tomando contrapartidas de las partes inicialmente negociadoras; es decir, la Cámara de Compensación se hace comprador del vendedor y vendedor del comprador. Si bien ésta es la diferencia básica que existe entre los contratos a plazo y los contratos de futuros, existen otras diferencias que, en última instancia, son debidas al carácter organizado de los mercados de futuros. Al respecto, tanto comprador como vendedor deben depositar unas garantías, que varían en función del carácter comprador o vendedor de la operación, las cuales serán utilizadas en caso de que alguna de las partes no cumpla con las obligaciones contractuales.

Una tercera diferencia de los contratos de futuros respecto de los contratos a plazo es la posibilidad de cancelar la posición antes de la fecha de vencimiento, dada la existencia de liquidación diaria de pérdidas y ganancias. Estas tres características de los contratos de futuros (intermediación de la Cámara de Compensación entre las partes, obligación

de efectuar depósitos en garantía y existencia de liquidación diaria de pérdidas y ganancias) posibilitan que dichos contratos puedan considerarse carentes de riesgo de contrapartida o crédito.

Del mismo modo, otra diferencia relevante proviene de la disponibilidad de contratos para operar. Mientras en los mercados *forward* los agentes interesados pueden llegar a acordar todas las características del contrato que consideren oportunas (contratos no *estandarizados*), las especificaciones de los contratos abiertos a negociación en los mercados de futuros no son susceptibles de cambio por parte de los agentes que operan en el mismo (contratos *estandarizados*).

El Cuadro 2.1 que se muestra en el Apéndice 1, recoge las diferencias entre los dos tipos de contratos.

(Insertar Cuadro 2.1)

La aceptación de los futuros como instrumentos financieros de uso generalizado entre los operadores de Bolsa, hecho paralelo al desarrollo de los mercados de opciones financieras, tuvo lugar en Estados Unidos. El primer mercado organizado de opciones fue el Chicago Board Options Exchange el cual comenzó a ser operativo en 1973, mientras que el primer mercado organizado de futuros financieros (International Monetary Market) surgió con anterioridad, en 1972, asimismo en Chicago. El fuerte crecimiento de los mercados de derivados en este país impulsó la creación de mercados similares en el resto de las economías desarrolladas, de forma que hoy en día existe la posibilidad de negociar contratos de futuros utilizando como activo subyacente a los principales índices bursátiles internacionales. El Cuadro 2.2. recoge los principales contratos de futuros financieros sobre índice bursátil, así como el mercado en donde estos productos derivados se negocian.

(Insertar Cuadro 2.2)

2.1. EL MERCADO ESPAÑOL DE FUTUROS SOBRE EL IBEX 35

2.1.1. Orígenes históricos.

El fuerte crecimiento experimentado por la economía española a partir de la segunda mitad de la década de los ochenta, comenzó a poner de manifiesto la existencia de

serias deficiencias normativas y tecnológicas respecto al funcionamiento de los mercados de capitales en España. Por otro lado, el progresivo proceso de liberalización respecto a la circulación de capital extranjero, al que se enfrentaba la economía española como consecuencia de la adhesión a la entonces denominada Comunidad Económica Europea, planteaba la necesidad de remodelar el marco jurídico de los diferentes países miembros, con la finalidad de poder llevar a cabo con garantías de éxito el proceso de integración de los mercados de capitales. En España esta necesidad se tradujo en la promulgación de la Ley del Mercado de Valores el 28 de Julio de 1988, la cual reformaba considerablemente el funcionamiento de la Bolsa Española.

En lo que respecta al establecimiento de un mercado de productos derivados, a finales de 1988 se constituye OM-IBERICA, como mercado de opciones sobre Deuda y posteriormente, en Marzo de 1989, quedó constituida MEFF, S.A. con carácter oficial de mercado de futuros sobre Deuda, es decir, un mercado regulado, controlado y supervisado por las autoridades económicas (Comisión Nacional del Mercado de Valores y Ministerio de Economía). Casi dos años más tarde, y con el objetivo de poder desarrollar los productos derivados sobre renta variable, se produjo una ampliación de capital de OM-IBERICA, dando entrada como socios a las Sociedades Rectoras de las cuatro Bolsas españolas, de forma que esta sociedad pasó a denominarse MOFEX (Mercado de Opciones Financieras Español, S.A.).

Finalmente, en Diciembre de 1991, se fijan las bases para el funcionamiento de los mercados de derivados por Real Decreto, y fruto del consenso entre las distintas Bolsas, el Banco de España y la Comisión Nacional del Mercado de Valores, quedó constituido un *holding* propietario del 100% de las acciones de MEFF, S.A. y MOFEX. MEFF Sociedad *Holding* de Productos Derivados está integrado por dos sociedades, MEFF Renta Fija (situada en Barcelona) y MEFF Renta Variable (situada en Madrid), encargadas de controlar el funcionamiento de los mercados de derivados sobre renta fija y renta variable respectivamente. Respecto al mercado de renta fija, el activo subyacente puede ser un tipo de interés concreto o una determinada divisa. En lo que respecta al mercado de renta variable, los productos negociables son opciones y futuros sobre el índice IBEX 35, así como acciones sobre acciones individuales (en la actualidad sobre Argenteria, Autopistas C.E.S.A., BBV, Endesa, FECSA, Iberdrola, Repsol, Santander, Sevillana, Telefónica y Unión Fenosa).

La negociación de operaciones de futuros sobre el índice bursátil Ibex 35, el mercado objeto de análisis en esta Tesis Doctoral, comenzó el 14 de Enero de 1992, y desde

entonces, el número de contratos negociado por este tipo de instrumento derivado ha experimentado un fuerte crecimiento. Al respecto, la tabla 2.3 proporciona información acerca del volumen negociado por los diferentes instrumentos de derivados sobre renta variable.

(Insertar Tabla 2.3)

Como puede observarse, el mercado con mayor profundidad de negociación es el correspondiente al mercado de futuros. De hecho entre 1992 y 1997, el número de contratos negociados presenta una tasa de variación anual creciente tanto para el futuro como para las opciones (Ver Tabla 2.4 del Apéndice), aunque la pauta creciente es mucho más fuerte para el contrato de futuro sobre el Ibex 35, tanto en los orígenes del mercado (1992-1994), como al final del periodo mostrado (1996-Marzo 1998), lo pone de manifiesto que si bien el contrato de futuro es el que ha experimentado un mayor crecimiento, ambos instrumentos derivados han conseguido un alto grado de aceptación entre el conjunto de los operadores que actúan en la Bolsa Española.

2.1.2.Organización y funcionamiento del mercado.

El Mercado es el marco dentro del cual se produce la negociación, el registro de operaciones, la difusión de la información, así como la compensación y liquidación de los contratos normalizados de opciones y futuros.

Las funciones de MEFF RENTA VARIABLE son:

- ◇ organizar, dirigir y ordenar el Mercado
- ◇ difundir la información relativa al Mercado.
- ◇ ser la Cámara de compensación, actuando como contrapartida en todos los contratos que se registren. En el desarrollo de esta función, MEFF RV será el comprador por la parte vendedora y el vendedor para la parte compradora. Todos los derechos y obligaciones de los Miembros del Mercado o de los Clientes por transacciones realizadas en el Mercado lo serán frente a MEFF RV, que a su vez exige la constitución de garantías en base al Reglamento del Mercado.

- ◊ calcular y exigir diariamente el importe de las Garantías.

- ◊ aprobar Circulares, que serán de obligado cumplimiento, en el ejercicio de las funciones de dirección, ordenación, gestión y supervisión del Mercado. Las Circulares deberán publicarse al menos cinco días hábiles antes de su entrada en vigor. Sin embargo, con carácter extraordinario MEFF RV podrá publicar Circulares que entren en vigor en plazo inferior al anteriormente citado. Por otra parte, la Comisión Nacional del Mercado de Valores podrá suspender o dejar sin efecto las anteriores Circulares cuando estime que las mismas infringen la Legislación del Mercado de Valores o perjudiquen la corrección y transparencia del proceso de formación de precios o la protección de los inversores.

2.1.2.1. Agentes que participan en el Mercado.

Los agentes que participan en el Mercado son: (a) individuos, (b) instituciones privadas e (c) instituciones públicas. En función de su relación operativa con el Mercado dichos agentes pueden ser clasificados en dos grandes grupos: a) Participantes con Acceso directo al Mercado: **Miembros** del Mercado, y b) Participantes con Acceso indirecto al Mercado: **Cientes** finales.

A. Participantes con acceso directo al Mercado.

Los miembros del Mercado pueden ser de tres clases: Miembro Negociador, Miembro Liquidador y Miembro Liquidador Custodio.

A.1: Miembro Negociador.

Los Miembros Negociadores pueden ser cualquier Sociedad o Agencia de Valores, Banco, Caja de Ahorros o alguna de las entidades señaladas en las letras a), b) y c) del Artículo 76 de la Ley del Mercado de Valores. La función de este tipo de Miembro es negociar directamente en el Mercado, por cuenta propia o por cuenta ajena, es decir su función es la de simple intermediario, pero necesita liquidar las operaciones con la Cámara de Compensación a través de un Miembro Liquidador. De hecho MEFF RV exige como requisito previo para adquirir la condición de Miembro Negociador la formalización de un contrato con uno o varios Miembros Liquidadores.

A.2: Miembro Liquidador.

Respecto a los Miembros Liquidadores, pueden adquirir esta categoría cualquiera de las instituciones señaladas anteriormente con capacidad para convertirse en Miembros Negociadores. Como requisitos adicionales, MEFF RV exige la celebración de un contrato con uno o varios Miembros Liquidadores Custodios, a través de los cuales realizará la constitución y ajuste de las Garantías Diarias y Extraordinarias, así como la Constitución de una Garantía inicial a favor de MEFF RV con el fin de poder responder a las obligaciones correspondientes a la liquidación de efectivos de operaciones abiertas (por cuenta propia, ajena o de Miembros Negociadores) en los plazos estipulados.

Las funciones de los Miembros Liquidadores son las siguientes:

- ◇ Negociar por cuenta propia o ajena de Clientes, directamente en el Mercado.
- ◇ Responder frente a MEFF RV del cumplimiento de las obligaciones de constitución y ajustes de Garantías y de liquidaciones resultantes de transacciones realizadas por cuenta propia, ajena así como de Miembros Negociadores.
- ◇ Realizar el pago o cobro a MEFF RV de todas aquellas liquidaciones en efectivo que no correspondan a compra-ventas del Activo Subyacente, siempre que tenga Cuenta de Tesorería en el Banco de España.
- ◇ Realizar la compraventa del activo subyacente en las liquidaciones por entrega, siempre que tenga acceso directo al servicio de liquidación del activo subyacente.

A.3: Miembro Liquidador Custodio.

Los requisitos para ser Miembro Liquidador Custodio son los siguientes:

- ◇ Ser Sociedad o Agencia de Valores, Banco, Caja de Ahorros o alguna de las otras clases de Entidades señaladas en las letras a), b) y c) del artículo 76 de la Ley del Mercado de Valores.

- ◊ Ser Entidad Gestora de Anotaciones de Deuda del Estado con capacidad plena para mantener cuentas de terceros ¹.
- ◊ Constituir una Garantía inicial en favor de MEFF RV con el fin de garantizar en todo momento el cumplimiento de sus obligaciones de constitución y mantenimiento de las Garantías relativas a posiciones abiertas y de todo tipo de liquidaciones de efectivos en los plazos estipulados, así como de sus obligaciones de recepción y custodia de Garantías.

Las funciones correspondientes de todo Miembro Liquidador Custodio son las siguientes:

- ◊ Negociar por cuenta propia o ajena de Clientes, directamente en el Mercado².
- ◊ Responder frente a MEFF RV del cumplimiento de las obligaciones resultantes de Transacciones realizadas en el Mercado, tanto por cuenta propia como por cuenta de sus Clientes, así como de las obligaciones resultantes de las transacciones realizadas por otros Miembros con los que así lo haya acordado.
- ◊ Realizar el pago o cobro a MEFF RV de todas aquellas liquidaciones en efectivo que no correspondan a una compra-venta del Activo Subyacente, siempre que tenga Cuenta de Tesorería en el Banco de España.
- ◊ Realizar la compra-venta del Activo Subyacente en las liquidaciones por entrega, siempre que tenga acceso directo al servicio de liquidación del Activo Subyacente.
- ◊ Recibir, aceptar en nombre de MEFF RV y custodiar las Garantías a favor de MEFF RV correspondientes a las posiciones abiertas en el Mercado por sí mismo, por sus clientes y por los Miembros con los que así lo haya acordado.

¹ Las Condiciones Generales de los Contratos de Opciones y Futuros pueden modificar este requisito.

² MEFF RV podrá autorizar a aquellos Miembros Liquidadores Custodios que, deseando no desempeñar la función de negociar en el Mercado, así lo soliciten, a añadir a su denominación de Miembros la expresión "no negociador".

- ◊ Comunicar a MEFF RV las condiciones aplicadas al servicio de custodia y rentabilización de las Garantías en los cinco primeros días de cada trimestre natural, excepto si no existe modificación, las cuales estarán a disposición de los interesados.

Cualquiera de los Miembros del Mercado puede adquirir la condición de Creador de Mercado, a partir de la materialización de un contrato específico con MEFF RV ³. Los Creadores de Mercado pueden negociar directamente en el Mercado, exclusivamente por cuenta propia y cumpliendo las obligaciones de cotización que estén vigentes mediante Circular.

Los Miembros del Mercado están sujetos a determinados límites operativos que MEFF RV considera convenientes. Al respecto el Reglamento del Mercado determina las siguientes disposiciones:

- ◊ Las posiciones respecto de las que un Miembro responda sólo podrán ser, como máximo, aquellas que supongan unas Garantías exigibles al 40% de sus recursos propios o al límite inferior que se establezca por Circular.
- ◊ La suma de Garantías aportadas a un mismo Miembro Liquidador Custodio no podrá ser superior al 40% de sus recursos propios o a un límite inferior que se podrá establecer mediante Circular. En el caso en el que se está próximo al límite o éste ya se ha alcanzado MEFF RV comunica esta situación con objeto de que los Miembros afectados constituyan sus Garantías en otro Miembro Liquidador Custodio.
- ◊ Ningún Miembro (ni Cliente) del Mercado podrá tener una posición tal que las Garantías por todos los conceptos que le sean exigibles por MEFF RV superen el 25% del total de Garantías exigidas por MEFF RV a todos los Miembros y Clientes del Mercado ⁴.

Los límites previamente establecidos pueden ser ampliados en base a tres procedimientos mediante: a) préstamo por parte de otro Miembro. En este caso el Miembro prestamista será responsable solidario con el Miembro prestatario por la cuantía prestada. En

³ El consejo de Administración de MEFF RV podrá limitar el número de Creadores de Mercado para cada Contrato objeto de negociación.

⁴ Este límite máximo a las posiciones puede superarse con autorización expresa de MEFF RV.

este caso el límite disponible para el Miembro prestamista se reduce en dicha cuantía⁵, b) pignoración a favor de MEFF RV de Deuda del Estado anotada o de otros valores que pueden ser establecidos por MEFF RV, y c) otras formas que se establezcan por Circular.

B. Participantes con acceso indirecto al Mercado.

Los clientes finales del Mercado son personas físicas o jurídicas e instituciones que tienen que realizar sus operaciones de compra y venta de opciones y futuros a través de un intermediario, es decir a través de un Miembro del Mercado el cual puede cargar comisiones, que son anunciadas públicamente⁶. No hay que pagar cuota por derecho a participar en el Mercado. La operativa del Mercado es de tal forma que el cliente final es identificado por un código, que sólo conocen él mismo y el intermediario, de forma que las operaciones de cada cliente son anónimas para el resto de clientes y Miembros del Mercado.

Los derechos generales de un Cliente con cuenta abierta en un Miembro de Mercado son los siguientes:

- ◇ Realizar transacciones en el Mercado dando órdenes a su correspondiente Miembro para que éste las transmita al Mercado.
- ◇ Recibir toda la información relativa a los transacciones registradas en su cuenta.
- ◇ Exigir directamente al Miembro o del Miembro a través del que se opera el estricto cumplimiento de las disposiciones establecidas en el reglamento del Mercado, que en el caso de contratos de futuros se refieren a: a) recibir los beneficios obtenidos por el cierre de posiciones en futuros, b) recibir la Liquidación diaria de pérdidas y ganancias correspondiente a su posición en futuros, y c) recibir el importe correspondiente a la liquidación por diferencias en la fecha de vencimiento.

Dadas las diferencias operativas existentes entre los diferentes Miembros del Mercado, podemos caracterizar el funcionamiento de MEFF RV a partir de la siguiente Ilustración:

⁵ Esta forma de ampliación no puede ser aplicada al límite de Garantías Diarias depositadas en un Miembro Liquidador Custodio.

⁶ Por ejemplo, la comisión para las operaciones de futuros es de 50pts. por contrato.

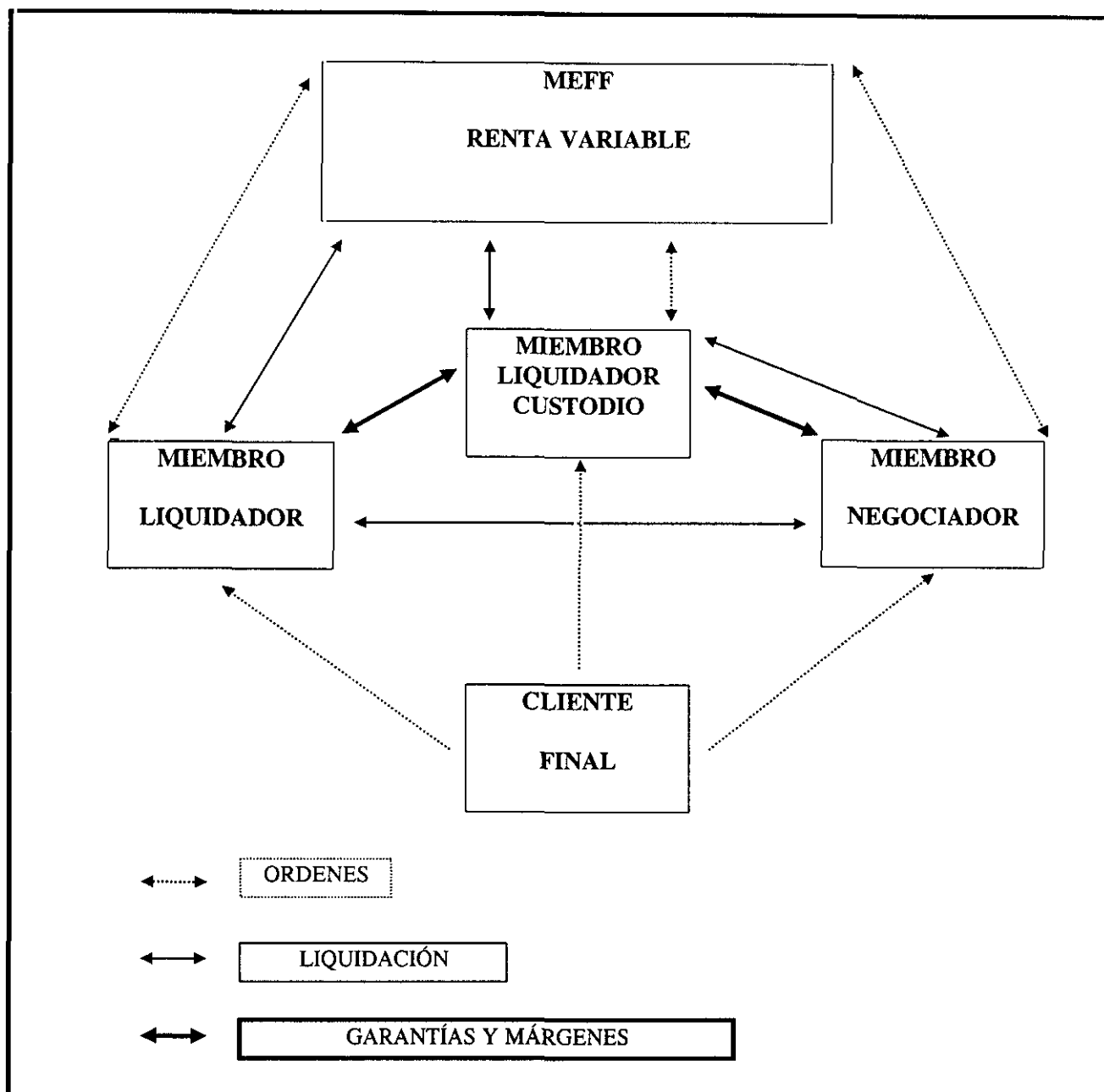


Ilustración 1.

2.1.2.2. Órdenes.

Las órdenes son transmitidas mediante sistema telefónico o electrónico. Pueden ser anuladas en cualquier momento, siempre que no hayan sido ejecutadas previamente. Es requisito indispensable que MEFF RV acepte tanto la ejecución como la cancelación antes de proceder con las respectivas órdenes. En el momento que simultáneamente existen órdenes de sentido opuesto que pueden casarse entre sí, MEFF RV ejecuta las órdenes recibidas, lo cual se traduce en el cruce de una operación.

Las órdenes transmitidas a MEFF RV, deben incluir las siguientes especificaciones: a) Signo de la orden (compra o venta), b) tipo de contrato (Opción de compra, Opción de venta, Futuro), c) Cantidad, expresada en número entero de contratos, d) Mes de Vencimiento, e) Precio de ejercicio y Prima, en el caso de opciones, y f) Precio del Futuro, en el caso de contratos de futuros. Las Órdenes pueden ser de los siguientes tipos:

- ◇ Órdenes Simples: son aquellas que no están condicionadas, de forma que pueden ejecutarse total o parcialmente.
- ◇ Órdenes Todo o Nada: son aquellas que están condicionadas a que se ejecute el número completo de contratos, es decir, no pueden ejecutarse parcialmente.
- ◇ Órdenes Combinadas: son aquellas que se refieren a más de un tipo de contratos, y estarán condicionadas a la ejecución total y simultánea de todas las órdenes que la integran.

A la hora de proceder a la ejecución de una orden el criterio de prioridad establecido por MEFF RV se basa en las siguientes reglas: en primer lugar, la de mejor precio; en segundo lugar, a igualdad de precios se atiende la orden más antigua. Respecto a las órdenes combinadas que impliquen compras o ventas simultáneas, éstas tienen prioridad sobre las órdenes simples, y serán ejecutadas sin tener en cuenta la antigüedad de la orden⁷.

2.1.2.3. Liquidación de las operaciones.

MEFF RV realiza diariamente la liquidación de las transacciones efectuadas a lo largo del día. La liquidación en efectivo de las transacciones se realiza en el plazo posterior a la fecha de la transacción que especifiquen las condiciones generales de cada contrato. Las liquidaciones diarias de pérdidas y ganancias de los futuros se llevan a cabo antes del inicio de la sesión del día hábil siguiente a la fecha del cálculo de la liquidación.

En la fecha de la liquidación de las transacciones, los Miembros deben pagar a MEFF RV o recibir del mismo determinados importes, los cuales pueden corresponder a alguno de los siguientes conceptos: a) Primas de Opciones compradas o vendidas, b) Diferencia entre

⁷ Esta prioridad puede ser restringida por Circular.

precios en transacciones de cierre de futuros, c) Diferencia entre precios aplicables a los Futuros abiertos según la liquidación diaria de pérdidas y ganancias y d) comisiones aplicables.

Cada día, al cierre del Mercado, MEFF RV calcula, para todos los futuros abiertos, las pérdidas o ganancias producidas en la sesión. Para ello procede de la siguiente forma:

- ◇ Futuros comprados: se calcula la diferencia entre el precio de liquidación diaria⁸ y el precio del futuro. Si la diferencia es positiva se considera una ganancia y si es negativa una pérdida.
- ◇ Futuros vendidos: se calcula la diferencia entre el precio del futuro y el precio de liquidación diaria. Si la diferencia es positiva se considera una ganancia y si es negativa una pérdida.
- ◇ Futuros comprados y vendidos en la misma sesión: se calcula la diferencia entre el precio de venta y el precio de compra. La diferencia positiva se considera ganancia y la negativa una pérdida.

Una vez efectuada la Liquidación diaria de Pérdidas y Ganancias, el nuevo precio del futuro de todos los futuros abiertos será el precio de liquidación diaria del día que se trate. El esquema de la liquidación diaria de pérdidas y ganancias de un contrato de futuros queda resumido en el Cuadro 2.5, que se muestra en el Apéndice.

(Insertar Cuadro 2.5)

En la fecha de vencimiento, MEFF RV realiza una liquidación definitiva para todos los contratos abiertos, teniendo en cuenta el precio de liquidación a vencimiento⁹, y el último precio de liquidación diaria utilizado para la liquidación diaria de pérdidas y ganancias, o entre el precio de liquidación a vencimiento y el precio de futuro pactado en el contrato, cuando éste último haya sido negociado en la fecha de vencimiento. MEFF RV tiene la obligación de comunicar a los Miembros las instrucciones de liquidación respecto a todos los contratos

⁸ En la siguiente sección, en la que se detallan las características del contrato de futuros sobre el Ibex 35, se explicita el cálculo del precio de liquidación diaria.

registrados en sus cuentas que se vean afectados por la liquidación por diferencias antes de las 17,00 horas del día hábil siguiente a la fecha de vencimiento.

2.1.2.4. Garantías.

Las Garantías deben constituirse por parte de Miembros y clientes a favor de la Cámara de Compensación, la cual como ya hemos dicho, actúa siempre de intermediario tomando posiciones contrarias ante comprador y vendedor. La obligación de constituir las garantías nace en el momento que se registra una transacción. MEFF RV no es beneficiario de los rendimientos generados por las garantías, ni tampoco soporta ningún coste asociado a las mismas. Las Garantías deben ser suministradas antes del inicio de la sesión del día hábil siguiente a la fecha en que nació la obligación de suministrarlas. Las garantías que MEFF RV puede exigir a los Miembros y Clientes del Mercado pueden ser de tres tipos:

- ◇ **Garantía Inicial:** Consiste en una garantía de carácter permanente que se exige a los Miembros del Mercado, y que tendrá un importe máximo de 200 millones de pts. Este tipo de garantías es igual entre Miembros de la misma clase.
- ◇ **Garantía Diaria:** Es la que se deriva de las posiciones tomadas en el Mercado. En el caso de los contratos de futuros, el margen de garantías inicial es de un 16% del nominal real¹⁰ de la operación si se trata de un comprador, y de un 10% en el caso de futuros vendidos. A partir de la fecha de transacción este tipo de garantías es calculado por MEFF RV mediante la simulación del cierre de todos los contratos para diferentes precios del activo subyacente.
- ◇ **Garantías Extraordinarias:** Son garantías adicionales a las garantías diarias que pueden ser exigidas por MEFF RV en circunstancias especiales o en posiciones que se estima que conllevan un elevado riesgo.

⁹ Como se explicita en la siguiente sección el precio de liquidación a vencimiento se corresponde con la media aritmética de las observaciones del Ibex 35 desde las 16,15 horas hasta las 16,45 horas, utilizando una observación por minuto.

2.2. ESPECIFICACIONES DEL CONTRATO DE FUTUROS SOBRE EL IBEX 35.

En esta sección pasamos a describir las características del contrato de futuros sobre Ibex 35 que es negociado en MEFF RV:

- ◇ Activo Subyacente: Índice Ibex 35.
- ◇ Multiplicador: 100 pts. Es la cantidad por la que se multiplica el índice Ibex 35 para obtener su valor monetario, es decir cada punto básico de Ibex 35 posee un valor de 100 pts.¹¹.
- ◇ Nominal del Contrato: Corresponde al producto del valor cotizado del Ibex 35 por el multiplicador.
- ◇ Forma de Cotización: En puntos enteros del índice, con una fluctuación mínima de un punto.
- ◇ Fluctuación máxima: No existe.
- ◇ Meses de Vencimiento: Los meses de vencimiento abiertos a negociación serán los tres meses correlativos más próximos, y los otros tres del ciclo Marzo-Junio-Septiembre-Diciembre. Por ejemplo, en un día posterior al vencimiento de Enero de 1997, los meses abiertos a negociación serán: Febrero 97, Marzo 97, Abril 97, así como Junio 97, Septiembre 97 y Diciembre 97.
- ◇ Fecha de Vencimiento: Tercer Viernes del mes de vencimiento.
- ◇ Último día de Negociación: La fecha de Vencimiento.
- ◇ Liquidación de Comisiones: Primer día hábil posterior a la fecha de la transacción.
- ◇ Liquidación diaria de Pérdidas y Ganancias: antes del inicio de la sesión del día hábil siguiente a la fecha de transacción, en efectivo, por diferencias entre el precio de compra o venta y el precio de liquidación diaria¹².

¹⁰ Como se especificará en la próxima sección el nominal del contrato es el producto del valor del índice por el multiplicador (100 pts.).

- ◇ Precio de Liquidación Diaria: Media aritmética entre el mejor de precio de compra y de venta para cada vencimiento al cierre del Mercado cada día.

- ◇ Liquidación a Vencimiento: Por diferencias entre el precio de compra o venta y el precio de liquidación a vencimiento. El importe de la liquidación a vencimiento se satisface el primer día hábil posterior a la fecha de vencimiento.

- ◇ Precio de Liquidación a Vencimiento: Media aritmética del índice Ibex 35 entre las 16,15 horas y las 16,45 horas en la fecha de vencimiento, tomando datos minuto a minuto.

- ◇ Horario de Mercado: Desde las 10,45 horas hasta las 17,15 horas.

2.3. CARACTERÍSTICAS DEL ACTIVO SUBYACENTE: ¿ QUÉ ES EL IBEX 35 ?.

El Ibex 35 es el Índice Oficial del Mercado Continuo de la Bolsa Española. Es un índice ponderado por capitalización, compuesto por las 35 empresas con mayor nivel de liquidez que cotizan en el Mercado Continuo de las cuatro Bolsas Españolas. Este índice está diseñado para poder actuar como activo subyacente en la negociación, compensación y liquidación de contratos de futuros que son negociados en el Mercado Español de Futuros sobre Renta Variable (MEFF RV). El reducido número de activos que intervienen en la composición del índice, así como su elevado grado de liquidez facilita, por un lado, la realización de operaciones de cobertura y arbitraje a través del mercado de derivados y, de otro, tiende a evitar que los precios de los activos puedan ser manipulados. Si bien 35 activos es un número relativamente pequeño, éstos representan aproximadamente un 80%¹³ del volumen total contratado en el Mercado Continuo, de forma que el Ibex 35 puede considerarse como un buen indicador de la tendencia del mercado en su conjunto¹⁴.

¹¹ Este multiplicador es el que ha estado vigente durante el periodo muestral analizado en la Tesis Doctoral, si bien a finales de Enero de 1997, y como consecuencia del creciente volumen de contratos negociados, el multiplicador pasó a ser 1000pts.

¹² Por ejemplo, si se compran N contratos de futuros, con un valor cotizado del Ibex 35 de S_t , y el precio de liquidación a final de sesión es de PL_t , la liquidación correspondiente será igual a $(PL_t - S_t) N 100$.

¹³ Fernández e Izaguirre (1996).

¹⁴ El Ibex 35 presenta una alta correlación con el Índice General de la Bolsa de Madrid (IGBM) en cuyo cálculo se tienen en cuenta más de 90 activos que cotizan en el Mercado Continuo. Por ejemplo, muestra Fernández e Yzaguirre (1996) muestran que durante 1994 la correlación entre el Ibex 35 y el IGBM fue de 0,995.

Sociedad de Bolsas S.A., es la entidad gestora del índice (*Index Manager*), es decir tiene bajo su responsabilidad el cálculo y publicación en tiempo real, desde las 11,00 horas hasta las 17,00 horas, del Ibex 35. Esta sociedad, que está participada a partes iguales por las cuatro Bolsas españolas, es independiente frente al mercado, lo cual garantiza la credibilidad en el cómputo del índice.

Existe un Comité Asesor Técnico¹⁵ que supervisa el desarrollo de las funciones que son responsabilidad del Gestor (Sociedad de Bolsas S.A.), el cual efectúa dos revisiones semestrales (en Enero y Julio de cada año) con el objeto de garantizar el buen funcionamiento del Ibex 35 para su utilización como activo subyacente en la negociación de productos derivados. Al respecto el Gestor del Ibex 35 podrá proponer en cualquier momento al Comité Asesor Técnico la exclusión o no inclusión en la composición del índice de aquellos activos que incurran en alguna de las siguientes circunstancias:

- ◇ que gran parte de su volumen negociado durante el periodo de control¹⁶:
 - ◇ haya sido contratado por una única Sociedad o Agencia de Valores y Bolsa,
 - ◇ haya sido realizado en pocas transacciones
 - ◇ haya sido realizado durante un periodo de tiempo considerado como representativo por el Gestor,

- ◇ que su volumen negociado sufra un descenso tal que el Gestor estime que la liquidación del valor está gravemente afectada,

- ◇ que haya sido suspendido de cotización y negociación bursátil por un periodo de tiempo que el Gestor considere suficientemente significativo.

La tabla 2.6 resume las redefiniciones aplicadas sobre el índice durante el periodo muestral analizado en esta Tesis Doctoral.

(Insertar Tabla 2.6)

¹⁵ El Comité Asesor Técnico está compuesto por un número impar de expertos de reconocido prestigio, con un mínimo de 5 y un máximo de 9 miembros.

¹⁶ En revisiones ordinarias (Enero y Julio) el último semestre.

Puede observarse que desde Enero de 1994 hasta Diciembre de 1996, prácticamente el periodo muestral analizado en esta Tesis Doctoral¹⁷, los siete activos con mayor ponderación dentro del Ibex 35, son los siguientes: Endesa (ELE), Telefónica (TEF), Repsol (REP), Iberdrola (IBE), Argenteria (ARG), Banco de Santander (SAN) y Banco Bilbao Vizcaya (BBV), los cuales suponen en conjunto un peso porcentual aproximado del 60% durante el periodo citado¹⁸.

2.3.1. Cálculo del valor del índice.

El índice Ibex 35 tiene como valor base 3.000 al cierre del mercado del día 29 de Diciembre de 1989. La expresión que permite actualizar el valor del índice en un momento del tiempo t a partir del valor del índice en el minuto anterior es:

$$Ibex_t = Ibex_{t-1} \left(\frac{\sum_{j=1}^{35} A_{j,t} P_{j,t}}{\left(\sum_{j=1}^{35} A_{j,t-1} P_{j,t-1} \right) + J_t} \right),$$

donde:

$A_{j,t}$: Número de acciones del activo j en el momento del tiempo t .

$P_{j,t}$: Precio cotizado del activo j en el momento del tiempo t .

J_t : Factor de corrección cuando se produce una ampliación de capital,

es decir la actualización se produce a través del cociente relativo de capitalizaciones totales de las 35 empresas que intervienen en la composición del índice. La Tabla 2.7 que aparece en el Apéndice 1, muestra un ejemplo de cómo actualizar el valor del Ibex 35 a partir de precios de cierre. Cuando se produce una ampliación de capital con derechos de suscripción preferente por parte de alguna de las sociedades incluidas en el índice, se procede al ajuste a través del factor de corrección J , en el momento en que las acciones empiecen a cotizar sin derecho de suscripción en el sistema de Interconexión Bursátil. En ese día se procede al aumento del

¹⁷ Como especificaremos en los siguientes Capítulos el periodo muestral utilizado abarca exactamente desde el 20 de Diciembre de 1993 hasta el 20 de Diciembre de 1996.

¹⁸ Tengamos en cuenta que el peso con el que cada activo entra en la composición del índice varía cuando cambia alguno de los factores que afectan al nivel de capitalización, es decir, el número de títulos o la cotización del activo.

número de acciones de la sociedad en cuestión, suponiendo que la ampliación será totalmente suscrita.

Otras características técnicas relevantes para el cálculo del Ibex 35 son las siguientes:

- ◇ El Ibex 35 no se ajusta por dividendos.
- ◇ Si bien el Ibex 35 no se ajusta por la emisión de obligaciones convertibles en la fecha de la emisión, en las revisiones semestrales en las que se analiza la recomposición del índice, se procede a la inclusión de las acciones convertidas por los obligacionistas durante los seis meses anteriores¹⁹.
- ◇ El Ibex 35 se ajusta cuando alguna de las acciones del índice varía su valor nominal, mediante el ajuste del nuevo número de acciones resultante.
- ◇ En el caso de fusiones y absorciones se distinguen los siguientes casos:
 - ◇ Si la sociedad absorbente está incluida en el Ibex 35, y la absorbida no lo está, el Ibex 35 se ajusta como si se tratara de una ampliación de capital de la forma anteriormente descrita.
 - ◇ Si la sociedad absorbente no está incluida en el Ibex 35, pero la absorbida si lo está, entonces el índice se ajusta modificando el término $\sum_{j=1}^{35} A_{j,t-1} P_{j,t-1}$, de forma que se excluye la capitalización de la sociedad absorbida y se incluye el siguiente valor más líquido durante el periodo de control.
 - ◇ Si la sociedad absorbente y la absorbida están incluidas en el Ibex 35, el índice se ajustará en la fecha de absorción como si se tratara de una ampliación de capital, y se modifica asimismo el término $\sum_{j=1} A_{j,t-1} P_{j,t-1}$, de forma que de nuevo existan 35 empresas, introduciendo el siguiente valor más líquido durante el periodo de control.

¹⁹ Si se produce una conversión de forma que se altere considerablemente el número de acciones emitidas, el Comité Asesor Técnico puede proponer la inclusión del nuevo número de acciones antes de la revisión semestral de Enero o Julio.

- ◊ Cuando un nuevo valor puede ser negociado en el Sistema de Interconexión Bursátil el Comité Asesor Técnico puede proceder a la inclusión de dicho valor dentro del Ibex 35, excluyendo automáticamente el correspondiente valor por razones de liquidez.

2.4. UTILIDAD DEL FUTURO COMO INSTRUMENTO DERIVADO.

El uso de los contratos de futuros como instrumento financiero dentro en los mercados de derivados responde básicamente a tres objetivos diferentes:

2.4.1. Cobertura.

Consideremos un inversor que en un momento del tiempo t compra una cartera compuesta por S activos. Denominemos V_t al valor de la cartera, es decir: $V_t = \sum_{j=1}^S A_{j,t} P_{j,t}$

Supongamos que el inversor anticipa que la futura evolución de los precios de los activos que integran su cartera será de tal forma que el valor de la cartera en t_1 ($t_1 > t$) pudiera ser inferior al valor en t , de forma que el objetivo de dicho inversor es mantener el valor de su cartera. Una vez delimitado el horizonte de previsión, que sin pérdida de generalidad podemos suponer igual a $T-t$, el procedimiento a seguir consiste en la venta de futuros sobre el Ibex 35. Para ello en primer lugar el inversor debe determinar el número de contratos de futuros con los que es necesario operar, que denominaremos N . Sea S_t el valor del Ibex 35 en el momento del tiempo t ; en este caso:

$$N = \left(\frac{V_t}{S_t \cdot 100} \right) \beta$$

donde β es la *Beta* de la cartera que se pretende cubrir²⁰. Por tanto el inversor debe proceder a una venta de N contratos de futuros a un precio $F_{t,T}^*$ (precio teórico del contrato de futuros con vencimiento T según el modelo de valoración *Cost of Carry*), lo cual supone un desembolso inicial en concepto de garantías del 10% sobre el nominal real de la operación, es decir de $10 N S_t$ ptas.

²⁰ La *Beta* de una cartera se calcula a partir de las *betas* individuales de cada uno de los activos que integran dicha cartera, ponderadas por el peso que del valor total de la cartera representa la cantidad

invertida en dicho activo es decir: $\beta = \sum_{j=1}^S \frac{A_{j,t} P_{j,t}}{V_t} \beta_j$.

Obviando la existencia de liquidación diaria de pérdidas y ganancias el saldo monetario obtenido con la operación en el mercado de derivados será $(F_{t,T}^* - S_T)100N$, de forma que teniendo en cuenta la expresión de N se tiene que dicho saldo será igual a:

$$\beta V_t \left[(1+r_{t,T}) - \frac{(S_T + D_{t,T})}{S_t} \right], \text{ donde } D_{t,T} \equiv \sum_i \sum_{j=t}^T \frac{D_{i,j}}{P_{i,j}} \omega_{i,j} S_i (1+r_{t,T}) \text{ siendo:}$$

$D_{i,j}$: Dividendo bruto pagado por el activo i en el periodo j ,

$P_{i,j}$: Precio cotizado del activo i en el periodo j ,

$\omega_{i,j}$: Ponderación dentro del Ibex 35 del activo i en el periodo j ,

$r_{t,T} = r \left(\frac{T-t}{365} \right)$, donde r es el tipo de interés sin riesgo,

de modo que $\left[\frac{(S_T + D_{t,T})}{S_t} \right]$ representa la revalorización positiva o negativa del Ibex

35.

Por tanto el rendimiento bruto obtenido con la cartera inicialmente adquirida en t será igual a:

$$\beta \left(r_{t,T} - r_{t,T}^S - R_{t,T}^D \right), \text{ donde } r_{t,T}^S = \frac{S_T - S_t}{S_t} \text{ y } R_{t,T}^D = \frac{D_{t,T}}{S_t}$$

Si la cartera está diversificada de forma óptima es de esperar que $0 < \beta < 1$. En ese caso si la Bolsa ha experimentado una tendencia a la baja desde el momento en el que el agente invirtió en la cartera hasta el periodo de vencimiento del contrato de futuros, hecho que puede interpretarse como un decremento en el valor del índice, tendremos que $r_{t,T}^S < 0$. En este caso, la rentabilidad bruta de la cartera será igual al tipo de interés sin riesgo siempre y cuando:

$r_{t,T} = \frac{-\beta}{(1-\beta)} \left(r_{t,T}^S + R_{t,T}^D \right)$, es decir, en este caso el inversor lograría convertir la cartera de renta variable en una cartera de renta fija.

En el caso de que ninguno de los activos que integran la cartera pague dividendos durante el periodo de cobertura $(T-t)$, se puede observar que la rentabilidad bruta

obtenida a la cartera será siempre positiva ante una caída del índice. Teniendo en cuenta que el efecto de los dividendos es marginal, podemos afirmar que la probabilidad de que nuestra cartera de renta variable obtenga una rentabilidad bruta positiva está próxima a uno.

La estrategia consiste en definitiva, en vender futuros en una cantidad nominal equivalente al valor en pesetas de la cartera de acciones que se pretende cubrir, de forma que ante una caída de la Bolsa (podemos interpretar este hecho como un decremento en el valor del índice) las pérdidas generadas por la devaluación de la cartera se vean compensadas por los beneficios obtenidos por la venta de futuros. Esta estrategia es asimismo aplicada cuando se trata de cubrir la apreciación de una cartera adquirida con anterioridad al periodo t , o cuando se pretende *bloquear* la depreciación de la misma.

2.4.2. Especulación.

Los contratos de futuros también son susceptibles de ser utilizados para efectuar operaciones especulativas. El procedimiento es similar al explicado anteriormente, si bien en este caso no hay una cartera que cubrir. En este sentido, y condicional a la evolución estimada por el agente para el mercado de contado, el inversor venderá futuros en el caso de que prevea una caída de la Bolsa, mientras que por el contrario comprará futuros en el caso de que estime una tendencia al alza en el mercado *spot*. Los beneficios o pérdidas obtenidos por el operador dependerán de: a) que la evolución estimada para el mercado de contado sea la correcta, b) el número de contratos comprados o vendidos y c) que efectivamente el agente encontrase contrapartida en el mercado de futuros al precio deseado; este hecho será tanto más probable cuanto más contradictorio sea el *sentimiento generalizado* del mercado y la previsión efectuada por el inversor.

2.4.3. Arbitraje.

Las operaciones de arbitraje contribuyen considerablemente al buen funcionamiento del mercado en su conjunto, pues en ellas se ven implicados tanto el mercado de derivados como el mercado de contado. El hecho de que el mercado esté arbitrado tiene como consecuencia que la base empírica (diferencial futuro - contado) evolucione dentro de unas bandas (denominadas de no arbitraje) de forma que no pueda ser posible la obtención de beneficio sin riesgo operando simultáneamente en ambos mercados. El precio teórico de un contrato de futuros, según el modelo de *Cost of Carry* se basa en la replicación del índice y el

mantenimiento de dicha cesta hasta el vencimiento. Bajo los supuestos de a) tipos de interés deterministas en el corto plazo y b) ausencia de costes de transacción la valoración teórica de un contrato en t con vencimiento T , a partir de la versión del modelo en tiempo discreto, será:

$$F_{i,T}^* = S_i \left(1 + r \left(\frac{T-t}{365} \right) \right) - \sum_i \sum_{j=t}^T D_{i,j} \left(1 + r \left(\frac{T-t}{365} \right) \right).$$

$$\text{Si } F_{i,T}^* > S_i \left(1 + r \left(\frac{T-t}{365} \right) \right) - \sum_i \sum_{j=t}^T D_{i,j} \left(1 + r \left(\frac{T-t}{365} \right) \right) \text{ entonces puede obtenerse}$$

beneficio sin asumir riesgo comprando contado y vendiendo futuros; en este caso se financiaría la replicación del índice mediante un préstamo al tipo de interés sin riesgo y se reinvertirían los dividendos a dicho tipo de interés.

$$\text{Si } F_{i,T}^* < S_i \left(1 + r \left(\frac{T-t}{365} \right) \right) - \sum_i \sum_{j=t}^T D_{i,j} \left(1 + r \left(\frac{T-t}{365} \right) \right) \text{ la estrategia a seguir consistiría}$$

en comprar futuros y vender contado. En este caso, se debe invertir la venta de contado así como financiar el pago de dividendos al tipo de interés sin riesgo.

En la práctica, la operación de arbitraje, ya sea *Cash and Carry* o *Reverse Cash and Carry*, se lleva a cabo siempre y cuando el beneficio obtenido con la misma sea superior a los costes de transacción generados.

CUADRO 2.1. Diferencias entre Mercados.

MERCADOS FORWARD (NO ORGANIZADOS)	MERCADOS DE FUTUROS (ORGANIZADOS)
Contrato no Estandarizado.	Contrato Estandarizado.
Contrato de carácter privado entre las dos partes.	Contrato a través de un organismo intermediario: Cámara de Compensación.
Vigencia del contrato hasta la fecha de vencimiento (No existencia de mercado secundario).	Posibilidad de cancelar la posición antes del vencimiento (Existencia de mercado secundario).
Posibilidad de existencia de depósito en garantías por acuerdo mutuo entre las partes.	Existencia de depósitos en garantía obligatorios y establecidos en el Reglamento del Mercado.
Liquidación de la pérdida o ganancia en la fecha de vencimiento.	Existencia de liquidación diaria de pérdidas y ganancias.

CUADRO 2.2. Principales Contratos de Futuros sobre Índice Bursátil.

FUTUROS SOBRE:	MERCADO
CAC 40	MATIF (Marché à Terme International de France)
DAX	DTB (Deutsche Terminbourse)
FT-SE 100 (Financial Times Stock Exchange 100)	LIFFE (London International Financial Futures Exchange)
Ibex 35	MEFF RV (Mercado Español de Futuros, Renta Variable)
MMI (Major Market Index)	CBOT (Chicago Board of Trade)
New York Stock Exchange Composite Index	NYFE (New York Futures Exchange)
Nikkei 225 Stock Average Index	Osaka Securities Exchange
Standard & Poor's 500 (S&P 500)	CME (Chicago Mercantile Exchange)
Value Line Composite Index	KCBOT (Kansas City Board of Trade)

TABLA 2.3. Volumen negociado en número de contratos.

	1998 Enero - Marzo	1997	1996	1995	1994	1993	1992
Futuro Ibex 35 Plus	2.000.008	6.053.283	2.924.367	2.809.970	2.764.728	1.085.601	286.353
Opciones Ibex 35 Plus	578.517	1.411.101	863.961	817.960	756.637	356.348	244.666
Opciones sobre Acciones	379.988	1.485.074	951.271	831.326	244.200	158.516	-----

Fuente: MEFF RV.

Nota: Los datos de los años 1992-1996 han sido ajustados al nuevo nominal de los contratos. Por ejemplo, el multiplicador del contrato de futuros sobre el Ibex ha pasado de 100 pts. por punto de índice a 1.000 pts.

TABLA 2.4. Tasas de Variación anuales (número de contratos).

	92-93	93-94	94-95	95-96	96-97
Futuro	279,4%	154,6%	1,6%	4,1%	106,9%
Opciones	45,6%	112,3%	8,1%	5,6%	63,2%

CUADRO 2.5. Liquidación diaria de Pérdidas y Ganancias.

	PRECIO FUTURO < PLD	PRECIO FUTURO > PLD
COMPRADOR	<i>BENEFICIO (Recibe Efectivo)</i>	<i>PERDIDA (Entrega Efectivo)</i>
VENDEDOR	<i>PERDIDA (Entrega Efectivo)</i>	<i>BENEFICIO (Recibe Efectivo)</i>
	P. COMPRA < P. VENTA	P. COMPRA > P. VENTA
COMPRADOR Y VENDEDOR	<i>BENEFICIO (Recibe Efectivo)</i>	<i>PERDIDA (Entrega Efectivo)</i>

TABLA 2.6. Redefiniciones Ibox 35.

	Redef. Julio 93		Redef. Enero 94		Redef. Julio 94	
	<i>Número</i>	<i>Pond.</i>	<i>Número</i>	<i>Pond.</i>	<i>Número</i>	<i>Pond.</i>
	<i>Acciones</i>	<i>(%)</i>	<i>Acciones</i>	<i>(%)</i>	<i>Acciones</i>	<i>(%)</i>
<i>ACE</i>	194.647.106	2.52	194.638.950	2,32	194.638.950	1,99
<i>ACX</i>	9.666.657	0.77	9.666.657	0,84	9.666.657	0,82
<i>AGS</i>	40.263.720	1.29	41.270.313	1,04	41.270.313	1,02
<i>ALB</i>	18.405.651	0.85	18.405.651	0,79	18.405.651	0,85
<i>AMP</i>	0	0.00	0	0,00	0	0,00
<i>ARG</i>	125.500.000	5.80	125.500.000	5,79	125.500.000	4,91
<i>ASL</i>	46.235.103	0.73	0	0,00	0	0,00
<i>AUM</i>	66.724.886	0.97	66.724.886	0,88	66.724.886	0,74
<i>BBV</i>	231.000.000	7.01	231.000.000	5,59	231.000.000	5,59
<i>BCH</i>	172.075.292	6.00	172.075.292	4,54	172.075.292	3,70
<i>BKT</i>	17.056.672	1.40	16.240.289	1,45	15.428.280	1,43
<i>BTO</i>	98.736.278	2.31	105.318.575	2,14	140.424.766	1,10
<i>CAN</i>	37.732.256	0.81	37.732.256	1,25	37.732.256	1,24
<i>CTE</i>	0	0.00	0	0,00	96.000.000	2.24
<i>CTF</i>	0	0.00	0	0,00	0	0,00
<i>CTG</i>	37.314.699	2.72	37.314.699	2,42	37.314.699	3,25
<i>CUB</i>	4.971.464	0.33	4.971.464	0,41	4.971.464	0,42
<i>DRC</i>	55.449.122	1.05	55.449.122	1,05	55.449.122	1,04
<i>EBA</i>	48.116.048	0.64	0	0,00	0	0,00
<i>ELE</i>	260.005.599	11.43	260.005.599	13,52	260.005.599	12,93
<i>ENC</i>	0	0.0	0	0,00	0	0,00
<i>EXT</i>	0	0.0	0	0,00	0	0,00
<i>FCC</i>	14.374.830	1.61	15.012.747	1,97	15.012.747	1,74
<i>FEC</i>	208.592.832	1.40	208.592.832	1,37	208.592.832	1,58
<i>FOC</i>	0	0.00	0	0,00	0	0,00
<i>GES</i>	0	0.00	11.290.907	0,59	11.290.907	0,61
<i>HHU</i>	16.730.939	0.18	16.730.939	0,22	16.730.939	0,24
<i>IBE</i>	875.363.042	6.84	902.031.489	7,07	909.639.406	7,05
<i>MAP</i>	24.510.168	1.20	25.478.738	1,46	25.485.770	1,08
<i>MVC</i>	19.477.016	0.71	22.473.480	0,89	22.473.951	0,88
<i>POP</i>	28.900.000	3.94	28.900.000	3,54	28.900.000	3,47

<i>PRY</i>	189.245.880	2.82	189.245.880	2,78	189.245.880	2,79
<i>REP</i>	300.000.000	9.44	300.000.000	10,21	300.000.000	9,53
<i>SAN</i>	111.037.484	6.29	111.199.125	5,64	152.254.617	6,06
<i>SEV</i>	296.402.509	1.40	296.402.509	1,59	297.070.168	1,61
<i>TAB</i>	36.823.432	1.35	36.823.432	1,13	36.823.432	1,04
<i>TEF</i>	926.959.151	12.59	927.718.704	13,23	939.470.820	13,97
<i>UNF</i>	290.138.905	1.40	290.138.905	1,33	290.138.905	1,55
<i>URA</i>	52.391.286	0.42	52.391.286	0,49	52.391.286	0,67
<i>VAL</i>	36.875.142	0.61	43.021.001	0,91	43.021.001	0,86
<i>VDR</i>	7.260.000	0.60	7.260.000	0,57	7.260.000	0,65
<i>VIS</i>	23.254.728	0.32	23.254.728	0,40	23.254.728	0,63

Fuente: Sociedad de Bolsas S.A.

Tabla 2.6. (Continuación).

	<i>Redef Enero 95</i>		<i>Redef. Julio 95</i>		<i>Redef. Enero 96</i>		<i>Redef. Julio 96</i>	
	<i>Número</i>	<i>Pond.</i>	<i>Número</i>	<i>Pond.</i>	<i>Número</i>	<i>Pond.</i>	<i>Número</i>	<i>Pond.</i>
	<i>Acciones</i>	<i>(%)</i>	<i>Acciones</i>	<i>(%)</i>	<i>Acciones</i>	<i>(%)</i>	<i>Acciones</i>	<i>(%)</i>
<i>ACE</i>	204.370.897	1.74	204.370.897	1,93	217.995.623	2,14	217.995.623	1,79
<i>ACX</i>	10.633.322	1.23	11.632.565	1,27	11.695.821	1,02	11.695.821	0,95
<i>AGS</i>	0	0.00	43.295.466	1,16	43.141.375	1,11	43.135.376	1,24
<i>ALB</i>	17.500.000	0.82	16.626.000	0,84	16.626.000	0,88	15.960.000	1,03
<i>AMP</i>	0	0.00	13.954.583	0,11	13.954.583	0,14	13.954.583	0,14
<i>ARG</i>	125.000.000	4.91	125.000.000	4,52	125.000.000	4,47	125.000.000	4,25
<i>ASL</i>	0	0.00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
<i>AUM</i>	66.724.886	0.69	66.724.886	0,78	66.724.886	0,75	66.724.886	0,67
<i>BBV</i>	231.000.000	6.32	231.000.000	6,38	224730000	6,99	224.730.000	7,07
<i>BCH</i>	163.773.099	4.32	163.773.099	3,38	163.820.184	2,87	163.820.184	2,59
<i>BKT</i>	15.428.280	1.41	15.428.280	1,35	14.700.565	1,23	14.700.656	1,28
<i>BTO</i>	612.659.404	4.75	612.659.404	4,11	612.659.404	3,66	612.659.404	3,08
<i>CAN</i>	37.732.256	1.14	37.732.256	1,12	37.732.256	1,13	37.732.256	1,02
<i>CTE</i>	96.000.000	2.13	96.000.000	2,25	96.000.000	1,87	96.000.000	1,77
<i>CTF</i>	19.602.811	0.65	0	0,00	0	0,00	0	0,00
<i>CTG</i>	37.314.669	3.54	37.314.669	4,34	37.314.669	5,02	37.314.669	6,08
<i>CUB</i>	5.220.037	0.41	5.220.037	0,32	5.220.037	0,25	5.220.037	0,26
<i>DRC</i>	59.429.122	0.92	59.429.122	0,84	57.430.454	0,65	57.430.454	0,59

Cap. 2. Apéndice. Cuadros y Tablas Estadísticas.

EBA	0	0.00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
ELE	260.005.599	11.68	260.005.599	12,50	260.005.599	12,71	260.005.599	12,59
ENC	18.000.000	0.47	18.000.000	0,45	21.225.800	0,30	21.225.800	0,23
EXT	0	0.00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
FCC	15.012.747	1.62	15.012.747	1,24	15.012.747	0,99	15.012.747	0,96
FEC	208.592.832	1.22	208.592.832	1,18	208.592.832	1,28	208.592.832	1,32
FOC	0	0.00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
GES	11.290.907	0.53	0	0,00	11.290.907	0,55	11.290.907	0,49
HHU	0	0.00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
IBE	924.903.010	6.29	924.959.095	6,78	925.581.602	7,31	928.543.392	7,40
MAP	25.485.770	1.17	26.172.386	1,30	27.202.418	1,31	27.205.209	1,08
MVC	22.472.951	0.80	22.473.951	0,65	22.473.951	0,64	22.473.951	0,60
POP	28.900.000	3.79	28.900.000	4,18	28.900.000	4.60	28.900.000	4,00
PRY	189.245.880	3.15	189.245.880	3,42	189.245.880	3.43	189.245.880	3,67
REP	300.000.000	8.98	300.000.000	9,19	300.000,000	8.49	300.000.000	8,10
SAN	159.715.322	6.75	159.715.322	6,13	159.715.322	6.92	159.715.322	5,79
SEV	297.070.168	1.55	297.070.168	1,78	297.070.168	1.99	297.317.990	2,13
TAB	36.823.432	1.08	36.823.432	1,34	36.823.432	1.21	36.823.432	1,44
TEF	939.470.820	12.24	939.470.820	11,78	939.470.820	11,23	939.470.820	13,44
UNF	290.138.905	1.33	290.976.685	1,33	291,030,985	1,51	291.030.985	1,45
URA	52.391.286	0.56	52.391.286	0,62	52.391.286	0,41	52.391.286	0,38
VAL	43.021.001	0.32	43.021.001	0,72	43.021.001	0,69	43.021001	0,66
VDR	7.260.000	0.59	0	0,00	0	0,00	0	0,00
VIS	23,254,728	0.39	23.254.728	0,33	23,254,728	0,24	23.254.728	0,29

Fuente: Sociedad de Bolsas S.A.

TABLA 2.7. ACTUALIZACIÓN DEL IBEX 35. UN EJEMPLO.

CÓDIGO ACTIVO	Nº ACCIONES (A _j)	PRECIO	PRECIO	PONDERACIÓN (%) EN EL IBEX 35
		CIERRE (P _{t+1}) 17/09/92	CIERRE (P _t) 18/09/92	
ACE	176.967.392	2.120	1.220	2,89
ACX	9.666.657	7.220	7.600	0,74
AGR	16.852.000	598	620	0,14
ALB	18.405.651	1.045	1.100	0,81
ARA	21.062.935	720	700	0,20
ASL	46.226.807	1.020	1.105	0,68
AUM	70.316.081	1.295	1.310	1,23
BBV	231.000.000	2.400	2.450	7,57
BCH	171.451.882	3.160	3.210	7,36
BKT	18.899.358	5.850	5.990	1,51
BTO	98.736.278	1.155	2.185	2,89
CAN	37.732.256	1.745	1.745	0,88
CTG	37.314.669	5.900	5.990	2,99
CUB	4.971.464	4.945	5.050	0,34
DRC	59.449.122	3.490	3.300	0,87
ELE	260.005.599	3.280	3.305	11,58
FCC	16.888.822	5.900	5.900	1,33
FEC	208.592.832	595	595	1,66
IBE	829.334.971	700	685	7,60
MAP	22.442.224	3.400	3.530	1,06
MVC	16.974.612	2.880	3.025	0,69
POP	28.900.000	9.760	10.000	3,87
PRY	189.245.880	1.550	1.550	3,92
REP	300.000.000	2.275	2.345	9,41
SAN	111.037.484	4.050	4.180	6,21
SAR	48.000.000	565	387	0,25
SEV	294.910.606	492	474	1,87
TAB	36.823.342	3.970	3.800	1,87
TEF	926.959.151	1.075	1.110	13,76
UNF	288.095.915	499	477	1,84
URA	30.477.749	358	550	0,22
URB	27.841.470	436	468	0,17
VAL	32.970.116	1.000	1.150	0,51
VDR	7.260.000	5.210	5.750	0,74
VIS	23.249.076	1.000	1.020	0,32

Fuente: MEFF RV.

$$Ibex_{t+1} = Ibex_t \frac{\sum_{j=1}^{35} A_{j,t+1} P_{j,t+1}}{\sum_{j=1}^{35} A_{j,t} P_{j,t}} = 2.249,89 \frac{7.475.167.461.809}{7.347.829.684.632} = 2.288,88$$

CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS RENDIMIENTOS. CAUSALIDAD ENTRE EL MERCADO DE FUTUROS Y EL MERCADO DE CONTADO.

3.1. INTRODUCCIÓN.

Desde el 14 de Enero de 1992 existe la posibilidad de negociar en España operaciones de futuros con el índice Ibex 35 como activo subyacente. Desde su aparición, el mercado español de derivados sobre renta variable ha experimentado un fuerte desarrollo, especialmente en lo que hace referencia al contrato de futuro, cuya evolución en volumen ha experimentado un crecimiento prácticamente exponencial, hecho que puede corroborarse con toda claridad cuando se observa la Tabla 2.3 del Capítulo 2. Por ejemplo, teniendo en cuenta el periodo de negociación que comprende desde su implantación hasta finales del año 1994, el número de contratos negociados se ha incrementado en 125.000 contratos por día.

La aparición del mercado español de futuros sobre el Ibex 35 lleva asociado el planteamiento de una cuestión que se ha convertido en tópico dentro de la literatura financiera sobre mercados de futuros financieros: ¿Existe alguna relación o nexo entre los movimientos de los precios en el mercado de contado y en el mercado de futuros?. La respuesta a dicha cuestión es de notable interés, tanto para las instituciones partidarias de la existencia de un mercado de derivados sobre un índice bursátil, como para los críticos del mismo. Las primeras consideran que la base empírica (diferencia entre el futuro cotizado y el valor del índice) es un indicador de los movimientos subsecuentes del índice¹, por lo que la existencia de este tipo de instrumentos es una magnífica vía de cobertura frente al riesgo. Por el contrario, la opinión de otras instituciones, fundamentalmente reguladoras del funcionamiento de los mercados financieros, argumentan que los mercados de derivados tienden a distorsionar la evolución de los rendimientos en el mercado del activo subyacente, fundamentalmente a lo largo del día de vencimiento del contrato de futuros.

¹ Desde este punto de vista, una base excesivamente positiva es interpretada como un mercado al alza, o al revés, es decir, un diferencial entre el valor del Ibex 35 y el precio del contrato de futuros fuertemente negativo se interpreta como una señal de mercado que revela expectativas de los agentes acerca de un descenso de la Bolsa.

Cap. 3. Dinámica y Causalidad Entre Rendimientos.

Si los mercados fueran eficientes y su funcionamiento estuviera exento de costes de transacción, los rendimientos obtenidos en ambos mercados deberían estar perfecta y contemporáneamente correlacionados. En este caso, no existiría posibilidad alguna de obtener beneficio mediante operaciones de arbitraje, puesto que los precios en ambos mercados se ajustarían de forma automática. Esta dinámica operativa tiene como consecuencia que, aún bajo el supuesto de que todos los operadores en el mercado utilicen un mismo modelo teórico de valoración, las reacciones ante cambios en las variables relevantes para la toma de posiciones (base teórica, tipo de interés, tiempo para vencimiento, etc.) no son homogéneas, es decir los precios del mercado de contado y el mercado de futuros no incorporan con la misma rapidez la nueva información que llega al mercado².

De esta forma, el hecho de que uno de los dos mercados reaccione con mayor rapidez ante el flujo de información disponible, puede tener como reflejo la existencia de una relación de causalidad entre los rendimientos en ambos mercados, es decir, que la evolución pasada de los precios en un mercado tenga capacidad predictiva sobre la evolución futura de los precios en el otro mercado. Esta característica ha sido detectada en muchos estudios empíricos sobre diferentes mercados de futuros en los que el activo subyacente es un índice bursátil. En este sentido, existen numerosos trabajos de investigación que han analizado la relación de causalidad entre los rendimientos del mercado *spot* y los correspondientes al mercado de futuros. Kawaller, Koch y Koch (1987)³, Stoll y Whalley (1990), Chan (1992)⁴, así como Wahab y Lasgari (1993)⁵, entre otros, y más recientemente por Abhyankar (1995)⁶, Koutmos y Tucker (1996)⁷, e Iihara et al. (1996)⁸. Todos ellos, básicamente llegan a la conclusión de que, si bien existe una relación de causalidad bidireccional entre ambos mercados, el futuro adelanta los movimientos del índice entre 25 a 40 minutos mientras que, en el sentido contrario, la

²Por otro lado, no debe olvidarse que los mercados no son perfectos, en el sentido de que existen restricciones normativas y costes de transacción.

³ Analizan los futuros sobre el índice "Standard and Poor's 500" (S&P 500), que se negocia en el "Chicago Mercantile Exchange" (CME).

⁴ Analizan tanto los futuros sobre el S&P 500 como los futuros sobre el "Major Market Index" (MMI) contrato éste último que se negocia en el "Chicago Board of Trade" (CBOT).

⁵ Estudian tanto los futuros sobre el S&P 500, así como los futuros sobre el "Financial Times-Stock Exchange 100" (FT-SE 100), que se negocian en el "London International Financial Futures Exchange" (LIFFE).

⁶ Analizan el futuro sobre el FT-SE 100.

⁷ Estudian el futuro sobre S&P 500.

⁸ Llevan a cabo el estudio del comportamiento del contrato de futuro sobre el "Nikkei Stock Average" (NSA) que se negocia en el "Osaka Securities Exchange" (OSE).

Cap. 3. Dinámica y Causalidad Entre Rendimientos.

anticipación predictiva generalmente nunca se extiende más allá de 10 minutos. Para el mercado español de futuros sobre el Ibex 35, las investigaciones realizadas parten del pionero trabajo de Caballero y Novales (1995), al que se suceden los de Lafuente (1995), Solórzano (1996), Climent y Pardo (1996), Muñoz et al. (1997), Blanco (1998), en los que en todos ellos se obtiene evidencia empírica en favor de la característica anteriormente señalada.

A lo largo de este Capítulo se lleva a cabo un estudio empírico del comportamiento de los rendimientos en el mercado de futuros sobre el Ibex 35 y los rendimientos en el índice, con objeto de caracterizar la estructura de la relación de causalidad entre los precios de ambos mercados. Para ello, se utiliza, de un lado, la metodología de vectores autorregresivos, y de otro, las recientes investigaciones sobre cointegración entre series temporales. Este capítulo, desarrollado sobre la base del trabajo realizado por Lafuente (1995), se diferencia respecto a los dos anteriormente señalados de Caballero y Novales (1995), y Solórzano (1997) en dos aspectos fundamentales: (a) respecto al primero de los trabajos, se ha incrementado tanto la frecuencia de observación de muestral, que ahora es de 5 minutos, en vez de los datos horarios allí utilizados, como el periodo muestral utilizado, que en este caso abarca desde el 20 de Diciembre de 1993 hasta el 20 de Diciembre de 1996 y (b) con relación al segundo de los trabajos, si bien la frecuencia de negociación es idéntica, de 5 minutos, el periodo muestral considerado es de nuevo más amplio, muy superior a los 3 meses de negociación considerados por Solórzano (1996); además, este trabajo no tiene en cuenta la existencia de una relación de equilibrio a largo plazo entre las series de precios cotizados del contrato de futuros y del activo subyacente, el Ibex 35. Al respecto, Engle y Granger (1987) muestran que si dos series temporales no son estacionarias, pero una combinación lineal de ellas lo es, es decir, si ambas series están cointegradas, entonces la utilización de un modelo dinámico bivalente que utiliza únicamente primeras diferencias, y retardos de éstas, es incorrecta, en el sentido de que ignora los cambios a corto plazo que permiten alcanzar al sistema el equilibrio a largo plazo. Blanco (1998) propone que la relación de causalidad debe estudiarse no directamente sobre los precios de mercado, sino sobre los mismos corregidos del *cost of carry*, es decir del diferencial entre la rentabilidad del activo libre de riesgo y la expectativa acerca de la tasa de acumulación de dividendos. El problema estriba en el hecho de que esta variable no es directamente observable. Blanco (1998), suponiendo que este diferencial es constante dentro del día propone su estimación a partir de la media diaria entre la diferencia entre el precio del

Cap. 3. Dinámica y Causalidad Entre Rendimientos.

contrato de futuros y el valor del índice. Los resultados obtenidos por Blanco (1998) sugieren que la relación de causalidad es menos asimétrica que la detectada en trabajos previos.

La existencia de una relación de cointegración entre dos variables X e Y implica que el comportamiento de ambas puede explicarse a partir de un modelo de corrección de error que incluya las desviaciones del equilibrio en el periodo anterior así como los valores retardados de las primeras diferencias de ambas variables, una posible vía para contrastar la existencia de una relación de causalidad⁹ consiste en examinar, tanto los valores estimados como la significatividad estadística de los coeficientes asociados al término de corrección de error y a las correspondientes variables retardadas en un modelo vectorial de corrección de error. Esta es, en definitiva la metodología utilizada en este trabajo. Por otro lado, en este trabajo se lleva a cabo un análisis adicional con objeto de calibrar la importancia de las diferentes frecuencias de negociación de cada uno de los activos que entran en la composición del activo subyacente.; en este sentido, en la línea de lo propuesto inicialmente por Stoll y Whalley (1990) y posteriormente aplicado por Abhyankar (1995), se procede inicialmente a la estimación de modelos $ARMA(p,q)$ para las series de rendimientos. En segundo lugar se lleva a cabo la estimación de un Vector Autorregresivo sobre las series de residuos obtenidas inicialmente. La justificación de esta forma de proceder es planteada por Stoll y Whalley de la siguiente forma: dado que no todos los activos que intervienen en la composición del activo subyacente poseen un similar grado de liquidez, el valor del índice no refleja en cada momento del tiempo el valor de mercado actual de la cesta representativa del conjunto de la Bolsa, por lo que a la hora de obtener evidencia empírica sobre cuál de los mercados incorpora más rápidamente la nueva información disponible es conveniente depurar las series de tales frecuencias de negociación no homogéneas en los activos individuales. En caso contrario, la relación de causalidad no se analiza sobre los *verdaderos* rendimientos de ambos mercados. Estos autores plantean que el proceso de filtrado de las series puede realizarse a través de la estimación de modelos mixtos autorregresivos de medias móviles para los rendimientos. De esta forma, los residuos obtenidos a partir de la estimación de los modelos $ARMA(p,q)$, que Stoll y Whalley denominan *returns innovations* pueden interpretarse como una estimación de los *verdaderos* rendimientos de cada mercado. En definitiva, lo que estos autores plantean, es eliminar la estructura de

⁹ Engle y Granger (1987) señalan que si dos series temporales correspondientes a dos variables X e Y están cointegradas, debe de existir una relación de causalidad entre ambas al menos en una dirección, y muy probablemente en las dos.

Cap. 3. Dinámica y Causalidad Entre Rendimientos.

autocorrelación que presentan los rendimientos de cada mercado al analizar las características de la posible relación de causalidad existente entre los rendimientos del mercado de futuros y los rendimientos experimentados por el activo subyacente, en nuestro caso un índice bursátil.

El resto del Capítulo 3 se desarrolla como sigue: en la sección 3.2 se describe la relación entre el precio teórico de un contrato de futuros y el precio del activo subyacente, en este caso la cotización del Ibex 35, a partir del modelo de valoración más ampliamente utilizado en la literatura, esto es, el modelo de valoración *Cost of Carry*. En la sección 3.3 se describe detalladamente todo el conjunto de información disponible, y dentro de éste, las variables utilizadas en el análisis. La sección 3.4 corresponde al estudio de la posible existencia de una relación de cointegración entre los rendimientos de ambos mercados. En la sección 3.5 exponemos la metodología utilizada, y finalmente, en la sección 3.6 se resumen las principales conclusiones y señala posibles vías de investigación futuras.

3.2. EL PRECIO TEÓRICO DE UN CONTRATO DE FUTUROS.

Un contrato de futuros sobre el Ibex 35 representa un compromiso de compra o venta, en una fecha futura (fecha de vencimiento), de una cesta de 35 acciones, a un precio que es determinado en el momento que se cruza la operación. Sin embargo, en este tipo de contratos nunca se produce la entrega *física* de la cartera de acciones, sino que el contrato se va liquidando por diferencias día a día. Para evaluar las pérdidas o ganancias experimentadas en cada sesión, se calcula diariamente el precio de liquidación diaria. Para los futuros comprados, si la diferencia entre el precio de liquidación y el precio del futuro es positiva se obtiene una ganancia, mientras que si es negativa se produce una pérdida. Para los futuros vendidos se obtiene una ganancia cuando la diferencia entre el precio del futuro y el precio de liquidación es positiva, produciéndose una pérdida en el caso contrario¹⁰. Cuando la posición es combinada, es decir, se compran y venden futuros se calcula la diferencia entre el precio de compra y el precio de venta. Si la diferencia es positiva se produce una ganancia, mientras que si es negativa tiene lugar una pérdida. Esta forma de liquidación es equivalente a la entrega de títulos, pero tiene la ventaja de que reduce considerablemente los costes de transacción, puesto que la toma

Cap. 3. Dinámica y Causalidad Entre Rendimientos.

de posiciones en el mercado de futuro básicamente requiere el desembolso del depósito en garantías.

Consideremos el modelo de valoración *cost of carry*, el modelo más ampliamente utilizado en la literatura, en su versión en tiempo continuo. Bajo los supuestos del modelo, (1) ausencia de costes de transacción, (2) ausencia de liquidación diaria de pérdidas y ganancias, (3) tipos de interés no estocásticos a corto plazo, y (4) flujo de dividendos futuros a pagar por cada uno de los activos que entran a formar parte en la composición del activo subyacente conocido, la relación teórica entre el precio de un contrato de futuros y el precio del activo subyacente (valor del índice Ibex 35) es:

$$F_{t,T} = S_t e^{(r-d)(T-t)}, \quad (1)$$

donde $F_{t,T}$ es el precio teórico de un contrato de futuros en el instante t , T es la fecha de vencimiento, por lo que $T-t$ es el tiempo que resta de vida al contrato, S_t es el valor del índice en el momento t , r es el tipo de interés sin riesgo, y d es la rentabilidad, en términos del valor de la cesta en el periodo t ¹¹ de los dividendos que serán percibidos por cada uno de los activos que integran el activo subyacente, desde la fecha de valoración del contrato de futuros hasta la fecha de vencimiento del mismo. Por tanto, el valor teórico del contrato de futuros se corresponde con el coste de oportunidad de mantener la cesta que representa el activo subyacente, desde la fecha de valoración hasta el periodo de expiración del contrato de futuros. Bajo los supuestos del modelo, es el propio mercado el que garantiza el cumplimiento de la ecuación (1). Si $F_{t,T} > S_t e^{(r-d)(T-t)}$ entonces puede obtenerse beneficio sin asumir riesgo, comprando contado y vendiendo futuros (se financiaría la réplica del índice mediante un préstamo al tipo de interés sin riesgo y se invertirían los dividendos percibidos entre t y T , de nuevo al tipo de interés sin riesgo). En el caso de que $F_{t,T} < S_t e^{(r-d)(T-t)}$ la estrategia adecuada para llevar a cabo el arbitraje consiste en comprar futuros y vender contado; en este caso debemos invertir la cantidad obtenida por la venta, así como financiar el pago de dividendos al tipo de interés sin riesgo. La primera de las estrategias se corresponde con un

¹⁰ Recordemos que las anotaciones en cuenta correspondientes a las liquidaciones diarias de pérdidas y ganancias son efectuadas por la Cámara de Compensación.

¹¹El producto del valor del índice por el multiplicador del contrato de futuros.

Cap. 3. Dinámica y Causalidad Entre Rendimientos.

arbitraje *Cash and Carry*, mientras que la segunda se corresponde con un arbitraje *Reverse Cash and Carry*.

Algunas cuestiones de interés han sido planteadas a la hora de mejorar el modelo de valoración *Cost of Carry*. Así Cornell y French (1983) afirman que es necesario valorar la existencia de una "opción temporal", la cual se deriva del hecho de que los accionistas pueden reducir los impuestos que deberán pagar disminuyendo las ganancias de capital, o postergándolas en el tiempo, ya que los impuestos sobre las ganancias de capital no son gravados hasta el momento en que la transacción que las origina no se ha efectuado. Por ejemplo, si el precio de un activo disminuye considerablemente, el inversor puede liquidar su posición de compra para generar una pérdida de capital, de forma que reciba una devolución de impuestos, e inmediatamente recomprar el activo.

En ausencia de costes de transacción la ecuación de ausencia de arbitraje debería ser satisfecha durante toda la vida del contrato de futuros. En ese caso, escribiendo (1) en logaritmos para dos periodos consecutivos y restando,

$$R_{S,t} = R_{F,t} + (r - d), \quad (2)$$

donde $R_{S,t} = \ln\left(\frac{S_t}{S_{t-1}}\right)$, y $R_{F,t} = \ln\left(\frac{F_{t,T}}{F_{t-1,T}}\right)$, es decir, la variación relativa del precio del activo subyacente es igual a la variación relativa del precio del contrato de futuros más el coste de oportunidad de mantener la cartera réplica del activo subyacente desde la fecha de valoración hasta la fecha de vencimiento del contrato de futuros. De la ecuación (2) se desprenden dos implicaciones fundamentales:

1. los rendimientos del contrato de futuro y del subyacente están perfecta y contemporáneamente correlacionados¹² de forma positiva, mientras que las tasas de rendimientos no contemporáneas están incorrelacionadas en ausencia de autocorrelación en la evolución temporal de los rendimientos del activo subyacente.

¹² Debemos tener en cuenta que en esta implicación juega un papel decisivo el supuesto de que la diferencia entre r_t y d_t se supone constante a lo largo del periodo de vida del contrato de futuros.

Cap. 3. Dinámica y Causalidad Entre Rendimientos.

2. la desviación típica de la tasa de rendimiento del contrato de futuros y la del índice son iguales, de nuevo bajo el supuesto de que entre $t-1$ y t la diferencia entre el tipo de interés sin riesgo y la tasa de acumulación de dividendos de la cartera réplica del activo subyacente permanezca constante.

Sin embargo, la evidencia empírica sobre mercados de futuros financieros correspondientes a las principales Bolsas Internacionales ponen de manifiesto la existencia de desviaciones significativas del precio cotizado del futuro respecto de su precio teórico, una característica quizá esperada, cuando se observa que la operativa real conlleva incertidumbre, no solo respecto a la evolución futura del tipo de interés libre de riesgo sino también acerca de las políticas que llevarán a cabo las empresas en el reparto de dividendos. Por otro lado, como argumentaremos más adelante, existen razones que pueden inducir a los inversores a operar con mayor intensidad en el mercado de futuros, las cuales básicamente hacen referencia a dos características de este mercado: a) el mercado de futuros permite conseguir un elevado grado de apalancamiento, y b) la operativa en el mercado de futuros reduce significativamente los costes de transacción en la gestión dinámica de carteras de renta variable. Si el comportamiento de los operadores otorga una mayor profundidad de mercado en el instrumento derivado, es decir la reacción ante la nueva información disponible se incorpora con mayor rapidez en el mercado de derivados, la dinámica de los rendimientos del mercado de contado y el mercado de futuros puede presentar una relación de causalidad bidireccionalmente asimétrica, es decir, el mercado *líder* (mercado de futuros), tendría mayor capacidad predictiva sobre el mercado de contado.

3.3. DATOS.

3.3.1. Descripción y Fuente de Datos.

Los datos utilizados en este trabajo de investigación han sido proporcionados por el Mercado Español de Futuros, Renta Variable (MEFF RV). Respecto al contrato de futuros se dispone de información acerca de: (1) hora de la transacción, (2) precio de cruce, (3) fecha de vencimiento, (4) precio máximo y mínimo hasta la hora transacción, (5) precio de apertura (del día actual), (6) precio de cierre (del día anterior), (7) volumen negociado, y (8) *open interest*. En cuanto al Ibex 35, disponemos del valor del índice minuto a minuto, así como del volumen y

número de títulos negociados. No obstante, y a diferencia de la información correspondiente a las operaciones de futuros, la cual comprende todo el horario de negociación, desde las 10:45 horas hasta las 17:15 horas, los datos correspondientes al Ibex 35 únicamente abarca desde las 11:00 horas hasta las 17:00 horas. Por tanto el horario de negociación considerado es éste último. El hecho de no utilizar el primer cuarto de hora de negociación en el mercado de futuros, no supone ninguna restricción a priori ya que, al comienzo de la sesión, el valor del índice está calculado utilizando precios de cierre de aquellos activos que son negociados con menor periodicidad, de forma que el valor del Ibex 35 no está incorporando toda la información relativa a los mercados extranjeros¹³. Respecto al último cuarto de hora consideramos que, a pesar de que la pérdida de información es relevante para el día de vencimiento, la no consideración del mismo no puede afectar de manera significativa a los resultados obtenidos. La muestra utilizada comprende desde el 20 de Diciembre de 1993 hasta el 20 de Diciembre de 1996. Consideramos la elección de dicho periodo muestral fundamentalmente por tres razones: 1) una longitud temporal de tres años permite la utilización de un número elevado de observaciones, independientemente de la frecuencia de observación considerada (cada 5 minutos, cada hora, o incluso cada día). Esta posibilidad permite calibrar la consistencia de los resultados frente a la ventana de observación muestral escogida, tanto en términos cualitativos como en términos cuantitativos. En este sentido, una pequeña parte del Capítulo 4 de esta Tesis Doctoral retoma el estudio de la relación de causalidad, de forma que se analiza de forma conjunta, las características tanto para la dinámica de los rendimientos como para la dinámica de las volatilidades. Al respecto, la metodología utilizada es un modelo bivariante de corrección de error con perturbaciones heterocedásticas, el cual es estimado utilizando como información muestral las series de rendimientos horarios del mercado de futuros y del mercado de contado; 2) el inicio de la muestra a finales de 1993 permite analizar el mercado de derivados una vez que éste se ha consolidado en el marco de los mercados financieros tanto de ámbito nivel nacional como internacional; como ya hemos observado anteriormente, atendiendo al número de contratos negociados, el *despegue* del mercado se produce entre 1992 y 1994, como muestra la Tabla 2.3 del Capítulo 2 de esta Tesis Doctoral; y 3) la finalización del periodo muestral en Diciembre de 1996 permite analizar el mercado durante un periodo en el que las

¹³ Stoll y Whaley (1990) obtienen evidencia de que para el S&P 500 el tiempo medio transcurrido entre la apertura del mercado de contado y la negociación de alguno de los activos que entran a formar parte en la composición del índice varía entre 5 y 7 minutos. Fernández e Yzaguirre (1996) muestran que, desde Diciembre de 1993 hasta Noviembre de 1994, cualquiera de los 35 activos que componen el Ibex 35 inició cruce de operaciones a partir de las 11.01 horas.

Cap. 3. Dinámica y Causalidad Entre Rendimientos.

especificaciones del contrato no han sido objeto de modificación; al respecto, debemos tener en cuenta que a finales de Enero de 1997 el multiplicador del contrato de futuros pasó de 100 ptas. a 1000 ptas. por punto básico. Como explicitaremos adelante de forma más amplia, el contrato de futuros considerado en cada momento del tiempo es siempre el de próximo vencimiento. Asimismo, se ha particionado la muestra disponible en tres submuestras, las cuales se corresponden con los siguientes intervalos de tiempo: a) del 20 de Diciembre de 1993 hasta el 16 de Diciembre de 1994, b) del 19 de Diciembre de 1994 hasta el 15 de Diciembre de 1995 y c) del 18 de Diciembre de 1995 hasta el 20 de Diciembre de 1996. El objetivo de analizar por separado las tres submuestras citadas permite calibrar si la evidencia empírica de los resultados obtenidos sobre el conjunto de la muestra permanecen en términos cualitativos dentro de cada subperiodo, en los cuales el comportamiento de la Bolsa Española ha sido muy diferente. Las Ilustraciones 3.1, 3.2 y 3.3 recogen los gráficos de la evolución del precio cruzado del contrato de futuros y del Ibex 35 para las tres submuestras anteriormente señaladas, respectivamente. La Ilustración 3.4 presenta la evolución de los precios para el conjunto de la muestra; estos gráficos muestran, que desde una perspectiva global, la evolución temporal a largo plazo de las series de precios en niveles es muy similar, incorporando ambas exactamente los mismos movimientos tendenciales, lo cual sugiere la existencia de una relación de cointegración entre ambas series.

(Insertar Ilustración 3.1 a 3.4)

3.3.2. Series de Rendimientos.

Las observaciones disponibles para el futuro no están equiespaciadas en el tiempo, dado que la frecuencia de negociación, si bien es muy alta, no es uniforme a lo largo del periodo de negociación diario. Por tanto, es necesario crear series de rendimientos sobre un intervalo temporal fijo, a la vez que emparejar para cada observación del futuro otra del valor del índice en el mismo instante de tiempo, cuestión de especial importancia si se quiere evitar la presencia de sesgos en favor de una determinada relación de causalidad entre los rendimientos de ambos mercados. A pesar de que un intervalo de tiempo inferior a los 5 minutos era a priori factible, se decidió finalmente escoger ésta frecuencia de observación con objeto de evitar los efectos producidos por una posible falta de simultaneidad a la hora de realizar el emparejamiento de ambas series. Cada día de negociación es dividido en intervalos de 5 minutos, comenzando, como ya hemos dicho, a las 11:00 horas. Posteriormente seleccionamos el primer cruce de operación de futuro dentro de cada intervalo, asociándole el valor del Ibex 35 en la misma hora

y el mismo minuto en que se materializó la operación en el mercado de derivados. De esta forma, a priori, deberemos disponer de 72 observaciones diarias, puesto que cada día estamos considerando 6 horas de negociación; no obstante, para algunos días es inevitable la *pérdida* de alguna observación como fruto de la falta de liquidez en el mercado de futuros, fundamentalmente durante el periodo de negociación entre las 14:30 y las 15:30 horas¹⁴.

Por un lado, hemos utilizado toda la muestra de forma global, es decir desde el 20 de Diciembre de 1993 hasta el 20 de Diciembre de 1996; por otro, hemos utilizado las submuestras anteriormente citadas que se corresponden con las Ilustraciones 1 a 3. En cada momento del tiempo, el contrato de futuros con mayor volumen de negociación es el de próximo vencimiento, por lo que, para evitar problemas de falta de liquidez en periodos alejados de la fecha de vencimiento del contrato de futuros, al enlazar las series de rendimientos correspondientes a los 36 contratos considerados, se han utilizado únicamente los días de negociación *front contract*, esto es, para cada contrato el periodo de negociación relevante abarca desde el día posterior al vencimiento del contrato del mes anterior hasta el día de vencimiento del contrato que se está considerando. La Tabla 3.1 presenta un resumen de los datos utilizados.

(Insertar Tabla 3.1)

Las series de precios cada 5 minutos son utilizadas para generar series de rendimientos *instantáneos* en cada mercado, esto es, $R_{F,t} = \ln \frac{F_t}{F_{t-1}}$, y $R_{S,t} = \ln \frac{S_t}{S_{t-1}}$, donde F_t , y S_t representan, respectivamente, el precio cruzado para el contrato de futuros y el valor del Ibex 35. De estas series hemos excluido el rendimiento generado a partir de la primera observación de un día y la correspondiente a la última del día anterior, puesto que en dicho cálculo aparecen precios de dos días diferentes, lo cual en definitiva tiene como consecuencia que el intervalo sobre el que está calculado no tiene una longitud temporal de 5 minutos. Además, no siendo un periodo homogéneo con los demás en términos del flujo de información, genera con gran frecuencia comportamientos anómalos.

¹⁴ Por ejemplo, para la serie global, que comprende 743 días de negociación, se dispone de 51.929 observaciones, lo cual pone de manifiesto, que en media, se han perdido aproximadamente 2 observaciones diarias.

La Tabla 3.2 y la Tabla 3.3 presentan los principales estadísticos descriptivos de las series en niveles de los precios cruzados del contrato de futuros y del Ibex 35. Los estadísticos presentados son: media, desviación típica, coeficiente de variación de Pearson, coeficiente de asimetría, coeficiente de exceso de curtosis, máximo, mínimo, recorrido intercuartílico y el diferencial entre el percentil de orden 95 y el percentil de orden 5. Por otro lado, las Tablas 3.4 y 3.5 muestran los estadísticos citados para las series de rendimientos. Respecto a las series de precios, las medias muestrales son muy similares en ambos mercados, tanto en las tres submuestras como en la muestra global; además el grado de representatividad de dicho estadístico como medida de tendencia central es similar, ya que el coeficiente de variación de Pearson es idéntico en todos los casos. Los coeficientes de asimetría y exceso de curtosis ponen de manifiesto que la forma de la distribución muestral es similar a la distribución Normal. Sin embargo el contraste de Normalidad propuesto por Bera y Jarque (1981) conduce al rechazo de la hipótesis nula de Normalidad¹⁵. Excepto para la submuestra que abarca desde el 19/12/94 hasta el 15/12/95, el coeficiente de asimetría es ligeramente positivo, lo cual indica que la media es superior a la mediana, es decir a la izquierda de la media muestral existe una mayor concentración de valores que a la izquierda de la misma. El comportamiento de las series de rendimientos es en este aspecto substancialmente diferente, ya que si bien el coeficiente de asimetría es de nuevo similar en todos los casos, y próximo a cero para el futuro sobre el Ibex 35, ambas series de rendimientos presentan un exceso de curtosis importante, es decir la distribución de frecuencias muestral presenta una desviación significativa respecto a la ley de distribución Normal¹⁶. En todos los casos, los rendimientos presentan una media muestral prácticamente igual a cero, hecho que es de esperar en la medida que son generados a partir de intervalos de cinco minutos. El cociente de desviaciones típicas futuro/contado es ligeramente

¹⁵ Téngase en cuenta que la expresión del estadístico de contraste:

$$T \left(\frac{(Asimetría)^2}{6} - \frac{(Exceso de Curtosis)^2}{24} \right),$$

que sigue una distribución chi-cuadrado con dos grados de libertad en muestras grandes, es directamente proporcional al tamaño muestral, por lo que dicho estadístico es muy exigente acerca de los coeficientes de asimetría y el exceso de curtosis de la serie cuando el tamaño muestral es muy elevado. A modo de ejemplo cabe decir que si el coeficiente de asimetría es cero y el tamaño muestral es de 17.000 observaciones, como aproximadamente sucede para las tres submuestras consideradas, se requiere un exceso de curtosis inferior a 0,0922 para aceptar la hipótesis de Normalidad al nivel de significación del 5%.

¹⁶ El contraste de Normalidad de Bera-Jarque, cuyos resultados, con valores extremadamente atípicos, y que por simplicidad no se muestran en el apéndice conducen sistemáticamente al rechazo de la hipótesis nula de Normalidad en todos los casos.

Cap. 3. Dinámica y Causalidad Entre Rendimientos.

superior a la unidad en todos los casos, lo cual sugiere que el mercado de derivados y el mercado de contado poseen un grado de volatilidad semejante¹⁷. El coeficiente de asimetría es negativo en todos los casos para la distribución de rendimientos del contrato de futuros; no obstante la mediana, que no se presenta en las tablas, es igual a cero, de nuevo tanto para las tres submuestras individuales como para la muestra global. Por tanto, a pesar de que existe una mayor concentración de valores a la derecha de la media muestral que a la izquierda de la misma, el número de rendimientos positivos prácticamente coincide con el número de rendimientos negativos. Esta pauta de comportamiento respecto al grado de asimetría de la distribución de frecuencias es similar para la serie de rendimientos del mercado de contado. En este caso, de nuevo el coeficiente de asimetría es negativo, excepto para la submuestra que abarca desde el 18/12/95 hasta el 20/12/95, en donde dicho coeficiente es positivo, es decir, la media es superior a la mediana, lo cual es lógico si observamos que únicamente en el periodo que acabamos de citar los mercados bursátiles experimentaron un crecimiento prácticamente sistemático (excepto para un pequeño intervalo de tiempo posterior a las Elecciones Generales de Marzo de 1996, en donde se produjeron fuertes fluctuaciones, además de otras dos ligeras caídas, una a finales de Julio de 1996 y otra a principios de Septiembre de 1996). Las otras dos submuestras consideradas están sujetas o bien a fluctuaciones generalizadas (20/12/93 hasta 16/12/94) o bien a descensos relativamente generalizados en la cotizaciones de los principales activos que intervienen en la composición del Ibex 35 (periodo que abarca desde el 19/12/94 hasta 15/12/95). Las Ilustraciones 3.5, 3.6, 3.7 y 3.8 muestran las series de rendimientos del mercado de futuros y del mercado de contado para las tres submuestras anteriormente citadas así como para la serie global, respectivamente. Dado que los gráficos de rendimientos son muy sensibles a la presencia de valores atípicos, la escala de dichos gráficos ha sido homogeneizada dentro de cada Ilustración a pesar de que algunos valores de la muestra sean superiores al límite superior e inferior del eje de ordenadas.

(Insertar Tablas 3.2 a 3.5)

(Insertar Ilustraciones 3.5 a 3.8)

¹⁷ No obstante, téngase en cuenta que dicho estadísticos proporcionan una información en términos muy generales, puesto que se está resumiendo en un estadístico un conjunto de información muy amplio. El Capítulo 4 de esta Tesis Doctoral se dedica en profundidad al estudio del comportamiento de la volatilidad en ambos mercados.

Respecto a los valores atípicos de las series, una vez fijado un criterio para poder considerar a un valor como anómalo¹⁸, cabe resaltar que en un porcentaje elevado de los mismos los valores atípicos de las series de rendimientos del mercado de futuros coinciden con la existencia de otro valor atípico para los rendimientos del mercado de contado, hecho que es de esperar en la medida que el mercado está arbitrado. Los principales valores atípicos tienen lugar durante el inicio y el final de la sesión del periodo de negociación, fundamentalmente durante las franjas horarias que abarcan por un lado, desde las 11:00 horas hasta las 11:30 horas, y de otro desde las 16:15 horas hasta las 17:00 horas. No obstante, sorprende la existencia de un valor extremadamente anómalo el día 17 de Marzo de 1995, concretamente a las 11 horas y 14 minutos, en el mercado de futuros, que no está acompañado de otro valor extremo de semejante tamaño en el mercado de contado. Este día, que corresponde al día de vencimiento del contrato de futuros de Marzo de 1995, se circunscribe dentro de una semana en donde los mercados estuvieron sujetos a gran volatilidad. El día 17 de Marzo de 1995 se dio a conocer que las ventas al por mayor en los Estados Unidos crecieron un 0,3% durante el último trimestre de 1994, de forma que la duda de *Wall Street* sobre la posterior evolución de la inflación junto con una devaluación del dólar frente al resto de principales divisas provocó grandes dudas en la Bolsa Española; la peseta se vio asimismo sometida a un proceso de devaluación. Por otro lado, y en respuesta al crecimiento de los precios en el mes de Febrero (medio punto), el Banco de España acababa de subir el tipo de interés del mercado interbancario en 0,5 puntos. Asimismo también es importante recordar que el 5 de Marzo de 1995 el Comité Monetario del Sistema Monetario Europeo acordaba la devaluación de la peseta en un 7%. Las posibilidades de tratamiento para los valores atípicos pasan en todos los casos por intervenir las series con variables de tipo impulso. El problema que se plantea a la hora de intervenir las series de rendimientos es determinar la cota a partir de la cual el valor se considera un valor atípico dentro de la distribución de frecuencias puesto que como ya hemos señalado la distribución muestral de las series de rendimientos si bien presenta un coeficiente de asimetría próximo a cero, posee un exceso de curtosis importante. Por otro lado, con tamaños muestrales superiores en todos los casos a 17.000 observaciones el filtrado de los valores atípicos de las series puede conducir a un proceso iterativo de intervenciones sin criterio de parada, en la medida que después de efectuar una intervención, en la nueva estimación del modelo aparecen valores residuales que pueden considerarse atípicos cuando

¹⁸ Por ejemplo, que sea superior a x desviaciones típicas.

antes no eran clasificados como tales, puesto que la desviación típica se habrá reducido. En este sentido, la influencia de los valores atípicos en las series de rendimientos al abordar el estudio de la relación de causalidad entre el mercado de futuros y el mercado de contado con datos de alta frecuencia es una cuestión abierta y susceptible de mayor investigación que señalamos como posible vía de investigación futura en el Capítulo 6 de esta Tesis Doctoral.

3.4. RELACIONES DE CORTO Y LARGO PLAZO ENTRE LAS COTIZACIONES DEL CONTRATO DE FUTURO Y EL IBEX 35.

En esta sección abordamos el estudio del comportamiento dinámico de los precios de ambos mercados con objeto de determinar si los mismos presentan una relación de cointegración. El concepto de cointegración es especialmente útil cuando pensamos que dos series temporales pueden estar ligadas por una relación de equilibrio a largo plazo. En nuestro caso, los gráficos de las series globales así parecen sugerirlo. Según la definición dada por Engle y Granger (1987) se dice que una serie es integrada de orden d , si después de diferenciar d veces dicha serie, ésta admite una representación ARMA estacionaria e invertible. Por otro lado, se dice que un vector de series temporales X_t , es cointegrado de orden (d,b) si: (a) todos las componentes del vector X_t , son integradas de orden d , y (b) existe un vector $\alpha (\neq 0)$ tal que $Z_t = \alpha' X_t$ es integrada de orden $d-b$, $b > 0$.

El Teorema de Representación de Granger (1987) establece que si un vector de variables X_t de dimensión $N \times 1$ es cointegrado de orden $(1,1)$, con rango de cointegración igual a r entonces existe una representación en forma de corrección de error con $Z_t = \alpha' X_t$, un vector de $r \times 1$ variables estacionarias, y siendo α el vector de cointegración (de dimensión $r \times N$):

$$A^*(B)(1-B)X_t = -\gamma Z_{t-1} + \Psi(B)\varepsilon_t, \text{ con } A^*(0) = I_N,$$

así como una representación ARMA multivariante:

$$A(B)X_t = \Psi(B)\varepsilon_t,$$

Cap. 3. Dinámica y Causalidad Entre Rendimientos.

donde $A(1)$ tiene rango r , $\Psi(B)$ es un polinomio escalar de retardos con $\Psi(1)$ finito y $A(0) = I_N$.

La existencia de una relación de cointegración entre dos series temporales debe ser una cuestión a tener en cuenta al especificar el modelo econométrico que será utilizado con objeto de inferir las características de la relación de causalidad entre las series de primeras diferencias. Es decir, si las series de los logaritmos de los precios de ambos mercados están cointegradas, la utilización de un Vector Autorregresivo sobre las series de rendimientos no es adecuada puesto que el modelo no está correctamente especificado.

En nuestro análisis las anteriores definiciones son relevantes para el caso de $d=b=1$, ya que tanto las series de precios en niveles como las series en logaritmos precisan de una diferencia para ser estacionarias. El contraste de raíz unitaria, realizado para ambas series, tanto para la muestra global, como para las tres submuestras anteriormente señaladas, es el propuesto por Dickey-Fuller, es decir, se trata de contrastar la significatividad del coeficiente asociado a P_{t-1} ($H_0: \gamma = 0$) frente a la hipótesis alternativa de $\gamma < 0$ en el modelo de regresión:

$$\Delta P_t = \alpha + \beta t + \gamma P_{t-1} + \sum_{i=1}^p \delta_i \Delta P_{t-i} + u_t \quad (3)$$

donde p se fija de forma que garantice unos residuos incorrelacionados. Téngase en cuenta que el contraste de la hipótesis nula $H_0: \gamma = 0$ en el modelo de regresión dado por (3) es equivalente al contraste de la hipótesis nula $H_0: \rho = 1$ en el modelo:

$$P_t = \alpha + \beta t + \rho P_{t-1} + \sum_{i=1}^p \delta_i \Delta P_{t-i} + u_t.$$

Si no se rechaza la hipótesis nula $H_0: \rho = 1$, entonces el proceso ΔP_t es estacionario, alrededor de una tendencia lineal en caso de que β sea significativo.

El modelo de regresión dado por (3) es el más genérico cuando se pretende efectuar un contraste de raíz unitaria mediante la metodología propuesta por Dickey-Fuller,

Cap. 3. Dinámica y Causalidad Entre Rendimientos.

de forma que incluye constante y tendencia determinista. Dado que tanto las series de rendimientos como las de los cambios en los precios presentan una media muestral estadísticamente igual a cero y sin tendencia aparente, el contraste se ha efectuado a partir del modelo sin constante ni tendencia determinista, con los resultados que se muestran en la Tabla 3.6. Los resultados, tanto para las series de precios en niveles como para las series logarítmicas de los mismos, ponen de manifiesto en todos los casos que la resolución del contraste nos lleva a no rechazar la hipótesis nula, es decir tanto las series de precios como la transformación logarítmica de las mismas son series integradas de orden uno. La resolución del contraste de raíz unitaria para las series de cambios en los precios así como para las series de rendimientos (primera diferencia de la serie de logaritmos de los precios), cuyos resultados, por simplicidad, no se muestran en el apéndice, corroboran en términos estadísticos que ambos procesos son estacionarios.

(Insertar Tabla 3.6)

Los resultados obtenidos a partir del contraste de Dickey-Fuller aumentado son consistentes con el análisis de las series en niveles a partir de la metodología propuesta por Box-Jenkins (1970), esto es, mediante la utilización de las funciones de autocorrelación simple y parcial. Las Tablas 3.7 a 3.14 recogen la estructura de autocorrelación simple y parcial de las series de precios y de las series de rendimientos tanto para la serie global como para las tres submuestras citadas anteriormente; puede observarse que las series en niveles presentan un primer retardo de autocorrelación parcial próximo a la unidad así como un decaimiento muy lento en los estadísticos de autocorrelación simple, en ambos casos todos significativos. Por el contrario, las series correspondientes a las primeras diferencias logarítmicas poseen una estructura de autocorrelación simple que refleja un fuerte decaimiento con valores dentro de bandas, en general, para los retardos superiores o iguales a seis.

(Insertar Tablas 3.7 a 3.14)

Al proceder al contraste de cointegración entre las series de precios de ambos mercados utilizamos la metodología propuesta por Engle y Granger (1987). De los siete contrastes propuestos por ambos autores, los utilizados en este trabajo son tres¹⁹. En primer

¹⁹ Además de los tres tipos de contrastes utilizados en este trabajo, los otros cuatro restantes referidos por Engle y Granger (1987) son las correspondientes a las versiones no aumentadas de los que aquí se (... Continua)

Cap. 3. Dinámica y Causalidad Entre Rendimientos.

lugar se procede con un contraste de Dickey-Fuller aumentado sobre las series de residuos obtenidas a partir de la estimación por mínimos cuadrados de la *ecuación de cointegración* sobre los logaritmos de las series de precios. Si las series de los logaritmos de los precios son integradas de orden uno entonces la serie de residuos procedente de la estimación de la ecuación de cointegración (desviaciones del equilibrio) debe ser estacionaria²⁰. El segundo de los contrastes utilizados es el denominado por los autores contraste *ARVAR (Augmented Restricted Vector Autoregression)*. La forma de proceder es en dos etapas; en la primera de ellas se estima por mínimos cuadrados ordinarios la *ecuación de equilibrio a largo plazo o de cointegración*:

$$s_t = \alpha + \beta f_t + \varepsilon_t, \quad (4)$$

que también podría ser:

$$f_t = \alpha + \beta s_t + \varepsilon_t,$$

donde s_t , y f_t representan los logaritmos de las series de precios de contado y futuro, respectivamente.

Cuando dos series están cointegradas la relación de causalidad debe manifestarse al menos en uno de los sentidos y muy probablemente en los dos, lo cual sugiere que la elección entre ambas ecuaciones no es una decisión que deba jugar un papel crucial en el análisis. Con objeto de escoger una de las dos posibles ecuaciones de cointegración se han estimado las funciones de correlación cruzadas tanto para la muestra global como para las tres submuestras consideradas; dichos estadísticos estimados, que serán comentados en mayor profundidad en la sección 3.1.5, sugieren que, efectivamente, la estructura de causalidad es de naturaleza bidireccional, si bien la capacidad explicativa del mercado de futuros sobre el mercado de

utilizan, así como el consistente en contrastar la hipótesis nula de que el estadístico Durbin-Watson calculado sobre la serie de residuos estimados a partir de la ecuación de cointegración es igual a cero; en este caso, si los residuos no son estacionarios el estadístico Durbin-Watson tenderá a cero, de forma que al resolver el contraste deberemos rechazar la hipótesis nula de no cointegración cuando dicho estadístico sea *suficientemente* grande. El hecho de utilizar únicamente las versiones aumentadas garantiza, a igualdad de tamaños muestrales, una mayor potencia del contraste, al eliminar la autocorrelación residual.

²⁰ La frontera de la región de aceptación, que aparece en Engle y Granger (1987) es ligeramente superior a las presentadas por Dickey-Fuller (1979), puesto que los residuos procedentes de la estimación de la ecuación de cointegración son generados a partir de la minimización de la suma residual, un procedimiento que aumenta la probabilidad de que dichos residuos sean estacionarios; en este sentido la utilización de los límites propuestos por Dickey-Fuller conduciría a rechazar la hipótesis nula de no estacionariedad con demasiada frecuencia.

Cap. 3. Dinámica y Causalidad Entre Rendimientos.

contado parece relativamente mayor que la que se observa en el sentido contrario. Es por ello que la ecuación de cointegración estimada es la inicialmente propuesta, es decir la ecuación (4). En una segunda etapa se estima el siguiente modelo de corrección de error bivalente²¹:

$$\Delta f_t = a_1 + b_1 \hat{\varepsilon}_{t-1} + \sum_{j=1}^{k_{1,1}} \delta_{1,j} \Delta s_{t-k} + \sum_{j=1}^{k_{1,2}} \gamma_{1,j} \Delta f_{t-j} + u_{1,t} \quad (5)$$

$$\Delta s_t = a_2 + b_2 \hat{\varepsilon}_{t-1} + c_2 \Delta f_t + \sum_{j=1}^{k_{2,1}} \delta_{2,j} \Delta s_{t-k} + \sum_{j=1}^{k_{2,2}} \gamma_{2,j} \Delta f_{t-j} + u_{2,t}, \quad (6)$$

donde $\hat{\varepsilon}_t$ son los residuos mínimo cuadráticos de la ecuación de cointegración²². Los órdenes $k_{i,j}$, $i, j = 1, 2$ se eligen de modo que no exista autocorrelación en los residuos de ninguna ecuación. La inclusión de Δf_t en la ecuación que explica Δs_t supone que el sentido de la causalidad instantánea va desde el mercado de futuros hacia el mercado de contado y no al revés, puesto que se está interpretando la correlación contemporánea entre ambos mercados como fluyendo en tal dirección. Como se explicita más adelante en la sección 2.1.5, existen razones técnicas que explican el hecho de que la nueva información disponible que llega al mercado sea incorporada más rápidamente por el mercado de futuros. La idea que subyace en este tipo de contraste es corroborar en términos estadísticos si el término de corrección de error es significativo. En este sentido la hipótesis nula a contrastar es: $H_0: b_1 = b_2 = 0$. Si se rechaza la hipótesis nula entonces f_t y s_t satisfacen un mecanismo de corrección de error y están cointegrados, con causalidad de f_t hacia s_t . El estadístico para el contraste de la hipótesis nula de no cointegración viene dado por $\xi = \tau_{b_1}^2 + \tau_{b_2}^2$, donde τ_{b_i} es el estadístico t de *Student* para el contraste de significatividad individual de b_i ($i=1, 2$).

Para el contraste *AUVAR* (*Augmented UnRestricted Vector Autoregresion*) el procedimiento es similar al explicado para la versión restringida: en una primera etapa se estima la ecuación de cointegración, de forma que en una segunda etapa el modelo bivalente estimado es:

²¹ Uno de los teoremas demostrados por Engle y Granger (1987) pone de manifiesto que el estimador por Mínimos Cuadrados Ordinarios en dos etapas de una sola ecuación del modelo de corrección de error, tomando como verdadero valor de β el estimado en la ecuación de cointegración, tiene la misma distribución límite que el estimador Máximo-Verosímil utilizando el verdadero valor de β .

²² En la versión no aumentada del contraste no se incluyen retardos de Δs_t y Δf_t como variables explicativas en ambas ecuaciones.

$$\Delta f_t = a_1 + b_1 s_{t-1} + c_1 f_{t-1} + \sum_{j=1}^{p_{1,1}} \delta_{1,j} \Delta s_{t-j} + \sum_{j=1}^{p_{1,2}} \gamma_{1,j} \Delta f_{t-j} + u_{1,t} \quad (7)$$

$$\Delta s_t = a_2 + b_2 s_{t-1} + c_2 f_{t-1} + d_2 \Delta f_t + \sum_{j=1}^{p_{2,1}} \delta_{2,j} \Delta s_{t-j} + \sum_{j=1}^{p_{2,2}} \gamma_{2,j} \Delta f_{t-j} + u_{2,t} \quad (8)$$

es decir, el contraste está basado en un vector autorregresivo en niveles, sin imponer la restricción de que se verifique el término de corrección de error. De forma similar a lo comentado anteriormente, se ha impuesto que la causalidad instantánea fluye desde el mercado de futuros hacia el mercado de contado. Bajo la hipótesis nula (ausencia de cointegración) el factor de corrección de error no está presente, por lo que se trata de contrastar si los términos correspondientes a los niveles deben de aparecer, ó si por el contrario, el sistema puede ser expresado adecuadamente en primeras diferencias. En este sentido, la hipótesis nula es la hipótesis conjunta: $H_0: b_1 = b_2 = c_1 = c_2 = 0$. El estadístico para el contraste de la hipótesis nula es $2(F_1 + F_2)$ donde F_i es el estadístico para el contraste de la hipótesis nula $b_i = c_i = 0$ ($i=1,2$).

3.4.1. Resultados Empíricos.

La Tabla 3.15 resume los resultados obtenidos en lo que a la estimación de la ecuación de cointegración se refiere, tanto para la muestra global como para las tres submuestras consideradas. El objetivo de esta regresión es analizar la relación de equilibrio existente entre las dos series de precios, sin tener en cuenta la dinámica del sistema en el corto plazo. En todos los casos, la ecuación de cointegración presenta una estimación del parámetro β muy próxima a la unidad, mientras que la estimación del parámetro α está próxima a cero, lo cual sugiere que la base empírica (diferencia entre el precio del contrato de futuros y el valor del Ibex 35) evoluciona de forma estacionaria a lo largo del tiempo. No obstante, no debemos olvidar que el vector dado por $(\hat{\alpha}, \hat{\beta})$ es simplemente una estimación puntual del verdadero vector de cointegración, así como que las desviaciones típicas estimadas no son fiables a la hora de contrastar la significatividad de los parámetros α y β . Esta es una cuestión de interés relacionada con las denominadas por Granger y Newbold (1974) regresiones espúreas; en este sentido, es posible, que la estimación de la ecuación de cointegración a partir de dos series temporales entre las que no existe una relación de cointegración, presente unos parámetros estimados *claramente* significativos y un R^2 próximo a la unidad como consecuencia de la

presencia de una raíz unitaria en ambas series. La principal finalidad es la disponer unas estimaciones del vector de cointegración a partir de la cual podamos generar la serie de residuos que será posteriormente utilizada en la segunda etapa del contraste *ARVAR*.

(Insertar Tabla 3.15)

La Tabla 3.16 presenta los resultados de la aplicación de los tres contrastes de cointegración considerados, de nuevo tanto para la muestra en su conjunto, como para cada una de las tres submuestras analizadas. La creencia a priori, sobre la existencia de una relación de equilibrio a largo plazo, tal y como sugerían los gráficos de las series globales queda corroborada estadísticamente de forma clara. En todos los casos la resolución de los tres tipos de contrastes conduce a la aceptación de la existencia de una relación de equilibrio a largo plazo entre las cotizaciones del contrato de futuros y el valor del activo subyacente, en este caso el índice Ibex 35.

(Insertar Tabla 3.16)

3.5. DINÁMICA Y CAUSALIDAD ENTRE LOS RENDIMIENTOS DEL CONTRATO DE FUTUROS SOBRE EL IBEX 35 Y EL IBEX 35.

En esta Sección estudiamos la relación de causalidad entre los rendimientos en ambos mercados, a partir de la formulación de un modelo dinámico que intenta explicar el comportamiento de forma conjunta, teniendo en cuenta la existencia de una relación de cointegración entre los precios del mercado de futuros y el índice Ibex 35. Como señalamos anteriormente en la Sección 2.1.2, bajo los supuestos que subyacen al modelo de valoración *Cost of Carry*, los rendimientos de los dos mercados deberían estar perfecta y contemporáneamente correlacionados, de forma que no debería observarse ninguna capacidad predictiva de un mercado sobre el otro.

No obstante, la presencia de diferentes costes de transacción en ambos mercados, puede llegar a producir la existencia de una relación de *adelanto* de un mercado sobre el otro. De hecho, como señalan Kawaller, Koch y Koch (1987), una sensación siempre existente entre los operadores profesionales en los mercados de futuros es que los movimientos

Cap. 3. Dinámica y Causalidad Entre Rendimientos.

en los precios del mercado de derivados anticipan la tendencia posterior de los precios en el mercado de contado. Esta característica puede ser explicada por varias razones:

- a) No todos los activos que componen el índice tienen la misma frecuencia de negociación. En este sentido, en cada momento del tiempo en el que el Ibex 35 es computado, todos aquellos valores que no han sido negociados en dicho instante entran con una ponderación que se ha calculado a partir de los precios de la última transacción, lo que introduce cierta inercia en la evolución temporal del índice. Como se ha mencionado en la Sección 3.1, Stoll y Whaley (1990) plantean la estimación de un modelo univariante ARMA para filtrar los efectos de la negociación infrecuente de forma que los residuos del modelo son utilizados como aproximación de los *verdaderos rendimientos*.
- b) Existen diferencias apreciables en el nivel de liquidez en ambos mercados. Como señala Abhyankar (1995), si la intensidad de negociación es relativamente más baja para los activos que componen el índice, de forma que el tiempo medio transcurrido entre la negociación de contratos sobre dichos activos es mayor que el correspondiente entre dos contratos de futuros, entonces el precio del futuro tendería a incorporar más rápidamente la nueva información que llega al mercado, dando lugar a una relación de causalidad donde el futuro *lidera* al contado.
- c) Existen *imperfecciones* en el mercado como consecuencia de la existencia de costes de transacción, depósitos de garantías y restricciones a la venta en corto. En referencia a los primeros, un inversor con una cartera formada por varios de los activos que componen el índice, que reacciona ante una determinada información económica requiere generalmente de una inversión menor, (y el tiempo preciso para poner en práctica su estrategia es inferior) si actúa en el mercado de futuros que si lo hace en el mercado al contado, puesto que el número de operaciones a efectuar es relativamente inferior.
- d) Existencia de información asimétrica: Chan (1992) señala que, incluso en ausencia de costes de transacción, los operadores en posesión de un conjunto de información más amplio (pensemos por ejemplo, en operadores que reciben órdenes para realizar operaciones de gran volumen) obtienen un mayor beneficio operando en el mercado de futuros que negociando con activos individuales. De esta forma la información que poseen los operadores afecta al propio proceso de formación de precios y, en consecuencia, interactúa en su propio beneficio. Por tanto, los operadores en derivados tienen un mayor incentivo en

Cap. 3. Dinámica y Causalidad Entre Rendimientos.

adquirir información relevante al mercado en su conjunto, lo cual sugiere que el mercado de futuros reflejará con mayor rapidez la nueva información que llega.

Todas estas razones inducen a pensar que los movimientos en los precios del contrato de futuros sobre el Ibex 35 pueden ayudar a predecir la posterior evolución del índice Ibex 35. No obstante, tal y como argumentan Subrahmanyam (1991) y Chan (1992), si un operador posee información relevante específica de las acciones de una empresa concreta, puede ser óptimo operar en el mercado al contado antes que en el de derivados. Para estudiar estas dos posibilidades en el *adelanto* predictivo de un mercado hacia otro en cuanto al comportamiento de las series de rendimientos se refiere, consideramos en esta Sección un modelo de corrección de error vectorial autorregresivo. Por tanto:

$$\begin{pmatrix} r_{s,t} \\ r_{f,t} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A(L) & B(L) \\ C(L) & D(L) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r_{s,t} \\ r_{f,t} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \end{pmatrix} Z_{t-1} + \begin{pmatrix} u_{1,t} \\ u_{2,t} \end{pmatrix}, \quad (9)$$

donde $r_{s,t} = (1 - L) \ln S_t$ y $r_{f,t} = (1 - L) \ln F_t$, siendo L el operador de retardos. $A(L)$, $B(L)$, $C(L)$, $D(L)$, son polinomios de retardos con $A(0) = B(0) = C(0) = D(0) = 0$; $u_{i,t}$ ($i = 1, 2$) las perturbaciones de cada mercado son ruidos blancos posiblemente correlacionados contemporáneamente. El término $Z_{t-1} = s_{t-1} - (\hat{\alpha} - \hat{\beta} f_{t-1})$, donde las minúsculas representan los logaritmos de los precios son los residuos de la ecuación de cointegración retardados un periodo, es decir 5 minutos. Wahab y Lasghari (1993), señalan que cabe la posibilidad de especificar un modelo de corrección de error simétrico al anterior, a partir de la estimación de la ecuación de cointegración dada por (4), pero dadas las razones anteriormente expuestas en la Sección 3.4, en este trabajo únicamente se considera el modelo dado por (9).

3.5.1. Revisión de la Literatura y Análisis previos.

El concepto de causalidad entre dos series fue inicialmente propuesto por Granger (1969) en relación al concepto de error a previsión: una variable X *causa* en el sentido de Granger a otra variable Y si la previsión obtenida a partir de la información contenida en el pasado de X e Y presenta una varianza del error de previsión inferior a la asociada a la previsión obtenida a partir del pasado de la variable Y , como única información relevante. La puesta en

Cap. 3. Dinámica y Causalidad Entre Rendimientos.

práctica del concepto de causalidad propuesto por Granger (1969) requiere la estimación del siguiente modelo de ecuaciones simultáneas:

$$Y_t = \sum_{j=1}^{n_1} \alpha_j Y_{t-j} + \sum_{j=1}^{m_1} \beta_j X_{t-j} + a_{1,t}, \quad (10)$$

$$X_t = \sum_{j=1}^{n_2} \gamma_j Y_{t-j} + \sum_{j=1}^{m_2} \delta_j X_{t-j} + a_{2,t}. \quad (11)$$

y, es en definitiva, la idea que subyace a los contrastes de causalidad efectuados a partir de la estimación de un modelo de corrección de error bivalente. Si la variable X causa a Y , pero la causalidad en el sentido inverso no tiene lugar, alguno de los coeficientes β_j debe ser distinto de cero, mientras que todos los coeficientes γ_j deben ser estadísticamente iguales a cero. De forma análoga si la variable Y causa a X , pero la variable X no causa a la Y , debe existir algún coeficiente γ_j distinto de cero, mientras que el contraste de significatividad conjunto para $\beta_j, j = 1, \dots, m$, debe llevarnos a aceptar la hipótesis nula de no significatividad.

Posteriormente Sims (1972) prueba que si la variable X causa a la variable Y , pero el sentido de la causalidad inverso no tiene lugar, entonces el contraste de la hipótesis nula conjunta, $H_0: \beta_j = 0 \forall j < 0$, a partir de la estimación del siguiente modelo de regresión:

$$Y_t = \sum_{j=-\infty}^{+\infty} \beta_j X_{t-j} + \varepsilon_t, \quad (12)$$

debe llevarnos a la aceptación de la hipótesis nula de no significatividad. En este sentido, una posible vía de análisis previo para obtener información acerca del sentido de la causalidad es la estimación del modelo de regresión dado por (10) y (11), o la estimación del modelo dado por (12), una vez fijado un determinado número de retardos²³. Geweke, Meese y Dent (1982) proponen el contraste sobre la base del modelo dado por (12), pero introduciendo también como regresores retardos de la variable Y . Sin embargo, la metodología adoptada en esta primera aproximación a las características de la relación de causalidad entre los precios del mercado de

²³ Con objeto de evitar problemas de autocorrelación en los residuos, hecho que invalida la realización de los contrastes de significatividad conjunta mediante los estadísticos *F de Snedecor*, Sims sugiere generar unas variables prefiltradas a partir de una determinada combinación lineal no convexa de las mismas.

Cap. 3. Dinámica y Causalidad Entre Rendimientos.

futuros y el mercado de contado se basa en la utilización de las funciones de correlación cruzada, en la línea de lo propuesto por Haugh (1976) o más recientemente por Koch y Yang (1986) y Herbst, McCormak y West (1987). La utilización de este estadístico permite evaluar hasta dónde se extiende el intervalo de tiempo relevante correspondiente al pasado de una serie al utilizar dicha variable como un factor explicativo de la evolución temporal de la otra variable. En particular se puede contrastar de esta forma si un determinado conjunto de retardos de una variable posee una capacidad explicativa significativa a la hora de prever el comportamiento de otra variable. En definitiva, la estimación de la función de correlación cruzada nos puede proporcionar evidencia acerca del sentido de la causalidad entre las dos series de rendimientos, así como del grado de persistencia en la capacidad explicativa. La metodología propuesta Haugh (1976) consta de dos etapas; en la primera, se hace uso del análisis univariante propuesto por Box-Jenkins (1976) con objeto de identificar y estimar modelos univariantes $ARIMA(p,d,q)$ para las variables en cuestión; la primera etapa es similar por tanto a la utilizada por Stoll y Whaley (1990) y pretende eliminar de la serie de precios toda la información contenida en el pasado de la misma. En la segunda etapa se utilizan los residuos procedentes de dichos modelos estimados (*returns innovations*), de forma que estas series de *innovaciones* son las utilizadas para estimar las funciones de correlación cruzada entre ambos mercados. Koch y Yang (1986), proponen la utilización de un estadístico más potente que el utilizado por Haugh (estadístico de Box-Pierce) al contrastar la significatividad de un conjunto de retardos en la función de correlación cruzada²⁴. Herbst, McCormak y West (1987) sugieren que la función de correlación cruzada proporciona una vía de análisis alternativa equivalente al análisis espectral de las series.

Dado que estamos interesados en la interacción a muy corto plazo, el rango de retardos analizado comprende desde -12 hasta 12, por lo que el retardo temporal máximo considerado es de una hora. Con objeto de clarificar la interpretación de las estimaciones para diferentes valores de k , es preciso explicitar el estadístico utilizado, que en nuestro caso es:

²⁴ Más específicamente, estos autores señalan que el contraste de Haugh puede ser sensible a la presencia de autocorrelación en los coeficientes estimados de la función de correlación cruzada; en este sentido proponen el siguiente estadístico de contraste:

$$Z = T \sum_{k=-m}^m \left[\sum_{j=0}^p \rho_{X,Y}(k+j) \right]^2$$
, donde T es el tamaño muestral, m es el desfase temporal máximo considerado en la estimación y p es el orden de autocorrelación estimado para los coeficientes de la función de correlación cruzada. El estadístico del tipo Box-Pierce, utilizado por Haugh (1976) no es sino un caso particular del arriba expresado con $p=0$.

$$\hat{\rho}_{r_s, r_f} = \frac{\frac{1}{T-k} \sum_t (r_{s,t} - \bar{r}_s)(r_{f,t-k} - \bar{r}_f)}{\frac{1}{T} \sqrt{\sum_t (r_{s,t} - \bar{r}_s)^2 (r_{f,t} - \bar{r}_f)^2}},$$

es decir, que para valores de k negativos, el estadístico estima la correlación entre las series de rendimientos con un desfase temporal tal que, los rendimientos del futuro están adelantados respecto a los rendimientos del Ibex 35. Las estimaciones de las funciones de correlación cruzada, así como el contraste de significación conjunta para la serie global y para las tres submuestras consideradas quedan recogidas en la Tabla 3.17. La Tabla 3.18 recoge similares estadísticos y el mismo tipo de contrastes sobre los residuos de modelos univariantes previamente estimados sin que varíen las implicaciones cualitativas del contraste. La Tabla 3.19 resume las estimaciones de los modelos univariantes estimados, los cuales serán de utilidad en el último de los análisis efectuados en esta sección.

(Insertar Tablas 3.17 a 3.19)

En cuanto al sentido en la relación de causalidad se observa lo siguiente; la Tabla 3.17 muestra que la hipótesis nula de no significatividad es rechazada en todos los casos, excepto cuando se considera la primera de las submuestras utilizadas, esto es, la que abarca desde el 20/12/93 hasta el 16/12/94, para $k \in \{-12, -11, \dots, -1\}$. Por tanto, las estimaciones aportan evidencia previa en favor de la hipótesis de bidireccionalidad en la relación de causalidad entre los rendimientos del mercado de futuros y el mercado de contado, excepto cuando se tiene en cuenta la submuestra que acabamos de citar, en la que la causalidad es unidireccional desde el futuro hacia al contado. Los resultados de la estimación con las series filtradas, que se recogen en la Tabla 3.18 son consistentes con los presentados en la Tabla 3.17, tanto para la serie global como para los subperiodos muestrales que comprenden, por un lado, desde el 19/12/94 hasta el 15/12/95, y de otro, desde el 18/12/95 hasta el 20/12/96. Para la primera de las submuestras consideradas individualmente, los resultados obtenidos a partir de la metodología propuesta por Haugh (1976) sugieren la existencia de una relación de causalidad en ambos sentidos, una característica que de nuevo se revela a partir de las estimaciones de las funciones de correlación cruzada sobre las series de rendimientos sin filtrar. Por tanto, sobre la base de los resultados presentados, a partir de datos de alta frecuencia, consideramos que la naturaleza bidireccional de la relación de causalidad entre el mercado de derivados y el mercado de contado es una característica que no puede ser objeto de duda. Asimismo también es una

característica relevante el hecho de que el valor que toma el estadístico para el contraste conjunto con $k \in \{-12, -11, \dots, -1\}$ es considerablemente inferior al correspondiente para el contraste con $k \in \{1, 2, \dots, 12\}$, lo que sugiere que la capacidad explicativa desde el mercado de futuros hacia el contado es superior que la existente en el sentido inverso.

Respecto a la persistencia, la Tabla 3.17 y la Tabla 3.18 muestran que es mayor para los retardos positivos ($k=1, 2, \dots, 12$) que para los negativos ($k=-1, -2, \dots, -12$). Para los primeros desde $k=1$ hasta $k=4$, todas las correlaciones son positivas, y en general significativas; esta característica indica que los movimientos en los rendimientos del futuro anticipan (incluso con 20 minutos de antelación) movimientos en el mismo sentido en los rendimientos del Ibex 35. Para los valores negativos de k se observa, sin una pauta periódica clara, una alternancia en el signo del estadístico estimado.

Antes de proceder a la estimación del modelo bivalente de corrección de error, y con objeto de obtener, en esta primera aproximación, evidencia empírica acerca de las características de la relación de causalidad entre el mercado de futuros y el mercado de contado mediante un enfoque alternativo, llevamos a cabo un análisis adicional en la línea metodológica propuesta por Stoll y Whaley (1990), que básicamente, tal y como ya se ha comentado en la sección 3.1, consiste en prefiltrar las series de rendimientos mediante modelos $ARMA(p, q)$ para después utilizar las series de *innovaciones* en la estimación de un Vector Autorregresivo. La Tablas 3.20, 3.21, 3.22 y 3.23 resumen las estimaciones así como los contrastes de significatividad conjunta efectuados a partir de la serie global y las tres submuestras examinadas.

(Insertar Tablas 3.20 a 3.23)

Los resultados obtenidos son coherentes con los presentados en las tablas 3.17 y 3.18²⁵. En todos los casos la resolución del contraste para la hipótesis conjunta de no significatividad es rechazado de forma clara, lo que aporta evidencia empírica en favor de una relación de causalidad bidireccional entre los rendimientos del mercado de futuros y los rendimientos del mercado de contado. Asimismo, se observan dos características interesantes: a)

²⁵ Una vez estimado el modelo se ha procedido a la diagnosis de residuos con objeto de garantizar la ausencia de autocorrelación en los mismos, característica que es de especial relevancia a la hora de que los contrastes de causalidad efectuados sean estadísticamente válidos. Los resultados del contraste de ausencia de autocorrelación, que no se presentan en este caso por simplicidad, son similares a los recogidos en la Tabla 12 del Apéndice 1, la cual recoge este tipo de contrastes sobre los residuos del modelo vectorial de corrección de error.

el valor empírico del estadístico de contraste para la hipótesis nula de no significatividad conjunta de los retardos del futuro en la ecuación del Ibex 35 es muy superior, excepto para la segunda submuestra, al correspondiente para el contraste de significatividad conjunta de los retardos del contado en la ecuación del futuro, y b) la longitud temporal de los coeficientes significativos es bastante mayor para los retardos que aparecen en la ecuación que explica las *innovaciones* del mercado de contado. Ambos hechos de nuevo dejan abierta la posibilidad de que la capacidad predictiva desde el mercado de derivados hacia el mercado de contado, sea superior a la existente en sentido inverso.

3.5.2. Un Modelo de Corrección de Error bivariante para los rendimientos del mercado.

Una vez que hemos obtenido evidencia empírica previa acerca de las características de la estructura de la relación de causalidad entre los rendimientos de contado y los rendimientos del mercado de derivados, a partir de diferentes líneas metodológicas que no tienen en cuenta de forma explícita la relación de cointegración empíricamente detectada en la sección 2.1.4., llevamos ahora a cabo el análisis de causalidad a través de la estimación de un modelo bivariante de corrección de error. El método de estimación utilizado es el de ecuaciones aparentemente no relacionadas, con objeto de captar la posible existencia de correlación contemporánea entre las perturbaciones de cada mercado²⁶. Una vez estimado el modelo, llevamos a cabo una diagnosis de residuos con objeto de garantizar la ausencia de autocorrelación en los mismos. El coeficiente δ_1 asociado al factor de corrección de error recoge la velocidad de ajuste en la respuesta, en cada periodo, de s_t , ante las desviaciones del equilibrio a largo plazo. Si el coeficiente es pequeño, dicha variable tiene una escasa capacidad para corregir el desequilibrio. En términos de cada ecuación, la unidireccionalidad del futuro sobre el índice supone: (a) los coeficientes del polinomio $C(L)$ deben de ser estadísticamente de forma conjunta igual a cero; debe de existir algún coeficiente significativo en el polinomio $D(L)$, y (b) el coeficiente δ_2 asociado al término de corrección de error en la ecuación del futuro debe ser no significativo. Análogamente, si los rendimientos del índice causan en el sentido de Granger a los correspondientes al futuro, entonces alguno de los coeficientes del polinomio $C(L)$ ha de ser significativos, el contraste de significatividad conjunta de todos los coeficientes del

²⁶ La estimación por separado de cada ecuación a partir de mínimos cuadrados da lugar a estimaciones ineficientes, excepto si la correlación contemporánea entre las perturbaciones de cada mercado es nula. El hecho de estimar por Mínimos Cuadrados en dos etapas permite obtener estimaciones consistentes sin tener que adoptar un supuesto acerca de la distribución de las perturbaciones del modelo.

Cap. 3. Dinámica y Causalidad Entre Rendimientos.

polinomio $B(L)$ debería llevar a no rechazar la hipótesis nula, y el coeficiente δ_2 debe ser significativo a los niveles de confianza habituales, a la vez que $\delta_1 = 0$.

Las Tablas 3.24 a 3.27 muestran los resultados obtenidos en la estimación a partir de las series de rendimientos globales, y de cada una de las tres submuestras analizadas. La Tabla 3.28 resume los resultados de los contrastes de significatividad conjuntos que son relevantes para obtener evidencia empírica sobre la relación de causalidad entre los rendimientos de ambos mercados²⁷, mientras que la Tabla 3.29 presenta los contrastes de ausencia de autocorrelación sobre las series de residuos estimados, las cuales confirman la validez de los contrastes de causalidad efectuados.

(Insertar Tablas 3.24 a 3.29)

Los resultados de la estimación del modelo bivalente de corrección de error ponen de manifiesto que el parámetro estimado asociado al término de corrección de error en la ecuación del futuro es significativo. Este coeficiente estimado es positivo tanto en la estimación de la serie global como en cada una de las estimaciones realizadas a partir de las tres submuestras analizadas individualmente. El parámetro estimado para el factor de corrección de error en la ecuación del Ibx 35, es significativo en las cuatro estimaciones efectuadas, y al contrario de lo observado en la ecuación del futuro es negativo en todos los casos, como cabría esperar. Asimismo puede observarse que estas estimaciones son siempre en valor absoluto superiores a las estimaciones correspondientes al parámetro asociado al término de corrección de error en la ecuación del futuro. Estas pautas de comportamiento empíricamente observadas sugieren que es el mercado de futuros el que juega un papel más importante a la hora de corregir en el corto plazo, las desviaciones del equilibrio a largo plazo (en la fecha de vencimiento del contrato, la base teórica debe ser igual a cero), es decir, las operaciones en el

²⁷ Los contrastes de causalidad se han efectuado a través de las sumas residuales del modelo restringido y sin restringir, respectivamente. El estadístico de contraste es el siguiente:

$$\frac{[SR(\hat{\beta}_R) - SR(\hat{\beta})]/q}{SR(\hat{\beta})/(T-k)}$$
, donde SR denota la suma residual, $\hat{\beta}_R$, el estimador por MCO del modelo restringido, siendo q el número de restricciones y $T-k$ el número de grados de libertad del modelo sin restringir. Este estadístico es asintóticamente equivalente al estadístico de Wald dividido por q , que sigue una distribución chi cuadrado con q grados de libertad.

Cap. 3. Dinámica y Causalidad Entre Rendimientos.

mercado de futuros son más eficientes para garantizar la ausencia de oportunidades sistemáticas de llevar a cabo operaciones de arbitraje. Respecto a la dirección de la causalidad dos implicaciones relevantes emergen de las Tablas 3.24 a 3.27: 1) Sistemáticamente rechazamos la hipótesis de que los coeficientes del polinomio $B(L)$ sean conjuntamente igual a cero, 2) la hipótesis de que todos los coeficientes del polinomio $C(L)$ sean estadísticamente no significativos de forma conjunta se rechaza asimismo en todos los casos y 3) la resolución del contraste para la hipótesis nula conjunta $H_0 : C(L)=0, \delta_2 = 0$ conduce también a la aceptación de la hipótesis alternativa en todos los casos. En la línea de los resultados preliminares expuestos anteriormente, se observa que el valor del estadístico de contraste para la hipótesis nula $C(L)=0$ (o para la hipótesis nula de $C(L)=0, \delta_2 = 0$) es muy superior al correspondiente para el contraste de la hipótesis nula $B(L)=0$, excepto para la submuestra que abarca desde el 19/12/94 hasta el 15/12/95. Estas tres características sugieren que, si bien la relación de causalidad entre las series de rendimientos de ambos mercados es bidireccional (utilizando como ventana de observación muestral intervalos de 5 minutos), la capacidad predictiva del futuro sobre el índice es relativamente mayor que la del Ibex sobre el futuro, lo que confirma la evidencia previa presentada anteriormente. De hecho, un examen detallado de las Tablas 3.24 a 3.27 revela que, en el primero de los sentidos citados, el adelanto predictivo puede llegar a los 50 minutos, mientras que en el sentido contrario, generalmente nunca se extiende por encima de un periodo de 20 minutos.

Otra forma de ilustrar de ilustrar el comportamiento dinámico conjunto de las series es a partir de la función de respuesta a un impulso, en la línea del análisis efectuado por Chan, Chan y Karolyi (1991). Este estadístico, que se obtiene a partir de la aproximación del modelo vectorial de corrección de error a un modelo multivariante de medias móviles, muestra cómo reacciona una las variables cuando se produce un *shock* unitario en la perturbación asociada al otro mercado.

Desde un punto de vista técnico²⁸, en la aproximación también aparecen todas la desviaciones pasadas del equilibrio en el corto plazo. Volviendo al modelo de corrección de error vectorial:

²⁸ En el Capítulo 5 se describe en detalle la obtención de la función de respuesta a un impulso así como la descomposición de la varianza para un Modelo Vectorial Autorregresivo de Corrección de Error.

$$[I - \Psi(L)]r_t = \delta z_{t-1} + u_t, \text{ donde } r_t = \begin{pmatrix} r_{s,t} \\ r_{f,t} \end{pmatrix}, \Psi(L) = \begin{pmatrix} A(L) & B(L) \\ C(L) & D(L) \end{pmatrix}, \delta = \begin{pmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \end{pmatrix}, u_t = \begin{pmatrix} u_{1,t} \\ u_{2,t} \end{pmatrix}.$$

Sea $\Omega_t = E(u_t u_t') = \begin{pmatrix} \sigma_1^2 & \sigma_{1,2} \\ \sigma_{1,2} & \sigma_2^2 \end{pmatrix} \forall t$. En el modelo reducido las perturbaciones están contemporáneamente correlacionadas, por lo que para que las funciones de respuesta a un impulso sean objeto de interpretación es preciso recuperar un modelo estructural, en el que las perturbaciones están incorrelacionadas. Dado que la matriz Ω es simétrica y definida positiva, se tiene que $\Omega = \Gamma\Gamma'$, donde Γ es una matriz triangular superior con elementos positivos en la diagonal principal (factorización de Choleski). Premultiplicando el modelo por Γ^{-1} , y expresando el modelo en la forma media móvil, tenemos:

$$r_t = \Phi^{-1}(L)z_t + \Phi^{-1}(L)a_t, \text{ donde } \Phi(L) = \Gamma^{-1}[I - \Psi(L)], u_t = \Gamma^{-1}a_t, \text{ de forma que } E(a_t a_t') = \Gamma^{-1}\Omega(\Gamma')^{-1} = I, \text{ donde puede observarse que además de la forma media móvil,}$$

aparecen todas las desviaciones pasadas del equilibrio en el corto plazo. La identificación del modelo estructural a través de la factorización de Choleski de la matriz Ω conlleva de forma implícita la imposición de un determinada dirección de causalidad entre las perturbaciones del modelo estructural. Por tanto, presentamos las funciones de respuesta a un impulso cuando las perturbaciones estructurales del mercado de futuros causan a las perturbaciones del mercado de contado así como cuando se impone la relación de causalidad en el sentido inverso.

Las Ilustraciones 3.9 a 3.16 muestran respectivamente las funciones de respuesta a un impulso normalizadas²⁹, para las dos alternativas que acabamos de comentar, y para las tres submuestras consideradas de forma individual así como para la muestra global. Las Ilustraciones 3.9 a 3.16 muestran las funciones de respuesta a un impulso bajo la hipótesis de causalidad desde el mercado de futuros hacia el mercado de contado en las perturbaciones del modelo estructural. Se observa que el rendimiento del Ibex 35 reacciona de forma apreciable ante un impulso en la perturbación asociada al mercado de futuros, tanto en cada submuestra como para la muestra global. El efecto desaparece al cabo de aproximadamente 25 minutos. Por otro lado, las respuestas del mercado de futuros ante una perturbación en el mercado de contado son

²⁹ Téngase en cuenta que las varianzas residuales de cada ecuación son diferentes por lo que es necesario normalizar para observar de forma comparativa con mayor claridad las respuestas frente a un *shock*.

Cap. 3. Dinámica y Causalidad Entre Rendimientos.

menos intensas, y en general el efecto desaparece aproximadamente al cabo de 10 minutos. Las Ilustraciones 3.9 a 3.16 muestran las funciones de respuesta a un impulso bajo la hipótesis de causalidad desde el mercado de contado hacia el mercado de futuros en las perturbaciones del modelo estructural. Con relación a las Ilustraciones anteriormente comentadas, pueden observarse dos características de interés: a) la reacción del mercado de futuros ante un *shock* en el mercado de contado se prolonga en el tiempo durante un intervalo de aproximadamente 10 minutos, una longitud temporal inferior a la detectada, en general de 20 minutos, a lo largo de las Ilustraciones 3.9 a 3.12, y b) la reacción máxima del mercado de contado ante un impulso en el mercado de futuros, que se alcanza un periodo posterior al de la ocurrencia del *shock*, es superior a la reacción máxima observada en el mercado de futuros ante un impulso en el mercado de contado cuando se impone causalidad desde el primero hacia el segundo en las perturbaciones del modelo estructural, la cual también se produce en el periodo siguiente al que se ha producido el *shock*.

En todos los casos se observa que las funciones de respuesta a un impulso convergen rápidamente hacia cero, como cabría esperar. En este sentido puede observarse en todas las funciones estimadas que pasados, en general 12 periodos, el efecto se hace nulo. Por tanto, al cabo de una hora el efecto ha desaparecido. Esta característica de todas las funciones de respuesta a un impulso (un *shock* transitorio tiene a su vez efectos transitorios y no permanentes) corrobora en términos estadísticos que las series de rendimientos son estacionarias.

El estudio de las funciones de respuesta a un impulso aporta evidencia empírica adicional sobre la existencia de una estructura de causalidad de naturaleza bidireccional entre los rendimientos de ambos mercados, en donde la capacidad explicativa del mercado futuros sobre el mercado de contado es mayor que la detectada en sentido inverso.

3.6. CONCLUSIONES.

En este Capítulo se lleva a cabo un análisis empírico del comportamiento dinámico conjunto de las series de rendimientos en el mercado español de futuros sobre el Ibex 35 y de los rendimientos del índice, con el objeto de caracterizar la relación de causalidad existente entre los precios en ambos mercados. Hemos investigado la existencia de una capacidad explicativa sobre los movimientos de los precios en cada mercado a partir de la

información contenida en la evolución pasada de los precios, tanto en el mercado al contado como en el mercado de futuros. Para ello, hemos estimado un modelo vectorial autorregresivo que incorpora la relación de cointegración entre ambas series, no sólo para la serie global de rendimientos a lo largo de toda la muestra, sino también para cada uno de las tres submuestras en que se ha particionado el periodo muestral. Esto nos permite calibrar la estabilidad cualitativa y cuantitativa de los resultados empíricos obtenidos para las serie globales de rendimientos.

Los resultados sugieren que las series de rendimientos del futuro sobre el Ibex 35 y el Ibex 35 están simultáneamente relacionadas a lo largo del día de negociación utilizando una frecuencia de 5 minutos. En todos los casos, los coeficientes contemporáneos estimados son fuertemente significativos. Las estimaciones correspondientes a los coeficientes retardados del futuro en la ecuación del Ibex 35 muestran como la capacidad predictiva del rendimiento en el mercado de derivados se produce con un adelanto de entre 20 y 35 minutos, mientras que la causalidad en el sentido contrario no suele extenderse más allá de 10 minutos. Ambos resultados confirman la evidencia empírica detectada a partir de las funciones de correlación cruzada. Además, la magnitud de los coeficientes estimados para el Ibex 35 en la ecuación del futuro es, de forma general, relativamente menor. Por otro lado, los coeficientes estimados correspondientes al factor de corrección de error corroboran que la capacidad de los precios *spot* para corregir una situación de desequilibrio a corto plazo es relativamente menor en comparación con la detectada para el mercado de futuros. El análisis para las tres submuestras consideradas pone de manifiesto que la relación empíricamente detectada es estable a lo largo de todo el periodo muestral analizado.

La evidencia anterior es similar, en términos cualitativos, a la obtenida a partir de la metodología propuesta por Stoll y Whaley (1990) con objeto de filtrar las series de rendimientos de los efectos producidos por la diferente frecuencia de negociación en cada uno de los activos que entran en la composición del índice.

TABLA 3.1. RESUMEN TAMAÑOS MUESTRALES.

VENCIMIENTO	AÑO 1994		AÑO 1995		AÑO 1996	
	Nº DIAS	Nº OBS.	Nº DIAS	Nº OBS.	Nº DIAS	Nº OBS.
ENERO	23	1.556	23	1.610	23	1.604
FEBRERO	20	1.401	19	1.327	20	1.423
MARZO	20	1.413	20	1.425	19	1.360
ABRIL	18	1.277	22	1.555	22	1.510
MAYO	24	1.693	17	1.162	17	1.189
JUNIO	20	1.398	20	1.411	24	1.652
JULIO	20	1.388	25	1.741	20	1.386
AGOSTO	23	1.599	19	1.305	18	1.242
SEPTIEMBRE	19	1.348	20	1.355	25	1.690
OCTUBRE	24	1.716	24	1.709	19	1.386
NOVIEMBRE	18	1.263	18	1.280	19	1.341
DICIEMBRE	18	1.254	18	1.274	24	1.686
TOTAL	247	17.306	245	17.154	251	17.397

Notas:

- * Los días de negociación correspondientes al 14 de Febrero de 1995, 27 de Febrero de 1996, 27 de Mayo de 1996 y 29 de Julio de 1996 no han sido considerados, ya que no se dispone de buena parte del horario de negociación relevante.
- * Para la muestra global se dispone de 743 días de negociación; el número total de observaciones es de 51.929.

TABLA 3.2. ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS. FUTURO.

	MUESTRA			
	20/12/93 - 16/12/94	19/12/94 - 15/12/95	18/12/95 - 20/12/96	GLOBAL
Media	3.434,37	3.239,41	4.078,10	3.586,52
Desv. Típica	232,66	194,49	297,65	434,90
C. Variación	0,07	0,06	0,07	0,12
Asimetría	0,39	-0,06	0,47	0,64
Exceso de Curtosis	-0,97	-1,05	-0,15	-0,28
Máximo	3.977	3.587	5.005	5.005
Mínimo	3.040	2.845	3.510	2.845
Q ₃ -Q ₁ *	387	318	403	934
P ₉₅ -P ₅ *	704	617	1.019	1.728
Mediana	3.409,50	3.245,00	4.075,00	3.501,10

Notas: * Rango intercuartílico.

* Diferencia entre el Percentil de orden 95 y el percentil de orden 5.

TABLA 3.3. ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS. IBEX 35.

	MUESTRA			
	20/12/93 - 16/12/94	19/12/94 - 15/12/95	18/12/95 - 20/12/96	GLOBAL
Media	3.433,70	3.231,99	4.068,44	3.580,59
Desv. Típica	229,27	189,89	296,79	431,81
C. Variación	0,07	0,06	0,07	0,12
Asimetría	0,43	-0,09	0,48	0,64
Exceso de Curtosis	-0,92	-0,99	-0,16	-0,28
Máximo	3.980,53	3.578,12	5.008,02	5.008,02
Mínimo	3.059,37	2.833,98	3.509,12	3.578,12
Q ₃ -Q ₁ *	376,12	307,45	415,81	906,65
P ₉₅ -P ₅ *	700,18	613,59	1.011,60	1.698,34
Mediana	3.407,13	3.239,33	4.063,00	3.492,23

Notas: * Rango intercuartílico.

* Diferencia entre el Percentil de orden 95 y el percentil de orden 5.

TABLA 3.4. ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS. RENDIMIENTOS FUTURO.

	MUESTRA			
	20/12/93 - 16/12/94	19/12/94 - 15/12/95	18/12/95 - 20/12/96	GLOBAL
Media (%)	-0,00	-0,00	0,00	-0,00
D. Típica (%)	0,12	0,11	0,08	0,12
Asimetría	-0,22	-0,19	-0,09	-0,24
Exceso de Curtosis	85,64	211,60	7,50	1.754,90
Máximo (%)	3,05	3,44	7,80	7,80
Mínimo (%)	-3,08	-3,41	-0,89	-3,41
Q ₃ -Q ₁ * (%)	0,18	0,11	0,08	0,03
P ₉₅ -P ₅ * (%)	0,36	0,30	0,24	0,16
Mediana (%)	-0,00	-0,00	0,00	-0,00

Notas: * Rango intercuartílico.

* Diferencia entre el Percentil de orden 95 y el percentil de orden 5.

TABLA 3.5. ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS. RENDIMIENTOS IBEX 35.

	MUESTRA			
	20/12/93 - 16/12/94	19/12/94 - 15/12/95	18/12/95 - 20/12/96	GLOBAL
Media (%)	-0,00	-0,00	0,00	0,00
D. Típica (%)	0,14	0,10	0,07	0,11
Asimetría	-3,14	-0,34	1,56	-2,27
Exceso de Curtosis	121,36	51,98	171,29	132,01
Máximo (%)	1,93	1,51	2,46	2,46
Mínimo (%)	-4,27	-2,23	-2,48	-4,27
Q ₃ -Q ₁ * (%)	0,08	0,07	0,05	0,06
P ₉₅ -P ₅ * (%)	0,29	0,24	0,20	0,28
Mediana	-0,00	-0,00	0,00	0,00

Notas: * Rango intercuartílico.

* Diferencia entre el Percentil de orden 95 y el percentil de orden 5.

TABLA 3.6. CONTRASTES DE RAÍZ UNITARIA.

	Futuro				Ibex 35			
	Niveles		Logaritmos		Niveles		Logaritmos	
P'	8		6		6		6	
Muestra								
20/12/93 hasta 16/12/94	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
	-0,43	31,75	-0,35	35,42	-0,44	40,03	-0,36	26,82
		(0,67)		(0,49)		(0,29)		(0,86)
P'	6		6		6		7	
Muestra								
19/12/94 hasta 15/12/95	0,59	31,39	0,60	41,59	0,68	31,64	0,66	38,10
		(0,68)		(0,24)		(0,67)		(0,37)
P'	5		6		5		6	
Muestra								
18/12/95 hasta 20/12/96	2,43	26,92	2,26	31,13	2,40	22,53	2,28	34,03
		(0,86)		(0,69)		(0,96)		(0,56)
P'	12		12		10		10	
Muestra								
GLOBAL	1,55	42,23	1,22	43,79	1,53	29,54	1,22	29,82
		(0,22)		(0,17)		(0,76)		(0,75)

Notas: En todos los casos el modelo estimado es:

$$P_t = \rho P_{t-1} + \sum_{i=1}^p \delta_i \Delta P_{t-i} + u_t.$$

(1) Valor muestral del estadístico de contraste para la significatividad de ρ . El valor crítico al nivel de significación del 5% es -1,95.

(2) $Q(36)$. (Estadístico Ljung-Box para el contraste de ausencia de autocorrelación sobre las series de residuos). Entre paréntesis figura el nivel de significación crítico del contraste. Para h retardos el estadístico de contraste es:

$$Q(h) = T(T+2) \sum_{jsh} \frac{1}{T-j} \hat{\rho}_j^2, \text{ donde } T \text{ es el tamaño muestral y } \hat{\rho}_j \text{ es el coeficiente de autocorrelación}$$

de orden j . Asintóticamente el estadístico sigue una distribución χ_h .

* Número de retardos considerados en el modelo de regresión para el contraste de Dickey-Fuller aumentado.

TABLA 3.7. AUTOCORRELACIONES SIMPLES. AÑO 1994.

<i>k</i>	FUTURO			IBEX		
	Niveles	Logaritmos	Rendimientos	Niveles	Logaritmos	Rendimientos
1	0,999	0,999	-0,061	0,999	0,999	0,035
2	0,999	0,999	-0,011	0,999	0,999	-0,003
3	0,999	0,999	-0,024	0,999	0,999	-0,002
4	0,998	0,998	-0,010	0,998	0,998	0,010
5	0,998	0,998	-0,013	0,998	0,998	0,012
6	0,998	0,998	-0,000	0,998	0,998	0,019
7	0,998	0,998	-0,003	0,998	0,998	0,001
8	0,997	0,997	0,000	0,997	0,997	0,007
9	0,997	0,997	0,009	0,997	0,997	0,006
10	0,997	0,997	-0,007	0,997	0,997	0,004

Nota: La desviación típica estimada de los estadísticos presentados puede aproximarse por $\frac{1}{\sqrt{T}}$, donde *T* es el tamaño muestral. En este caso la desviación estimada es igual a 0,008.

TABLA 3.8. AUTOCORRELACIONES PARCIALES. AÑO 1994.

<i>k</i>	FUTURO			IBEX		
	Niveles	Logaritmos	Rendimientos	Niveles	Logaritmos	Rendimientos
1	0,999	0,999	-0,061	0,999	0,999	0,035
2	0,030	0,041	-0,015	-0,037	-0,031	-0,005
3	0,011	0,015	-0,026	0,020	0,005	-0,002
4	0,020	0,011	-0,014	0,007	0,003	0,011
5	-0,003	-0,007	-0,015	-0,003	-0,010	0,011
6	-0,000	0,005	-0,003	-0,013	-0,008	0,018
7	-0,004	-0,013	-0,004	-0,019	-0,017	-0,000
8	-0,006	-0,003	-0,001	-0,014	0,003	0,007
9	0,004	0,006	0,009	0,002	-0,006	0,005
10	-0,007	-0,011	-0,006	-0,006	-0,007	0,004

Nota: La desviación típica estimada de los estadísticos presentados puede aproximarse por $\frac{1}{\sqrt{T}}$, donde *T* es el tamaño muestral. En este caso la desviación estimada es igual a 0,008.

TABLA N° 3.9. AUTOCORRELACIONES SIMPLES. AÑO 1995.

<i>k</i>	FUTURO			IBEX		
	<i>Niveles</i>	<i>Logaritmos</i>	<i>Rendimientos</i>	<i>Niveles</i>	<i>Logaritmos</i>	<i>Rendimientos</i>
1	0,999	0,999	-0,133	0,999	0,999	0,057
2	0,999	0,999	-0,004	0,999	0,999	0,005
3	0,999	0,999	-0,031	0,999	0,999	0,000
4	0,998	0,998	-0,004	0,998	0,998	-0,001
5	0,998	0,998	0,002	0,998	0,998	-0,002
6	0,998	0,998	-0,000	0,998	0,998	-0,010
7	0,997	0,997	0,005	0,997	0,997	-0,006
8	0,997	0,997	-0,011	0,997	0,997	-0,000
9	0,997	0,997	-0,005	0,997	0,997	-0,001
10	0,997	0,997	0,008	0,997	0,997	-0,014

Nota: La desviación típica estimada de los estadísticos presentados puede aproximarse por $\frac{1}{\sqrt{T}}$, donde *T* es el tamaño muestral. En este caso la desviación estimada es igual a 0,008.

TABLA N° 3.10. AUTOCORRELACIONES PARCIALES. AÑO 1995.

<i>k</i>	FUTURO			IBEX		
	<i>Niveles</i>	<i>Logaritmos</i>	<i>Rendimientos</i>	<i>Niveles</i>	<i>Logaritmos</i>	<i>Rendimientos</i>
1	0,999	0,999	-0,133	0,999	0,999	0,057
2	0,066	0,066	-0,022	-0,021	-0,026	0,005
3	0,009	0,011	-0,036	0,004	-0,001	0,000
4	0,013	0,014	-0,013	0,004	0,004	-0,001
5	0,000	0,002	-0,001	0,003	0,001	-0,002
6	0,001	0,002	-0,001	-0,003	0,002	-0,010
7	-0,002	0,003	0,005	0,010	0,014	-0,006
8	0,003	-0,001	-0,010	0,011	0,004	-0,001
9	0,011	0,007	-0,008	0,001	-0,003	-0,002
10	-0,006	-0,004	0,007	-0,003	0,000	-0,014

Nota: La desviación típica estimada de los estadísticos presentados puede aproximarse por $\frac{1}{\sqrt{T}}$, donde *T* es el tamaño muestral. En este caso la desviación estimada es igual a 0,008.

TABLA 3.11. AUTOCORRELACIONES SIMPLES. AÑO 1996.

<i>k</i>	FUTURO			IBEX		
	<i>Niveles</i>	<i>Logaritmos</i>	<i>Rendimientos</i>	<i>Niveles</i>	<i>Logaritmos</i>	<i>Rendimientos</i>
1	0,999	0,999	-0,041	0,999	0,999	-0,074
2	0,999	0,999	-0,037	0,999	0,999	-0,020
3	0,998	0,998	-0,015	0,998	0,998	-0,010
4	0,998	0,998	0,008	0,998	0,998	0,004
5	0,997	0,997	0,011	0,997	0,997	0,000
6	0,997	0,997	0,025	0,997	0,997	0,001
7	0,997	0,997	0,002	0,997	0,997	0,017
8	0,997	0,997	0,013	0,997	0,997	0,009
9	0,996	0,996	0,014	0,996	0,996	0,011
10	0,995	0,995	-0,010	0,995	0,995	0,011

Nota: La desviación típica estimada de los estadísticos presentados puede aproximarse por $\frac{1}{\sqrt{T}}$, donde *T* es el tamaño muestral. En este caso la desviación estimada es igual a 0,008.

TABLA 3.12. AUTOCORRELACIONES PARCIALES. AÑO 1996.

<i>k</i>	FUTURO			IBEX		
	<i>Niveles</i>	<i>Logaritmos</i>	<i>Rendimientos</i>	<i>Niveles</i>	<i>Logaritmos</i>	<i>Rendimientos</i>
1	0,999	0,999	-0,041	0,999	0,999	-0,074
2	0,004	0,004	-0,039	-0,004	0,004	-0,025
3	0,005	0,002	-0,018	0,000	0,002	-0,013
4	0,010	-0,002	0,005	0,000	-0,002	0,002
5	-0,002	0,001	0,011	-0,007	0,001	0,000
6	-0,001	-0,000	0,027	-0,000	-0,000	0,001
7	0,001	0,003	0,005	0,001	0,003	0,017
8	-0,000	-0,003	0,016	-0,003	-0,003	0,012
9	0,000	0,005	0,017	-0,003	0,005	0,014
10	0,001	-0,001	-0,008	0,010	-0,001	0,014

Nota: La desviación típica estimada de los estadísticos presentados puede aproximarse por $\frac{1}{\sqrt{T}}$, donde *T* es el tamaño muestral. En este caso la desviación estimada es igual a 0,008.

TABLA 3.13. AUTOCORRELACIONES SIMPLES. SERIE GLOBAL.

<i>k</i>	FUTURO			IBEX		
	<i>Niveles</i>	<i>Logaritmos</i>	<i>Rendimientos</i>	<i>Niveles</i>	<i>Logaritmos</i>	<i>Rendimientos</i>
1	0,999	0,999	-0,186	0,999	0,999	0,024
2	0,999	0,999	-0,014	0,999	0,999	-0,003
3	0,999	0,999	-0,013	0,999	0,999	-0,003
4	0,999	0,999	-0,010	0,999	0,999	0,006
5	0,999	0,999	0,005	0,999	0,999	0,006
6	0,999	0,999	-0,004	0,999	0,999	0,007
7	0,998	0,998	0,006	0,998	0,998	0,002
8	0,998	0,998	-0,008	0,998	0,998	0,005
9	0,998	0,998	0,006	0,998	0,998	0,005
10	0,998	0,998	-0,004	0,998	0,998	0,000

Nota: La desviación típica estimada de los estadísticos presentados puede aproximarse por $\frac{1}{\sqrt{T}}$, donde *T* es el tamaño muestral. En este caso la desviación estimada es igual a 0,004.

TABLA 3.14. AUTOCORRELACIONES PARCIALES. SERIE GLOBAL.

<i>k</i>	FUTURO			IBEX		
	<i>Niveles</i>	<i>Logaritmos</i>	<i>Rendimientos</i>	<i>Niveles</i>	<i>Logaritmos</i>	<i>Rendimientos</i>
1	0,999	0,999	-0,186	0,999	0,999	0,024
2	0,041	0,061	-0,051	-0,009	-0,011	-0,004
3	0,007	0,010	-0,026	0,003	0,004	-0,002
4	0,008	0,011	-0,019	0,001	0,002	0,006
5	-0,003	-0,002	-0,001	-0,008	-0,006	0,006
6	-0,000	-0,001	-0,005	-0,005	-0,005	0,007
7	-0,003	-0,003	0,004	-0,002	-0,002	0,001
8	-0,000	-0,000	-0,007	-0,003	-0,003	0,005
9	-0,000	0,000	0,003	-0,004	-0,003	0,005
10	0,001	0,000	-0,003	0,007	0,004	-0,000

Nota: La desviación típica estimada de los estadísticos presentados puede aproximarse por $\frac{1}{\sqrt{T}}$, donde *T* es el tamaño muestral. En este caso la desviación estimada es igual a 0,004.

TABLA 3.15. ESTIMACIÓN ECUACIÓN DE COINTEGRACIÓN (*).

	MUESTRA			
	20/12/93 - 16/12/94	19/12/94 - 15/12/95	18/12/95 - 20/12/96	GLOBAL
$\hat{\alpha}$	0,1382	0,1749	0,0079	0,0492
$\hat{\beta}$	0,9830	0,9780	0,9987	0,9937

* $s_t = \alpha + \beta f_t + \varepsilon_t$

TABLA 3.16. CONTRASTES DE COINTEGRACIÓN.

Tipo de Contraste	MUESTRA							
	20/12/93 - 16/12/94		19/12/94 - 15/12/95		18/12/95 - 20/12/96		GLOBAL	
		$Q(36)^*$		$Q(36)$		$Q(36)$		$Q(36)$
ADF*	-9,43	32,27 (0,64)	-8,01	35,11 (0,51)	-7,74	35,42 (0,49)	-13,83	33,79 (0,57)
ARVAR**	119,87		129,49		111,71		360,75	
AUVAR***	83,95		131,24		121,58		348,64	

* *Augmented Dickey-Fuller*. Los valores críticos al nivel de significación del 5% y 1% son, respectivamente, -3,17 y -3,77.

** *Augmented Restricted Vector Autoregresion*. Los valores críticos al nivel de significación del 5% y 1% son, respectivamente, 11,8 y 15,8

*** *Augmented Unrestricted Vector Autoregresion*. Los valores críticos al nivel de significación del 5% y 1% son, respectivamente, 17,9 y 22,6.

* Estadísticos Ljung-Box series de residuos. Entre paréntesis figura el nivel de significación crítico del contraste. El número de retardos considerados es, en todos los casos, igual a 36. Para h retardos el estadístico de contraste es:

$$Q(h) = T(T+2) \sum_{j=1}^h \frac{1}{T-j} \hat{\rho}_j^2, \text{ donde } T \text{ es el tamaño muestral y } \hat{\rho}_j \text{ es el coeficiente de autocorrelación}$$

de orden j . Asíntoticamente el estadístico sigue una distribución χ^2_h .

TABLA 3.17. FUNCIONES DE CORRELACIÓN CRUZADA, SERIES DE RENDIMIENTOS.

Muestra	k=-12	k=-11	K=-10	k=-9	k=-8	k=-7	K=-6	k=-5	k=-4	k=-3	k=-2	K=-1	k=0	Q(-12 a -1)*
20/12/93	-,002	,009	-,006	-,003	,004	,006	,013	-,013	-,010	-,008	-,051	,028	,321	10,93 (,53)
Hasta	k=1	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7	K=8	k=9	k=10	k=11	k=12	DT*	Q(1 a 12)
16/12/94	,203	,078	,040	,020	,024	,013	,005	-,011	,019	,007	,004	,002	,008	73.362,27 (,00)
Muestra	k=-12	k=-11	K=-10	k=-9	k=-8	k=-7	K=-6	k=-5	k=-4	k=-3	k=-2	K=-1	k=0	Q(-12 a -1)*
19/12/94	-,002	,008	,016	-,006	-,004	-,004	-,011	,007	-,014	,008	-,026	,037	,240	50,66 (,00)
Hasta	k=1	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7	K=8	k=9	k=10	k=11	k=12	DT	Q(1 a 12)
15/12/95	,152	,038	-,000	,005	,008	-,000	,004	-,014	,008	-,006	,008	,008	,008	902.723,18 (,00)
Muestra	k=-12	k=-11	k=-10	k=-9	k=-8	k=-7	k=-6	K=-5	k=-4	k=-3	k=-2	k=-1	k=0	Q(-12 a -1)*
18/12/95	,013	,000	-,001	,016	,007	-,002	,015	,006	,019	-,005	-,017	,015	,472	115,32 (,00)
Hasta	k=1	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7	K=8	k=9	k=10	k=11	k=12	DT	Q(1 a 12)
20/12/96	,176	,034	,012	,011	,008	,001	,011	,024	,025	-,009	,001	,006	,008	30.503,27 (,00)
Muestra	k=-12	k=-11	k=-10	k=-9	k=-8	k=-7	k=-6	k=-5	k=-4	k=-3	k=-2	k=-1	k=0	Q(-12 a -1)*
Global	,000	,007	,004	-,001	,001	,001	,003	-,002	-,007	-,001	-,035	,029	,303	113,54 (,00)
	k=1	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7	k=8	k=9	k=10	k=11	k=12	DT	Q(1 a 12)
	,173	,054	,018	,012	,015	,006	,005	-,007	,015	-,000	,005	,005	,004	19.076,73 (,00)

Notas:

* Desviación típica estimada, que puede aproximarse por $\frac{1}{\sqrt{T}}$, donde T es el tamaño muestral.

* Estadístico Ljung-Box para el contraste de significatividad conjunta del conjunto de retardos. Para p retardos el estadístico de contraste es:

$Q(h) = T(T+2) \sum_{j \leq h} \frac{1}{T-j} \hat{\rho}_{X,Y}(k)$, donde T es el tamaño muestral y $\hat{\rho}_{X,Y}(k)$ es el coeficiente de correlación cruzada de orden j . Asintóticamente el estadístico sigue una distribución χ_h^2 . Entre paréntesis figura el nivel de significación crítico del contraste.

TABLA 3.18. FUNCIONES DE CORRELACIÓN CRUZADA. SERIES DE RENDIMIENTOS FILTRADAS.

Muestra	$k=-12$	$k=-11$	$k=-10$	$k=-9$	$k=-8$	$k=-7$	$k=-6$	$k=-5$	$k=-4$	$k=-3$	$k=-2$	$k=-1$	$k=0$	$Q(-12 a -1)^*$
20/12/93	,001	,010	-,005	-,001	,006	,008	,015	-,010	-,004	-,001	-,036	,057	,337	89,03 (,00)
Hasta	$k=1$	$k=2$	$k=3$	$k=4$	$k=5$	$k=6$	$k=7$	$k=8$	$k=9$	$k=10$	$k=11$	$k=12$	DT*	$Q(1 a 12)$
16/12/94	,198	,075	,038	,020	,025	,013	,005	-,010	,020	,007	,004	,002	,008	7.255,57 (,00)
19/12/94	$k=-12$	$k=-11$	$k=-10$	$k=-9$	$k=-8$	$k=-7$	$k=-6$	$k=-5$	$k=-4$	$k=-3$	$k=-2$	$k=-1$	$k=0$	$Q(-12 a -1)^*$
Hasta	,002	,013	,013	-,010	-,007	-,007	-,009	,006	-,006	,024	,031	,153	,307	435,29 (,00)
15/12/95	$k=1$	$k=2$	$k=3$	$k=4$	$k=5$	$k=6$	$k=7$	$k=8$	$k=9$	$k=10$	$k=11$	$k=12$	DT	$Q(1 a 12)$
	,159	,032	,000	,008	,008	-,001	,000	-,011	,009	-,001	,013	,011	,008	4.820,44 (,00)
18/12/95	$k=-12$	$k=-11$	$k=-10$	$k=-9$	$k=-8$	$k=-7$	$k=-6$	$k=-5$	$k=-4$	$k=-3$	$k=-2$	$k=-1$	$k=0$	$Q(-12 a -1)^*$
Hasta	,013	,001	-,000	,016	,009	,001	,016	,010	,019	-,003	,002	,042	,487	53,04 (,00)
20/12/96	$k=1$	$k=2$	$k=3$	$k=4$	$k=5$	$k=6$	$k=7$	$k=8$	$k=9$	$k=10$	$k=11$	$k=12$	DT	$Q(1 a 12)$
	,216	,061	,020	,014	,011	,004	,014	,026	,027	-,007	,001	,005	,008	3.855,33 (,00)
20/12/93	$k=-12$	$k=-11$	$k=-10$	$k=-9$	$k=-8$	$k=-7$	$k=-6$	$k=-5$	$k=-4$	$k=-3$	$k=-2$	$k=-1$	$k=0$	$Q(-12 a -1)^*$
hasta	,002	,008	,003	-,001	,002	,002	,004	-,001	-,002	,006	-,005	,103	,345	559,60 (,00)
20/12/96	$k=1$	$k=2$	$k=3$	$k=4$	$k=5$	$k=6$	$k=7$	$k=8$	$k=9$	$k=10$	$k=11$	$k=12$	DT	$Q(1 a 12)$
	,181	,055	,021	,015	,016	,007	,005	-,004	,016	,001	,006	,005	,004	16.004,77

Notas:

* Desviación típica estimada, que puede aproximarse por $\frac{1}{\sqrt{T}}$, donde T , es el tamaño muestral.

* Estadístico Ljung-Box para el contraste de significatividad conjunta del conjunto de retardos. Para h retardos el estadístico de contraste es:

$Q(h) = T(T+2) \sum_{jsh} \frac{1}{T-j} \hat{\rho}_{X,Y}(k)$, donde T es el tamaño muestral y $\hat{\rho}_{X,Y}(k)$ es el coeficiente de autocorrelación de orden j . Asíntoticamente el estadístico sigue una distribución χ_h . Entre paréntesis figura el nivel de significación crítico del contraste.

TABLA 3.19. ESTIMACIÓN MODELOS UNIVARIANTES.

Muestra	MODELO ESTIMADO	
	FUTURO	CONTADO
20/12/93 hasta 16/12/94	$(1 - ,657B - ,021B^2)r_{f,t} = (1 + ,721B)a_t$ (,109) (,013) (,109)	$(1 - ,035B)r_{s,t} = a_t$ (,007)
19/12/94 hasta 15/12/95	$(1 - ,063B)r_{f,t} = (1 + ,412B)a_t$ (,021) (,019)	$(1 - ,057B)r_{s,t} = a_t$ (,007)
18/12/95 hasta 20/12/96	$(1 + ,042B + ,038B^2)r_{f,t} = a_t$ (,007) (,007)	$(1 + ,075B + ,025B^2)r_{s,t} = a_t$ (,007) (,007)
GLOBAL	$(1 - ,320B - ,044B^2)r_{f,t} = (1 + ,518B)a_t$ (,053) (,012) (,053)	$(1 - ,312B)r_{s,t} = (1 + ,298B + ,011B^2)a_t$ (,179) (,179) (,006)

Nota: La representación matemática de un modelo general $ARMA(p, q)$ es:

$$(1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p)r_{i,t} = (1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q)a_t,$$

con $a_t, i.i.d. \sim N(0, \sigma_a^2)$, donde $r_{i,t}, i = s, f$ representan las series de rendimientos del mercado de contado y del mercado de futuros respectivamente.

Entre paréntesis figuran las desviaciones típicas estimadas.

TABLA 3.20. ESTIMACIÓN DEL VECTOR AUTORREGRESIVO SOBRE INNOVACIONES. MUESTRA: 20/12/93 - 16/12/94.

ECUACIÓN FUTURO				ECUACIÓN IBEX 35			
$r_{f,t-1}$	-,0187 (,0081) *	$r_{s,t-1}$	-,0187 (,0074) *	$r_{f,t-1}$,2710 (,0089) *	$r_{s,t-1}$	-,1155 (,0081) *
$r_{f,t-2}$,0069 (,0084)	$r_{s,t-2}$	-,0324 (,0075) *	$r_{f,t-2}$,1437 (,0092) *	$r_{s,t-2}$	-,0826 (,0082) *
$r_{f,t-3}$	-,0073 (,0085)	$r_{s,t-3}$,0004 (,0075)	$r_{f,t-3}$,0859 (,0093) *	$r_{s,t-3}$	-,0409 (,0082) *
$r_{f,t-4}$,0006 (,0085)	$r_{s,t-4}$	-,0030 (,0075)	$r_{f,t-4}$,0522 (,0093) *	$r_{s,t-4}$	-,0147 (,0083) *
$r_{f,t-5}$	-,0023 (,0085)	$r_{s,t-5}$	-,0091 (,0075)	$r_{f,t-5}$,0427 (,0093) *	$r_{s,t-5}$	-,0037 (,0083)
$r_{f,t-6}$	-,0001 (,0085)	$r_{s,t-6}$,0137 (,0075) **	$r_{f,t-6}$,0201 (,0093) *	$r_{s,t-6}$,0163 (,0082) *
$r_{f,t-7}$	-,0056 (,0085)	$r_{s,t-7}$,0083 (,0075)	$r_{f,t-7}$,0068 (,0093)	$r_{s,t-7}$,0007 (,0082)
$r_{f,t-8}$	-,0015 (,0085)	$r_{s,t-8}$,0055 (,0075)	$r_{f,t-8}$	-,0111 (,0093)	$r_{s,t-8}$,0062 (,0082)
$r_{f,t-9}$,0141 (,0085) **	$r_{s,t-9}$	-,0038 (,0075)	$r_{f,t-9}$,0203 (,0093) *	$r_{s,t-9}$	-,0015 (,0082)
$r_{f,t-10}$	-,0051 (,0084)	$r_{s,t-10}$	-,0041 (,0072)	$r_{f,t-10}$,0056 (,0092)	$r_{s,t-10}$,0015 (,0079)
Contraste de Significatividad Conjunto				Contraste de Significatividad conjunto			
$\chi^2_{10} = 91,99$ [,00]				$\chi^2_{10} = 1.144,74$ [,00]			

Notas:

1. Entre paréntesis figura la desviación típica del coeficiente estimado. * Significativo al 95%. ** Significativo al 90%.
2. Entre corchetes figura el nivel de significación crítico del contraste.
3. Las desviaciones típicas residuales del mercado de futuros y contado son iguales a ,0012 y ,0013, respectivamente

TABLA 3.21. ESTIMACIÓN DEL VECTOR AUTORREGRESIVO SOBRE INNOVACIONES. MUESTRA: 19/12/94 - 15/12/95.

ECUACIÓN FUTURO				ECUACIÓN IBEX 35			
$r_{f,t-1}$	-,0691 (,0081) *	$r_{s,t-1}$,0253 (,0112) *	$r_{f,t-1}$,1384 (,0059) *	$r_{s,t-1}$	-,0702 (,0081) *
$r_{f,t-2}$	-,0534 (,0083) *	$r_{s,t-2}$,0918 (,0114) *	$r_{f,t-2}$,0471 (,0060) *	$r_{s,t-2}$	-,0521 (,0083) *
$r_{f,t-3}$	-,0419 (,0083) *	$r_{s,t-3}$,0733 (,0115) *	$r_{f,t-3}$,0170 (,0061) *	$r_{s,t-3}$	-,0281 (,0083) *
$r_{f,t-4}$	-,0339 (,0083) *	$r_{s,t-4}$,0216 (,0115) **	$r_{f,t-4}$,0188 (,0061) *	$r_{s,t-4}$	-,0244 (,0083) *
$r_{f,t-5}$	-,0054 (,0083)	$r_{s,t-5}$,0260 (,0115) *	$r_{f,t-5}$,0186 (,0061)	$r_{s,t-5}$	-,0167 (,0083) *
$r_{f,t-6}$	-,0188 (,0084) *	$r_{s,t-6}$,0011 (,0115)	$r_{f,t-6}$,0084 (,0061)	$r_{s,t-6}$	-,0217 (,0083) *
$r_{f,t-7}$	-,0000 (,0084)	$r_{s,t-7}$,0013 (,0115)	$r_{f,t-7}$,0082 (,0061)	$r_{s,t-7}$	-,0109 (,0083)
$r_{f,t-8}$	-,0208 (,0084) *	$r_{s,t-8}$,0009 (,0115)	$r_{f,t-8}$	-,0045 (,0060)	$r_{s,t-8}$	-,0034 (,0083)
$r_{f,t-9}$	-,0013 (,0083)	$r_{s,t-9}$	-,0094 (,0114)	$r_{f,t-9}$,0136 (,0059) *	$r_{s,t-9}$	-,0061 (,0083)
$r_{f,t-10}$,0015 (,0083)	$r_{s,t-10}$,0169 (,0112)	$r_{f,t-10}$,0053 (,0059)	$r_{s,t-10}$	-,0179 (,0081) *
Contraste de Significatividad conjunto				Contraste de Significatividad conjunto			
$\chi^2_{10} = 558,22$ [,00]				$\chi^2_{10} = 579,86$ [,00]			

Notas:

1. Entre paréntesis figura la desviación típica del coeficiente estimado.* Significativo al 95%. ** Significativo al 90%.
2. Entre corchetes figura el nivel de significación crítico del contraste.
3. Las desviaciones típicas residuales del mercado de futuros y contado son iguales a ,0014 y ,0011, respectivamente

TABLA 3.22. ESTIMACIÓN DEL VECTOR AUTORREGRESIVO SOBRE INNOVACIONES. MUESTRA: 18/12/95 - 20/12/96.

ECUACIÓN FUTURO				ECUACIÓN IBEX 35			
$r_{f,t-1}$	-,0358 (,0089) *	$r_{s,t-1}$,0681 (,0094) *	$r_{f,t-1}$,3204 (,0084) *	$r_{s,t-1}$	-,2090 (,0089) *
$r_{f,t-2}$	-,0314 (,0094) *	$r_{s,t-2}$,0273 (,0097) *	$r_{f,t-2}$,1716 (,0089) *	$r_{s,t-2}$	-,1320 (,0092) *
$r_{f,t-3}$	-,0393 (,0096) *	$r_{s,t-3}$,0191 (,0098) *	$r_{f,t-3}$,1104 (,0091) *	$r_{s,t-3}$	-,0991 (,0092) *
$r_{f,t-4}$	-,0126 (,0097)	$r_{s,t-4}$,0262 (,0098) *	$r_{f,t-4}$,0845 (,0092) *	$r_{s,t-4}$	-,0611 (,0093) *
$r_{f,t-5}$,0005 (,0097)	$r_{s,t-5}$,0058 (,0098)	$r_{f,t-5}$,0604 (,0092) *	$r_{s,t-5}$	-,0488 (,0093) *
$r_{f,t-6}$,0209 (,0097) *	$r_{s,t-6}$,0059 (,0098)	$r_{f,t-6}$,0370 (,0092) *	$r_{s,t-6}$	-,0316 (,0093) *
$r_{f,t-7}$,0038 (,0097)	$r_{s,t-7}$	-,0017 (,0098)	$r_{f,t-7}$,0235 (,0092) *	$r_{s,t-7}$	-,0096 (,0093)
$r_{f,t-8}$,0132 (,0096)	$r_{s,t-8}$,0027 (,0097)	$r_{f,t-8}$,0353 (,0091) *	$r_{s,t-8}$	-,0123 (,0092)
$r_{f,t-9}$,0064 (,0095)	$r_{s,t-9}$,0160 (,0095)	$r_{f,t-9}$,0310 (,0090) *	$r_{s,t-9}$	-,0018 (,0090)
$r_{f,t-10}$	-,0173 (,0093) **	$r_{s,t-10}$,0069 (,0090)	$r_{f,t-10}$	-,0101 (,0088)	$r_{s,t-10}$,0130 (,0085)
Contraste de Significatividad conjunto				Contraste de Significatividad conjunto			
$\chi_{10}^2 = 60,26$ [,00]				$\chi_{10}^2 = 1.632,62$ [,00]			

Notas:

1. Entre paréntesis figura la desviación típica del coeficiente estimado. * Significativo al 95%. ** Significativo al 90%.
2. Entre corchetes figura el nivel de significación crítico del contraste.
3. Las desviaciones típicas residuales del mercado de futuros y contado son iguales a ,007 en ambos casos.

TABLA 3.23. ESTIMACIÓN DEL VECTOR AUTORREGRESIVO SOBRE INNOVACIONES. MUESTRA GLOBAL.

ECUACIÓN FUTURO				ECUACIÓN IBEX 35			
$r_{f,t-1}$	-,0445 (,0047) *	$r_{s,t-1}$,1366 (,0052) *	$r_{f,t-1}$,2066 (,0043) *	$r_{s,t-1}$	-,1017 (,0047) *
$r_{f,t-2}$	-,0286 (,0048) *	$r_{s,t-2}$,0134 (,0053) *	$r_{f,t-2}$,0966 (,0044) *	$r_{s,t-2}$	-,0739 (,0048) *
$r_{f,t-3}$	-,0160 (,0049) *	$r_{s,t-3}$,0186 (,0053) *	$r_{f,t-3}$,0529 (,0044) *	$r_{s,t-3}$	-,0409 (,0048) *
$r_{f,t-4}$	-,0128 (,0049) *	$r_{s,t-4}$,0047 (,0053)	$r_{f,t-4}$,0351 (,0044) *	$r_{s,t-4}$	-,0209 (,0048) *
$r_{f,t-5}$,0019 (,0049)	$r_{s,t-5}$,0002 (,0053)	$r_{f,t-5}$,0289 (,0044) *	$r_{s,t-5}$	-,0118 (,0048) *
$r_{f,t-6}$	-,0065 (,0049)	$r_{s,t-6}$,0057 (,0053)	$r_{f,t-6}$,0128 (,0044) *	$r_{s,t-6}$	-,0019 (,0048)
$r_{f,t-7}$,0016 (,0049)	$r_{s,t-7}$,0023 (,0053)	$r_{f,t-7}$,0095 (,0044) *	$r_{s,t-7}$	-,0037 (,0048)
$r_{f,t-8}$	-,0087 (,0049) **	$r_{s,t-8}$,0037 (,0053)	$r_{f,t-8}$	-,0018 (,0044)	$r_{s,t-8}$,0011 (,0048)
$r_{f,t-9}$,0054 (,0049)	$r_{s,t-9}$	-,0027 (,0053)	$r_{f,t-9}$,0173 (,0044) *	$r_{s,t-9}$	-,0020 (,0048)
$r_{f,t-10}$	-,0032 (,0049)	$r_{s,t-10}$,0011 (,0053)	$r_{f,t-10}$,0031 (,0044)	$r_{s,t-10}$	-,0035 (,0048)
$r_{f,t-11}$,0199 (,0049) *	$r_{s,t-11}$,0041 (,0053)	$r_{f,t-11}$,0074 (,0044) **	$r_{s,t-11}$	-,0013 (,0048)
$r_{f,t-12}$,0036 (,0048)	$r_{s,t-12}$	-,0005 (,0051)	$r_{f,t-12}$,0007 (,0044)	$r_{s,t-12}$,0092 (,0046) *
Contraste de Significatividad conjunto				Contraste de Significatividad conjunto			
$\chi^2_{10} = 679,11$ [,00]				$\chi^2_{10} = 2.664,63$ [,00]			

Notas:

1. Entre paréntesis figura la desviación típica del coeficiente estimado. * Significativo al 95%. ** Significativo al 90%.
2. Entre corchetes figura el nivel de significación crítico del contraste.
3. Las desviaciones típicas residuales del mercado de futuros y contado son iguales a ,0011 en ambos casos.

TABLA 3.24. ESTIMACIÓN DEL VECTOR DE CORRECCIÓN DE ERROR. MUESTRA: 20/12/93 - 16/12/94.

ECUACIÓN FUTURO				ECUACIÓN IBEX 35			
Factor de corrección de Error $\langle \delta_1 \rangle$: ,0111 (,0027) *				Factor de corrección de Error $\langle \delta_2 \rangle$: -,0223 (,0029) *			
D(L)		C(L)		B(L)		A(L)	
$r_{f,t-1}$	-,0759 (,0083) *	$r_{s,t-1}$,0533 (,0075) *	$r_{f,t-1}$,2576 (,0091) *	$r_{s,t-1}$	-,0746 (,0081) *
$r_{f,t-2}$	-,0152 (,0085) **	$r_{s,t-2}$	-,0362 (,0075) *	$r_{f,t-2}$,1529 (,0093) *	$r_{s,t-2}$	-,0748 (,0082) *
$r_{f,t-3}$	-,0227 (,0086) *	$r_{s,t-3}$,0003 (,0075)	$r_{f,t-3}$,0964 (,0094) *	$r_{s,t-3}$	-,0353 (,0085) *
$r_{f,t-4}$	-,0111 (,0086)	$r_{s,t-4}$	-,0038 (,0075)	$r_{f,t-4}$,0623 (,0094) *	$r_{s,t-4}$	-,0114 (,0082)
$r_{f,t-5}$	-,0107 (,0086)	$r_{s,t-5}$	-,0095 (,0075)	$r_{f,t-5}$,0514 (,0094) *	$r_{s,t-5}$	-,0017 (,0082)
$r_{f,t-6}$	-,0064 (,0086) *	$r_{s,t-6}$,0136 (,0075) **	$r_{f,t-6}$,0281 (,0094) *	$r_{s,t-6}$,0176 (,0085) *
$r_{f,t-7}$	-,0101 (,0086)	$r_{s,t-7}$,0073 (,0075)	$r_{f,t-7}$,0126 (,0094)	$r_{s,t-7}$,0016 (,0085)
$r_{f,t-8}$	-,0050 (,0086)	$r_{s,t-8}$,0046 (,0074)	$r_{f,t-8}$	-,0077 (,0094)	$r_{s,t-8}$,0077 (,0085)
$r_{f,t-9}$,0089 (,0085)	$r_{s,t-9}$	-,0046 (,0074)	$r_{f,t-9}$,0216 (,0093) *	$r_{s,t-9}$	-,0000 (,0085)
$r_{f,t-10}$	-,0065 (,0084)	$r_{s,t-10}$	-,0043 (,0071)	$r_{f,t-10}$,0075 (,0092)	$r_{s,t-10}$,0036 (,0084)

Notas:

1. Entre paréntesis figura la desviación típica del coeficiente estimado. * Significativo al 95%. ** Significativo al 90%.
2. Entre corchetes figura el nivel de significación crítico del contraste.
3. Las desviaciones típicas residuales del mercado de futuros y contado son iguales a ,0012 y ,0013, respectivamente.

TABLA 3.25. ESTIMACIÓN DEL VECTOR DE CORRECCIÓN DE ERROR. MUESTRA: 19/12/94 - 15/12/95.

ECUACIÓN FUTURO				ECUACIÓN IBEX 35			
Factor de corrección de Error $\langle \delta_1 \rangle$: ,0174 (,0032) *				Factor de corrección de Error $\langle \delta_2 \rangle$: -,0182 (,0023) *			
D(L)		C(L)		B(L)		A(L)	
$\Gamma_{f,t-1}$	-,4066 (,0084) *	$\Gamma_{s,t-1}$,2481 (,0112) *	$\Gamma_{f,t-1}$,1262 (,0061) *	$\Gamma_{s,t-1}$	-,0074 (,0081)
$\Gamma_{f,t-2}$	-,2134 (,0093) *	$\Gamma_{s,t-2}$,0734 (,0114) *	$\Gamma_{f,t-2}$,0866 (,0067) *	$\Gamma_{s,t-2}$	-,0442 (,0082) *
$\Gamma_{f,t-3}$	-,1237 (,0095) *	$\Gamma_{s,t-3}$,0654 (,0114) *	$\Gamma_{f,t-3}$,0467 (,0064) *	$\Gamma_{s,t-3}$	-,0219 (,0083) *
$\Gamma_{f,t-4}$	-,0801 (,0096) *	$\Gamma_{s,t-4}$,0158 (,0114) *	$\Gamma_{f,t-4}$,0341 (,0069) *	$\Gamma_{s,t-4}$	-,0203 (,0083) *
$\Gamma_{f,t-5}$	-,0345 (,0096) *	$\Gamma_{s,t-5}$,0237 (,0114) *	$\Gamma_{f,t-5}$,0288 (,0069) *	$\Gamma_{s,t-5}$	-,0131 (,0083)
$\Gamma_{f,t-6}$	-,0318 (,0096) *	$\Gamma_{s,t-6}$	-,0008 (,0114) *	$\Gamma_{f,t-6}$,0165 (,0069) *	$\Gamma_{s,t-6}$	-,0186 (,0083) *
$\Gamma_{f,t-7}$	-,0116 (,0096)	$\Gamma_{s,t-7}$,0019 (,0114)	$\Gamma_{f,t-7}$,0119 (,0069) **	$\Gamma_{s,t-7}$	-,0075 (,0083)
$\Gamma_{f,t-8}$	-,0265 (,0094) *	$\Gamma_{s,t-8}$,0032 (,0113) *	$\Gamma_{f,t-8}$	-,0034 (,0068)	$\Gamma_{s,t-8}$	-,0002 (,0082)
$\Gamma_{f,t-9}$	-,0145 (,0092)	$\Gamma_{s,t-9}$	-,0054 (,0112)	$\Gamma_{f,t-9}$,0081 (,0066)	$\Gamma_{s,t-9}$	-,0026 (,0081)
$\Gamma_{f,t-10}$	-,0123 (,0082)	$\Gamma_{s,t-10}$	-,0226 (,0108)	$\Gamma_{f,t-10}$,0016 (,0060)	$\Gamma_{s,t-10}$	-,0142 (,0078) **

Notas:

1. Entre paréntesis figura la desviación típica del coeficiente estimado. * Significativo al 95%. ** Significativo al 90%.
2. Entre corchetes figura el nivel de significación crítico del contraste.
3. Las desviaciones típicas residuales del mercado de futuros y contado son iguales a ,0014 y ,0011, respectivamente

TABLA 3.26. ESTIMACIÓN DEL VECTOR DE CORRECCIÓN DE ERROR. MUESTRA: 18/12/95 - 20/12/96.

ECUACIÓN FUTURO				ECUACIÓN IBEX 35			
Factor de corrección de Error $\langle \delta_1 \rangle$: ,0085 (,0028) *				Factor de corrección de Error $\langle \delta_2 \rangle$: -,0184 (,0027) *			
<i>D(L)</i>		<i>C(L)</i>		<i>B(L)</i>		<i>A(L)</i>	
<i>r_{f,t-1}</i>	-,0723 (,0091) *	<i>r_{s,t-1}</i>	,0632 (,0028) *	<i>r_{f,t-1}</i>	,3070 (,0086) *	<i>r_{s,t-1}</i>	-,2738 (,0090) *
<i>r_{f,t-2}</i>	-,0674 (,0096) *	<i>r_{s,t-2}</i>	,0290 (,0095) *	<i>r_{f,t-2}</i>	,1758 (,0091) *	<i>r_{s,t-2}</i>	-,1653 (,0094) *
<i>r_{f,t-3}</i>	-,0389 (,0098) *	<i>r_{s,t-3}</i>	,0202 (,0099) *	<i>r_{f,t-3}</i>	,1231 (,0093) *	<i>r_{s,t-3}</i>	-,1089 (,0095) *
<i>r_{f,t-4}</i>	-,0133 (,0099)	<i>r_{s,t-4}</i>	,0261 (,0100) *	<i>r_{f,t-4}</i>	,0904 (,0094) *	<i>r_{s,t-4}</i>	-,0678 (,0096) *
<i>r_{f,t-5}</i>	,0005 (,0099)	<i>r_{s,t-5}</i>	,0067 (,0101)	<i>r_{f,t-5}</i>	,0638 (,0094) *	<i>r_{s,t-5}</i>	-,0524 (,0096) *
<i>r_{f,t-6}</i>	,0214 (,0099) *	<i>r_{s,t-6}</i>	,0057 (,0101)	<i>r_{f,t-6}</i>	,0391 (,0094) *	<i>r_{s,t-6}</i>	-,0341 (,0096) *
<i>r_{f,t-7}</i>	,0064 (,0099)	<i>r_{s,t-7}</i>	-,0028 (,0101)	<i>r_{f,t-7}</i>	,0243 (,0094) *	<i>r_{s,t-7}</i>	-,0111 (,0095)
<i>r_{f,t-8}</i>	,0156 (,0098)	<i>r_{s,t-8}</i>	,0013 (,0099)	<i>r_{f,t-8}</i>	,0349 (,0093) *	<i>r_{s,t-8}</i>	-,0119 (,0094)
<i>r_{f,t-9}</i>	,0079 (,0097)	<i>r_{s,t-9}</i>	,0154 (,0097)	<i>r_{f,t-9}</i>	,0307 (,0091) *	<i>r_{s,t-9}</i>	-,0006 (,0092)
<i>r_{f,t-10}</i>	-,0163 (,0093) **	<i>r_{s,t-10}</i>	,0075 (,0090)	<i>r_{f,t-10}</i>	-,0100 (,0088) *	<i>r_{s,t-10}</i>	,0152 (,0085) **

Notas:

1. Entre paréntesis figura la desviación típica del coeficiente estimado. * Significativo al 95%. ** Significativo al 90%.
2. Entre corchetes figura el nivel de significación crítico del contraste.
3. Las desviaciones típicas residuales del mercado de futuros y contado son iguales a ,0007 en ambos casos.

TABLA 3.27. ESTIMACIÓN DEL VECTOR DE CORRECCIÓN DE ERROR. MUESTRA GLOBAL.

ECUACIÓN FUTURO				ECUACIÓN IBEX 35			
Factor de corrección de Error $\langle \delta_1 \rangle$: ,0136 (,0016) *				Factor de corrección de Error $\langle \delta_2 \rangle$: -,0178 (,0014) *			
D(L)		C(L)		B(L)		A(L)	
$r_{f,t-1}$	-,2337 (,0048) *	$r_{s,t-1}$,1327 (,0052) *	$r_{f,t-1}$,1951 (,0048) *	$r_{s,t-1}$	-,0723 (,0047) *
$r_{f,t-2}$	-,0900 (,0051) *	$r_{s,t-2}$,0078 (,0053)	$r_{f,t-2}$,1301 (,0051) *	$r_{s,t-2}$,0718 (,0048) *
$r_{f,t-3}$	-,0508 (,0052) *	$r_{s,t-3}$,0173 (,0053) *	$r_{f,t-3}$,0788 (,0052) *	$r_{s,t-3}$	-,0379 (,0048) *
$r_{f,t-4}$	-,0320 (,0052) *	$r_{s,t-4}$,0036 (,0053)	$r_{f,t-4}$,0535 (,0052) *	$r_{s,t-4}$	-,0188 (,0048) *
$r_{f,t-5}$	-,0094 (,0052) *	$r_{s,t-5}$	-,0000 (,0053)	$r_{f,t-5}$,0419 (,0052) *	$r_{s,t-5}$	-,0101 (,0048) *
$r_{f,t-6}$	-,0113 (,0052) *	$r_{s,t-6}$,0061 (,0053)	$r_{f,t-6}$,0227 (,0052) *	$r_{s,t-6}$	-,0003 (,0048)
$r_{f,t-7}$	-,0024 (,0052)	$r_{s,t-7}$,0028 (,0053)	$r_{f,t-7}$,0145 (,0052)	$r_{s,t-7}$	-,0021 (,0048)
$r_{f,t-8}$	-,0108 (,0052) *	$r_{s,t-8}$,0048 (,0053)	$r_{f,t-8}$,0006 (,0052) *	$r_{s,t-8}$,0030 (,0047)
$r_{f,t-9}$,0011 (,0051)	$r_{s,t-9}$	-,0006 (,0052)	$r_{f,t-9}$,0161 (,0051)	$r_{s,t-9}$,0002 (,0047)
$r_{f,t-10}$	-,0068 (,0048)	$r_{s,t-10}$,0052 (,0050)	$r_{f,t-10}$,0031 (,0048)	$r_{s,t-10}$	-,0001 (,0045)

Notas:

1. Entre paréntesis figura la desviación típica del coeficiente estimado.* Significativo al 95%. ** Significativo al 90%.
2. Entre corchetes figura el nivel de significación crítico del contraste.
3. Las desviaciones típicas residuales del mercado de futuros y contado son iguales a ,0011 en ambos casos.

TABLA 3.28. CONTRASTES DE CAUSALIDAD.

	MUESTRA			
	20/12/93 - 16/12/94	19/12/94 - 15/12/95	18/12/95 - 20/12/96	GLOBAL
$H_0: B(L) = 0$	$\chi_{10}^2 = 989,7$ [,00]	$\chi_{10}^2 = 444,1$ [,00]	$\chi_{10}^2 = 1.405,7$ [,00]	$\chi_{10}^2 = 2.661,7$ [,00]
$H_0: C(L) = 0$	$\chi_{10}^2 = 89,1$ [,00]	$\chi_{10}^2 = 530,6$ [,00]	$\chi_{10}^2 = 50,7$ [,00]	$\chi_{10}^2 = 6.812,2$ [,00]
$H_0: C(L) = 0$ $\delta_2 = 0$	$\chi_{11}^2 = 109,2$ [,00]	$\chi_{11}^2 = 590,6$ [,00]	$\chi_{11}^2 = 69,4$ [,00]	$\chi_{11}^2 = 681,2$ [,00]

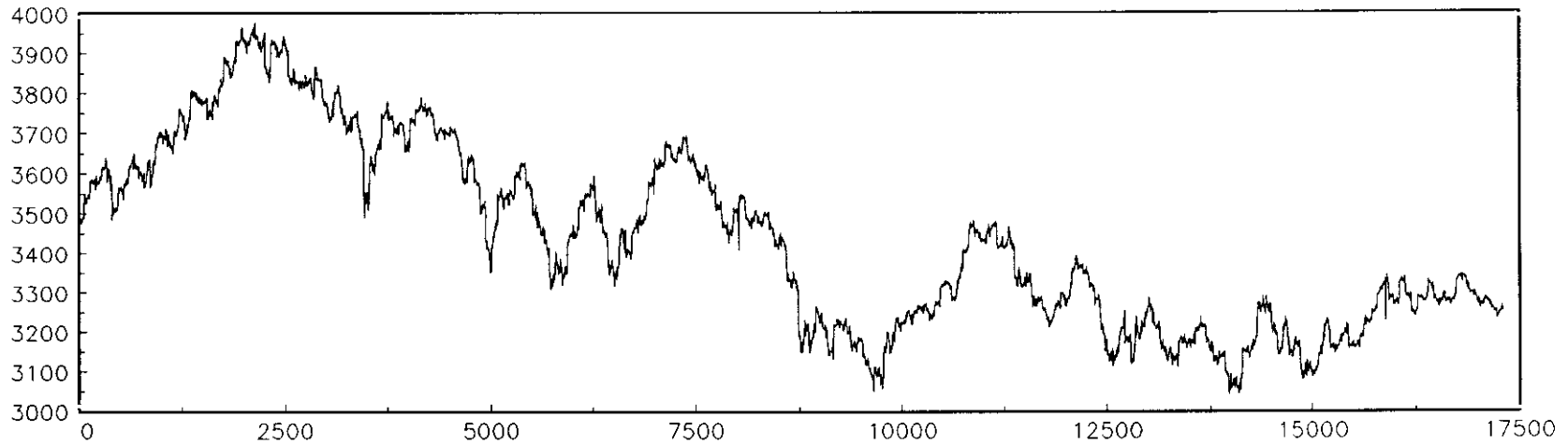
Nota: Entre corchetes figura el nivel de significación crítico del contraste.

TABLA 3.29. ESTADÍSTICOS LJUNG-BOX SERIES DE RESIDUOS del VECM.

	MUESTRA							
	20/12/93 - 16/12/94		19/12/94 - 15/12/95		18/12/95 - 20/12/96		GLOBAL	
	$Q(10)^*$	$Q(15)$	$Q(10)$	$Q(15)$	$Q(10)$	$Q(15)$	$Q(10)$	$Q(15)$
Ecuación 1 (Ibex 35)	0,49 (0,99)	3,92 (0,99)	0,11 (1,00)	7,59 (0,98)	0,09 (1,00)	13,17 (0,58)	0,68 (0,99)	11,37 (0,72)
Ecuación 2 (Futuro)	0,07 (1,00)	5,90 (0,98)	0,31 (0,99)	3,00 (0,98)	0,04 (1,00)	7,79 (0,93)	1,20 (0,99)	8,01 (0,91)

Nota: Entre paréntesis figura el nivel de significación crítico del contraste de ausencia de autocorrelación.

Futuro sobre el Ibex 35
Muestra: 20/12/93 hasta 16/12/94



Ibex 35
Muestra: 20/12/93 hasta 16/12/94

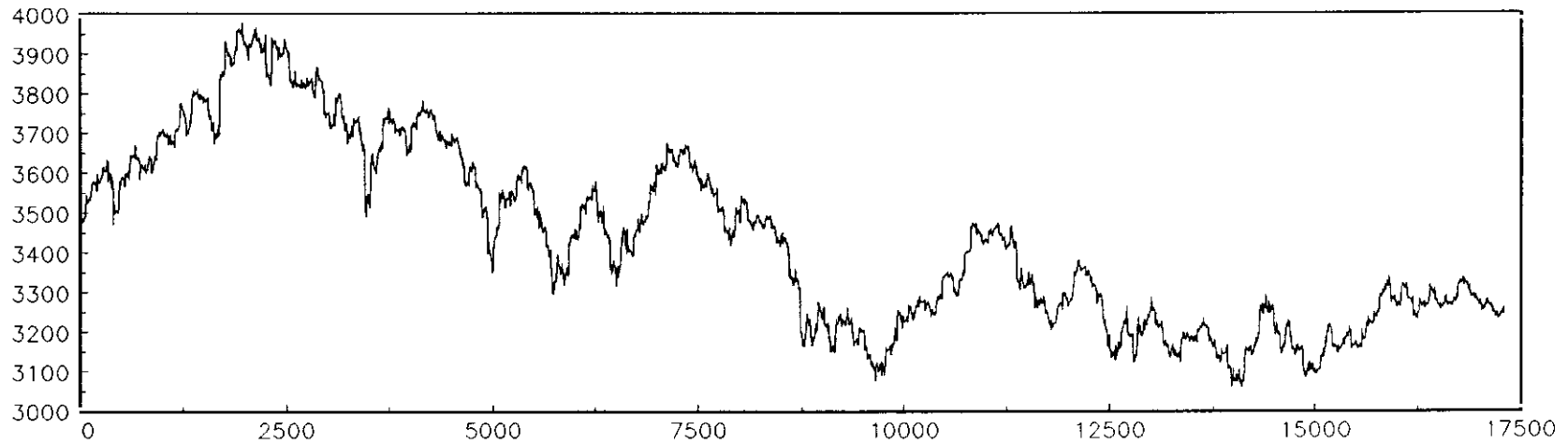
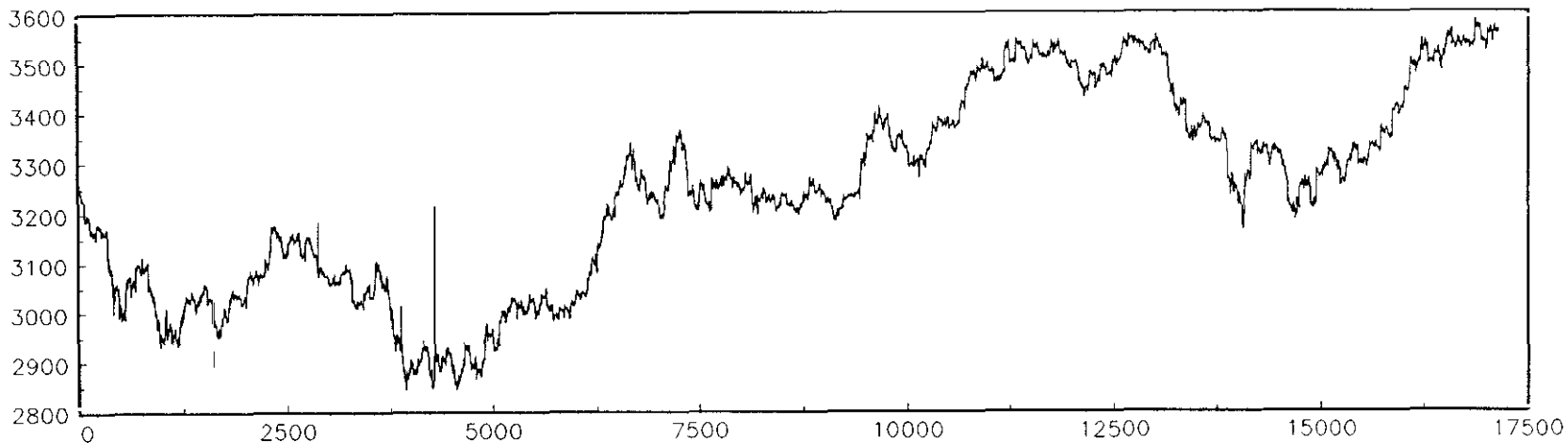


Ilustración 3.1.

Futuro sobre el Ibex 35
Muestra: 19/12/94 hasta 15/12/95

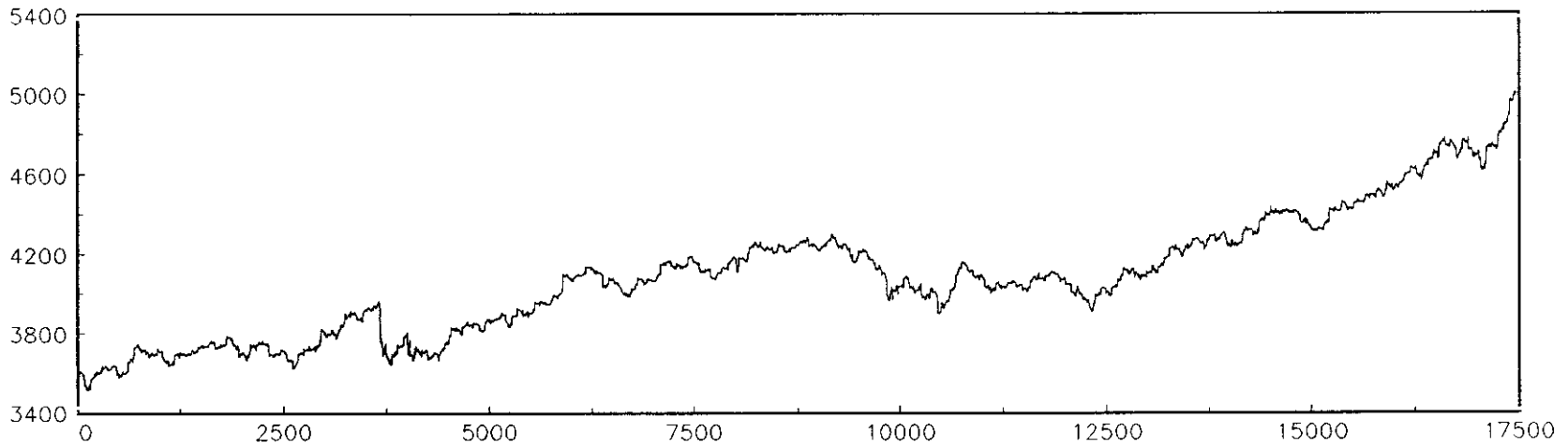


Ibex 35
Muestra: 19/12/94 hasta 15/12/95



Ilustración 3.2.

Futuro sobre el Ibex 35
Muestra: 18/12/95 hasta 20/12/96



Ibex 35
Muestra: 18/12/95 hasta 20/12/96

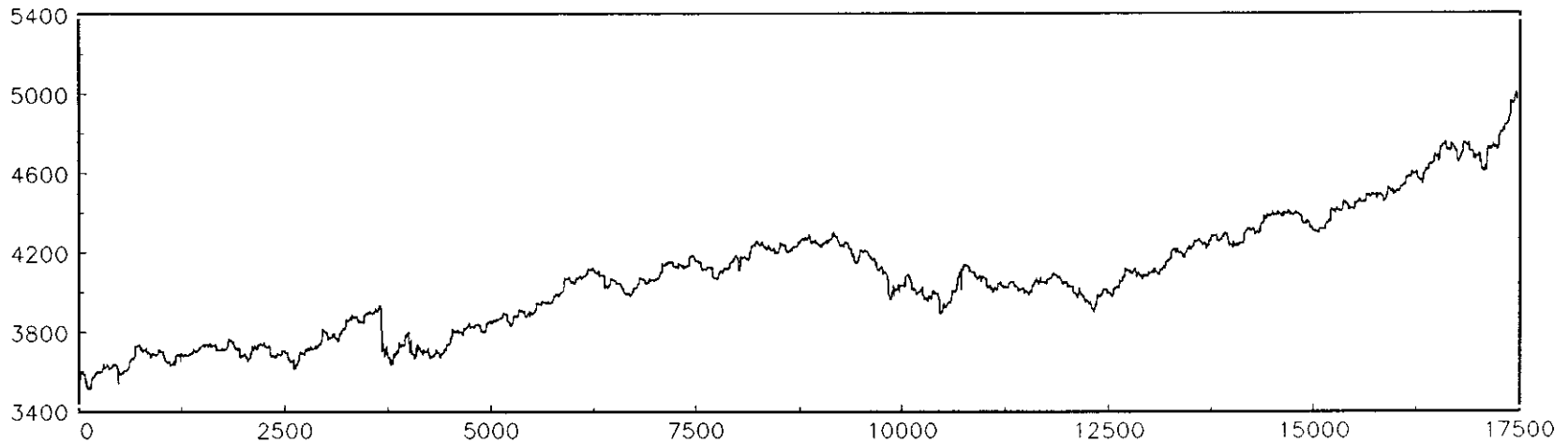
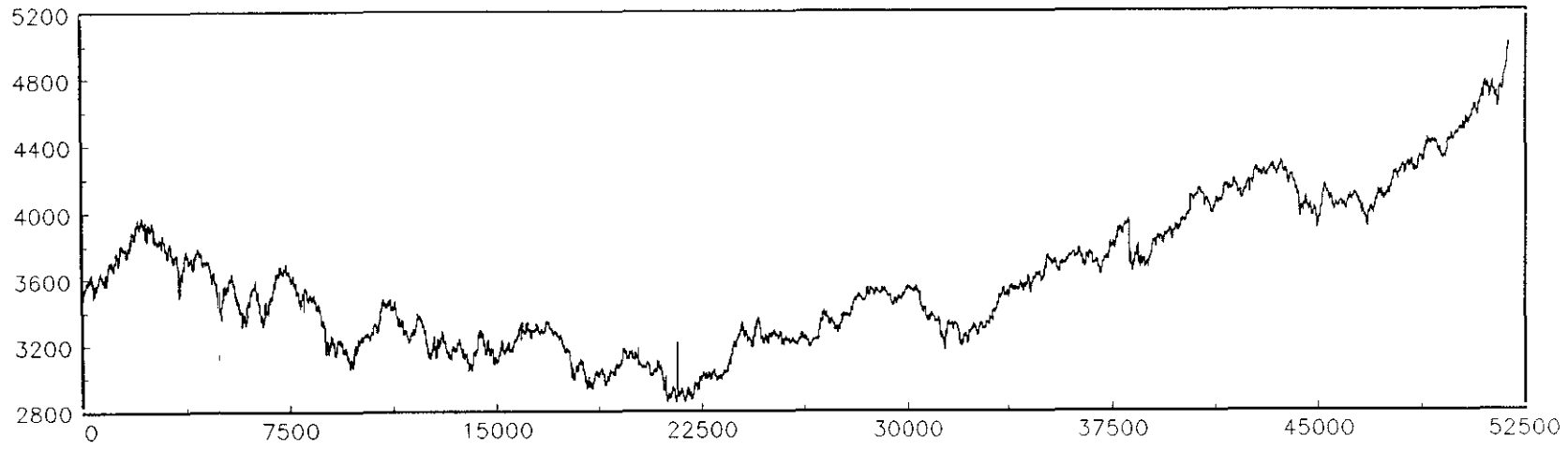


Ilustración 3.3.

Futuro sobre el Ibex 35
Muestra:20/12/93 hasta 20/12/96

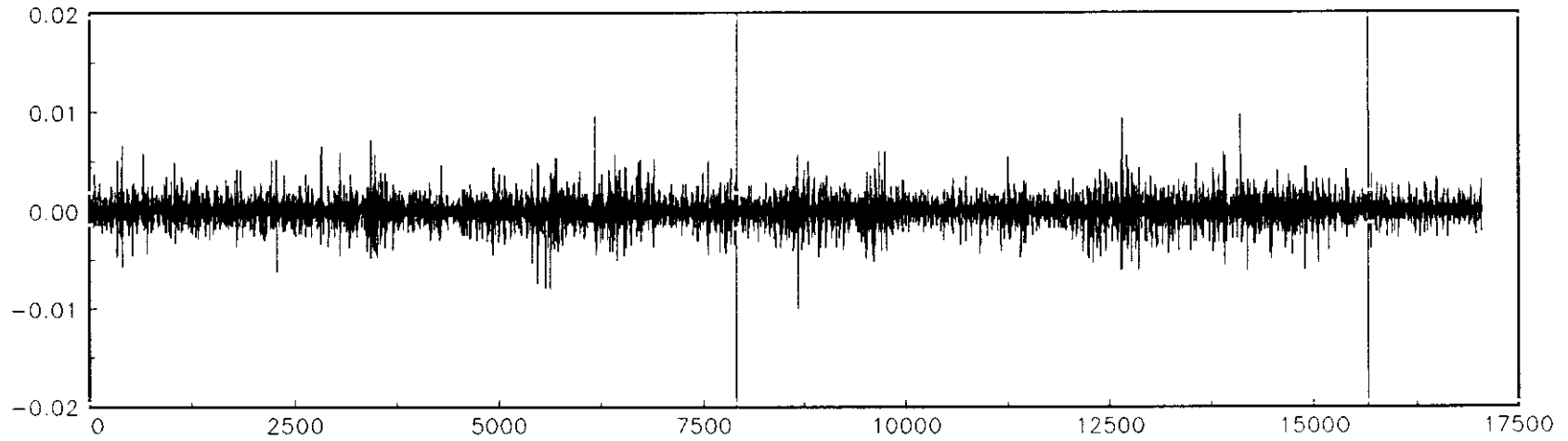


Ibex 35
Muestra Global: 20/12/93 hasta 20/12/96



Ilustración 3.4.

Rendimientos Futuro
Muestra: 20/12/93 hasta 16/12/94



Rendimientos Ibox 35
Muestra: 20/12/93 hasta 16/12/94

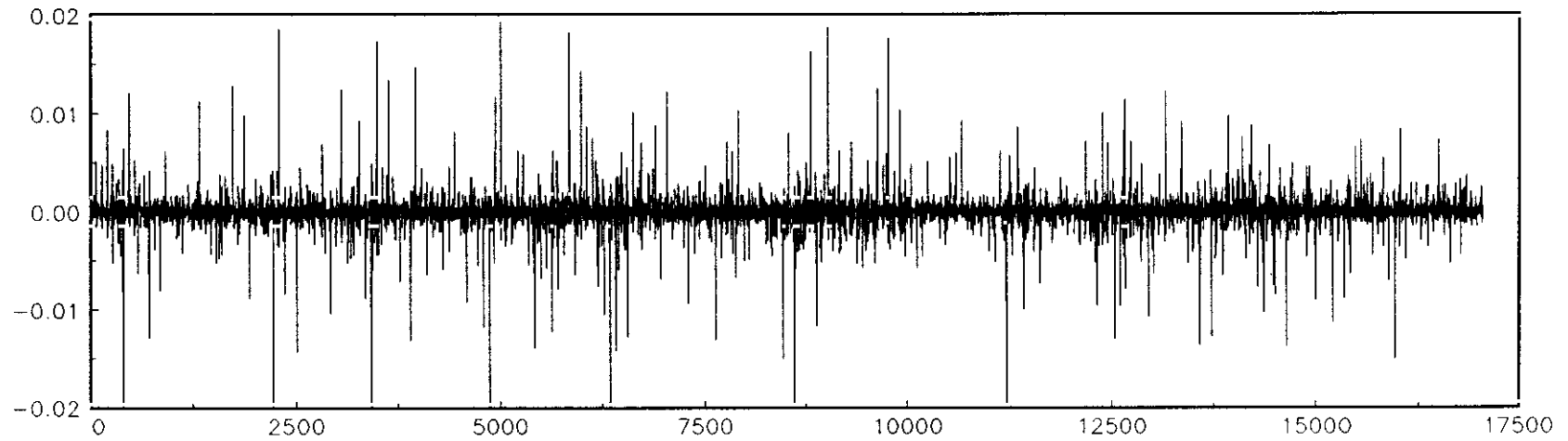
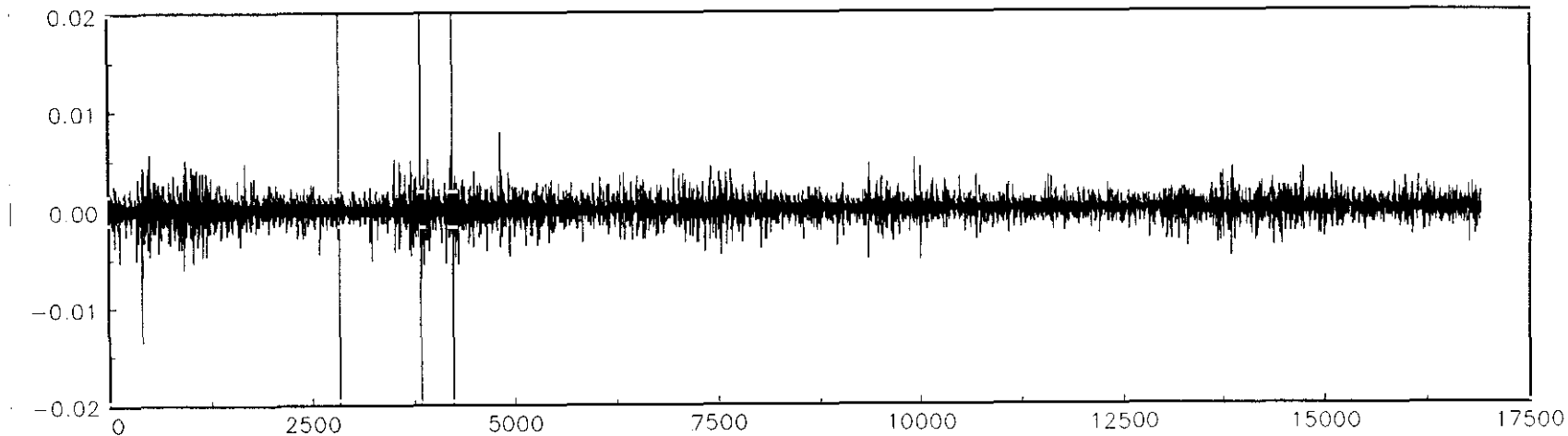


Ilustración 3.5.

Rendimientos Futuro
Muestra: 19/12/94 hasta 15/12/95



Rendimientos Ibox 35
Muestra: 19/12/94 hasta 15/12/95

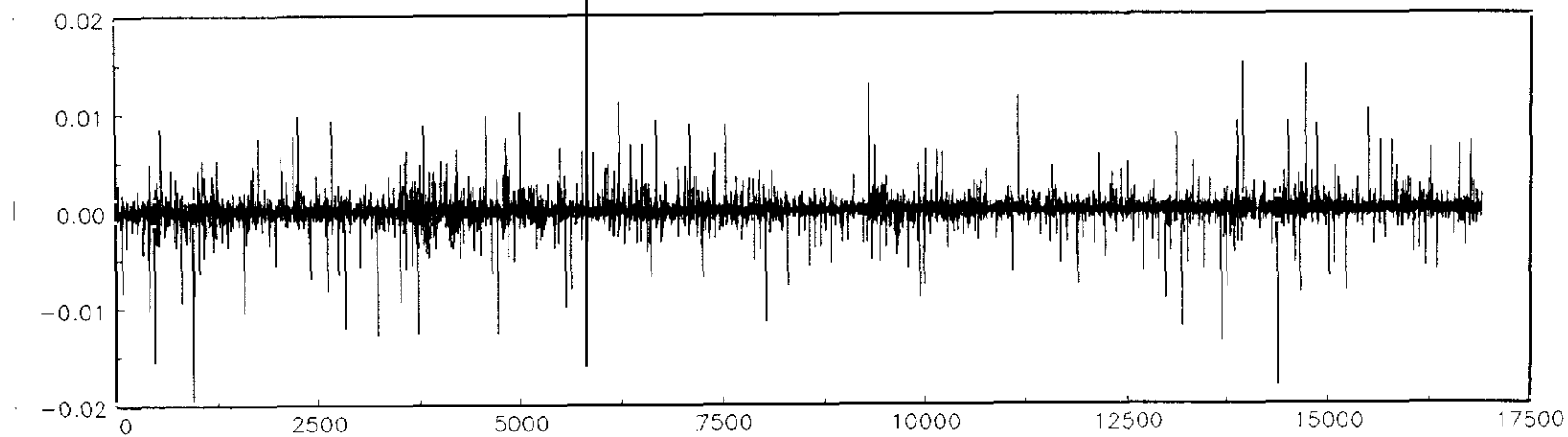
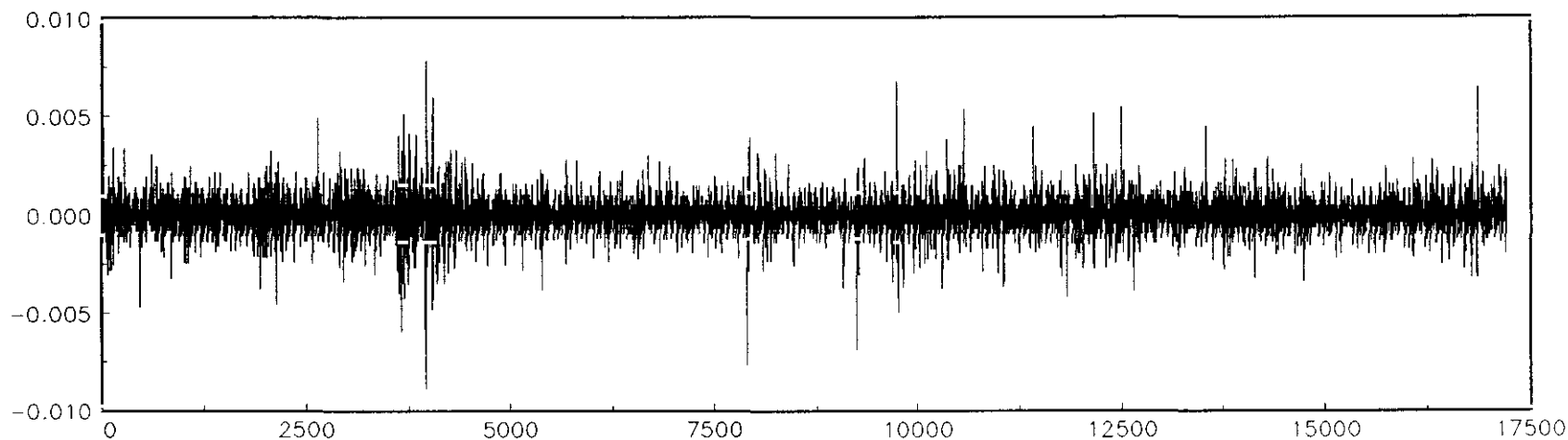


Ilustración 3.6.

Rendimientos Futuro
Muestra: 18/12/95 hasta 20/12/96



Rendimientos Ibex 35
Muestra: 18/12/95 hasta 20/12/96

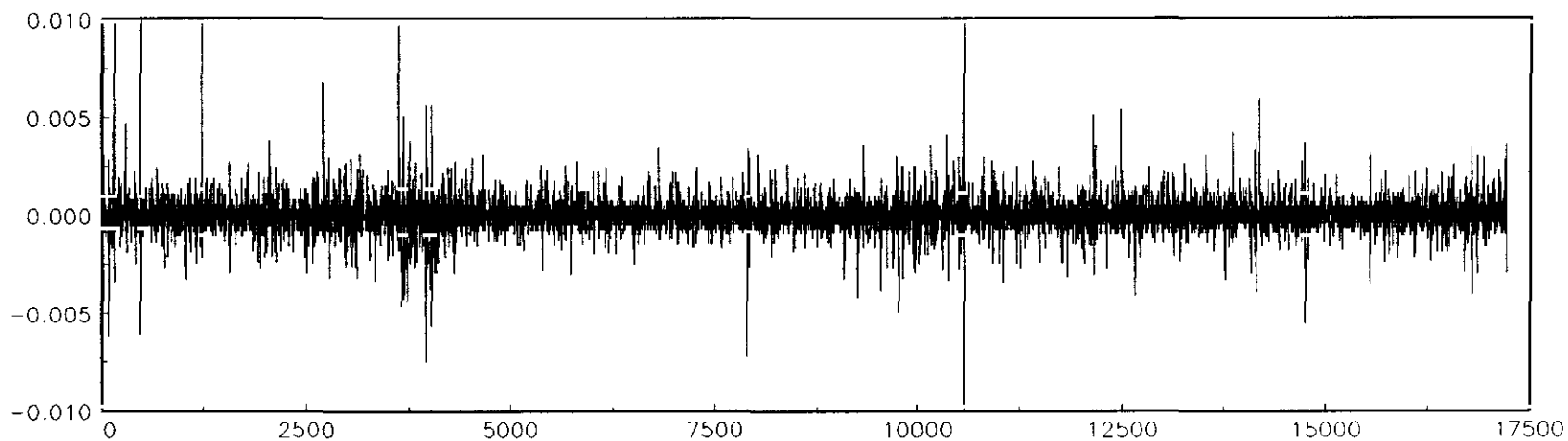
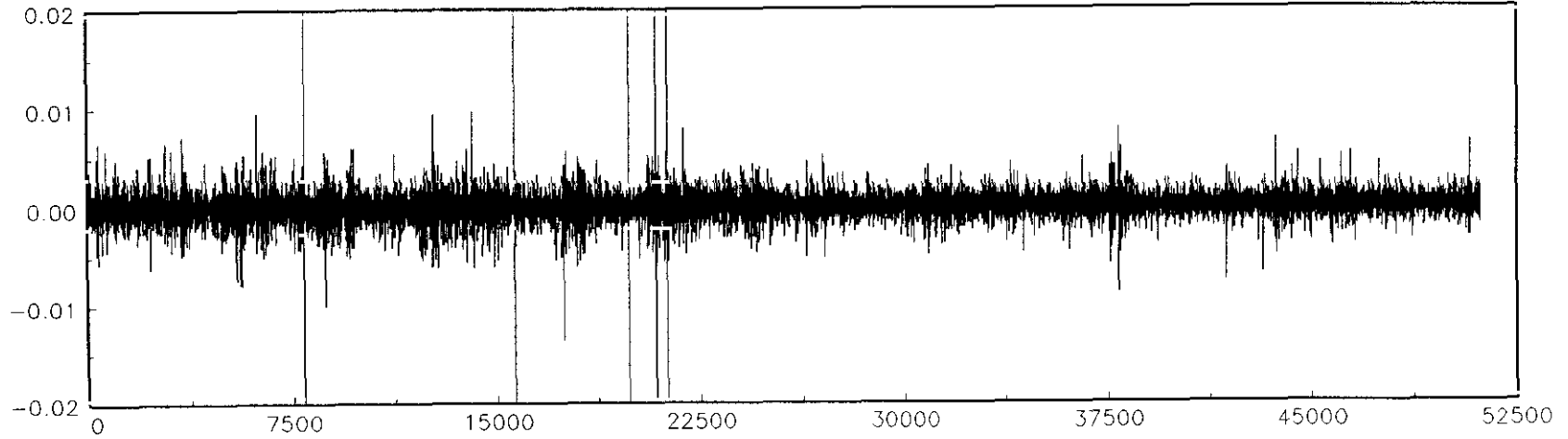


Ilustración 3.7.

Rendimientos Futuro
Muestra Global: 20/12/93 hasta 20/12/96



Rendimientos Ibex 35
Muestra Global: 20/12/93 hasta 20/12/96

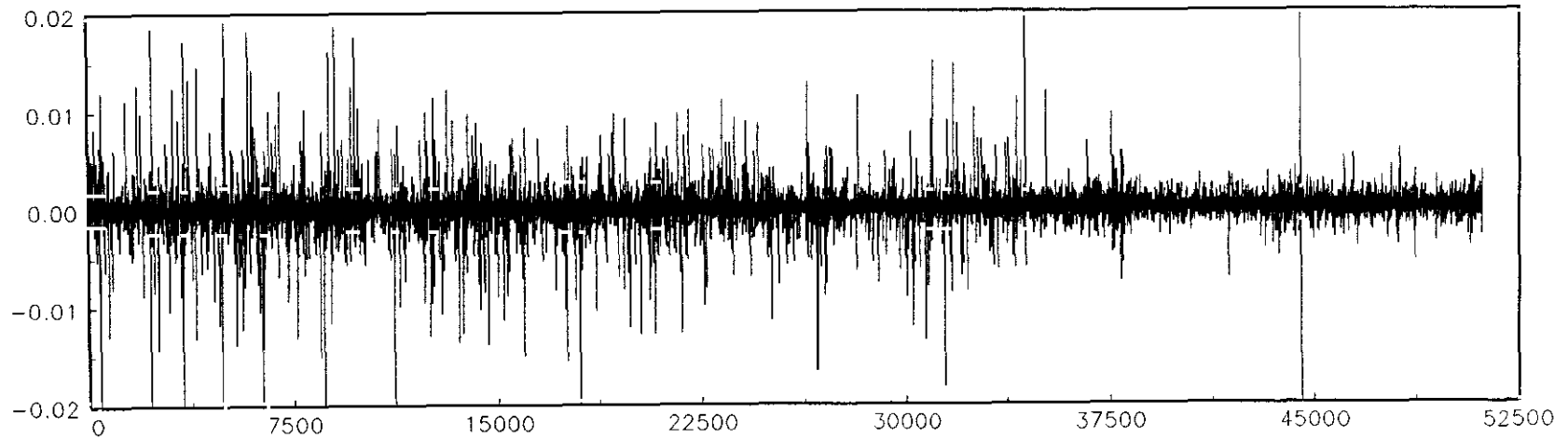
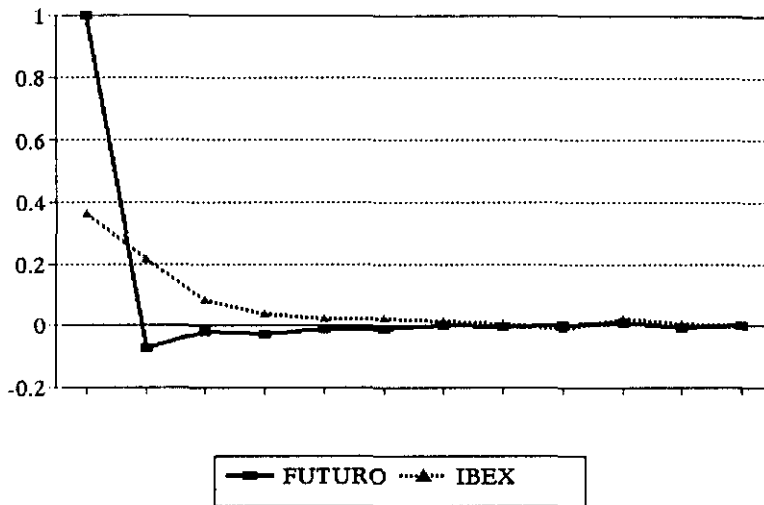


Ilustración 3.8.

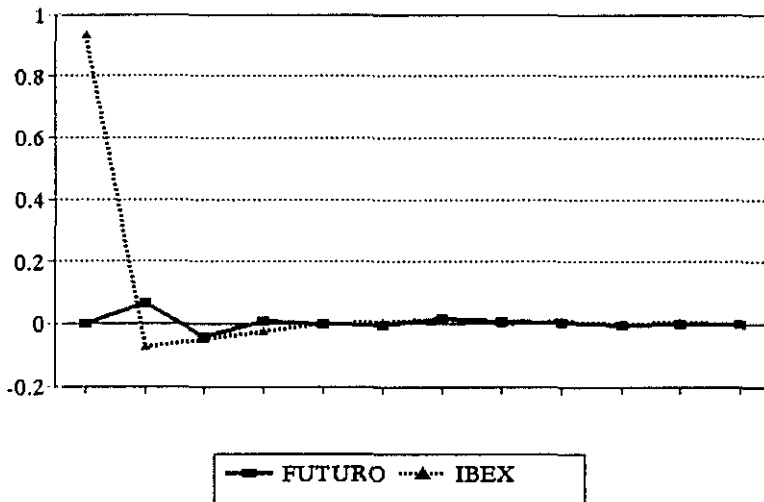
Respuestas a una perturbacion en Futuro

Muestra: 20/12/93 hasta 16/12/94



Respuestas a una perturbacion en Ibex

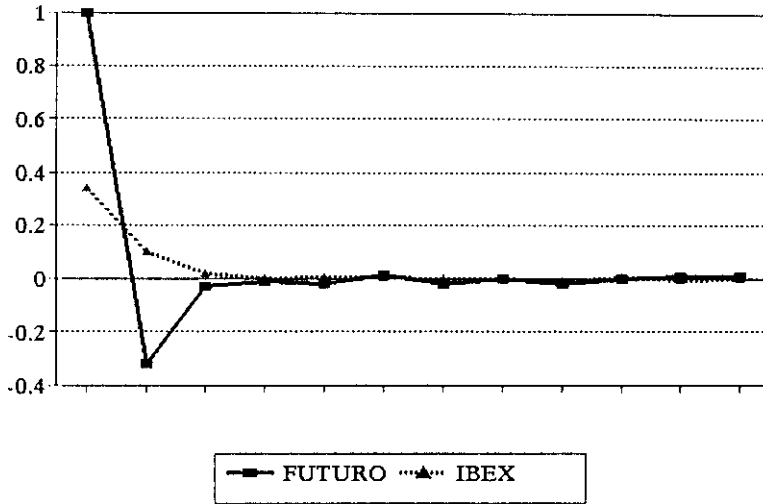
Muestra: 20/12/93 hasta 16/12/94



ILUSTRACION 3.9. Funciones de Respuesta a un Impulso bajo la hipótesis de causalidad desde Futuro a Contado en las perturbaciones del modelo estructural.

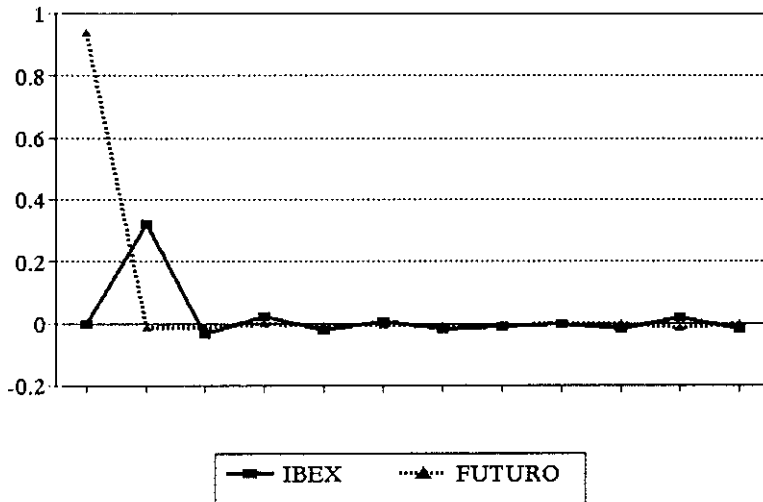
Respuestas a una perturbacion en Futuro

Muestra: 19/12/94 hasta 15/12/95



Respuestas a una perturbacion en Ibex

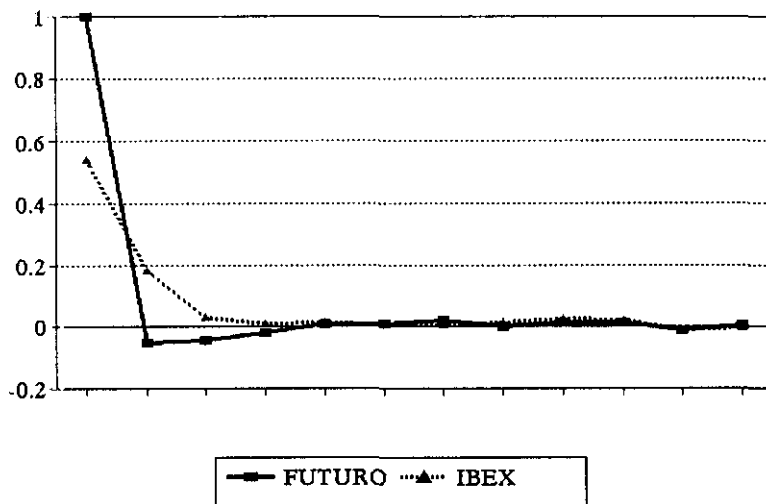
Muestra: 19/12/94 hasta 15/12/95



ILUSTRACION 3.10. Funciones de Respuesta a un Impulso bajo la hipótesis de causalidad desde Futuro a Contado en las perturbaciones del modelo estructural.

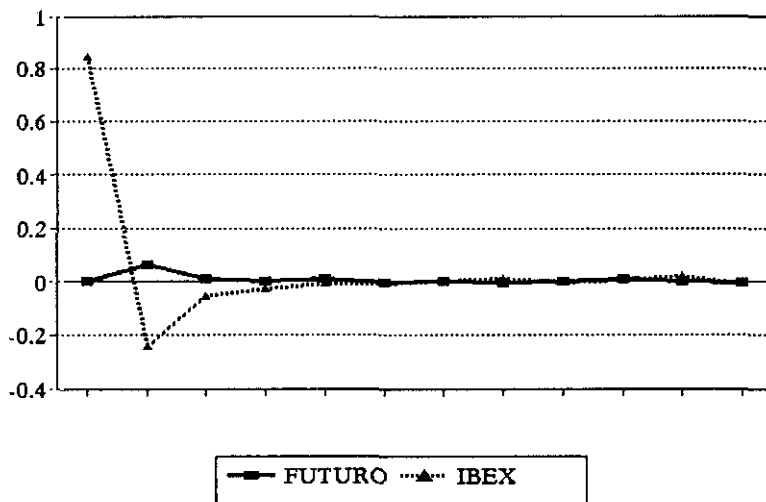
Respuestas a una perturbacion en Futuro

Muestra: 18/12/95 hasta 20/12/96



Respuestas a una perturbacion en Ibex

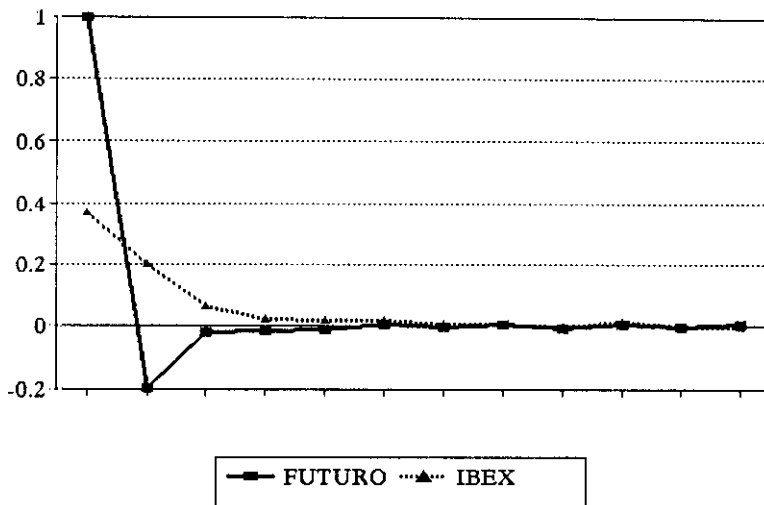
Muestra: 18/12/95 hasta 20/12/96



ILUSTRACION 3.11. Funciones de Respuesta a un Impulso bajo la hipótesis de causalidad desde Futuro a Contado en las perturbaciones del modelo estructural.

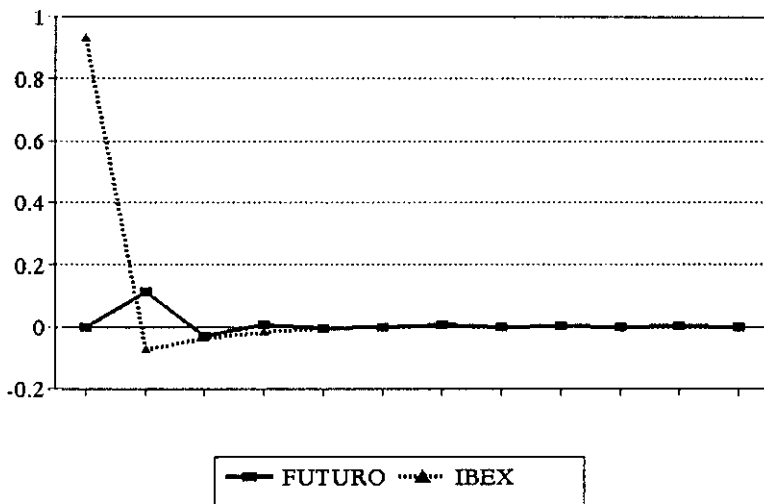
Respuestas a una perturbacion en Futuro

Muestra Global: 20/12/93 hasta 20/12/96



Respuestas a una perturbacion en Ibex

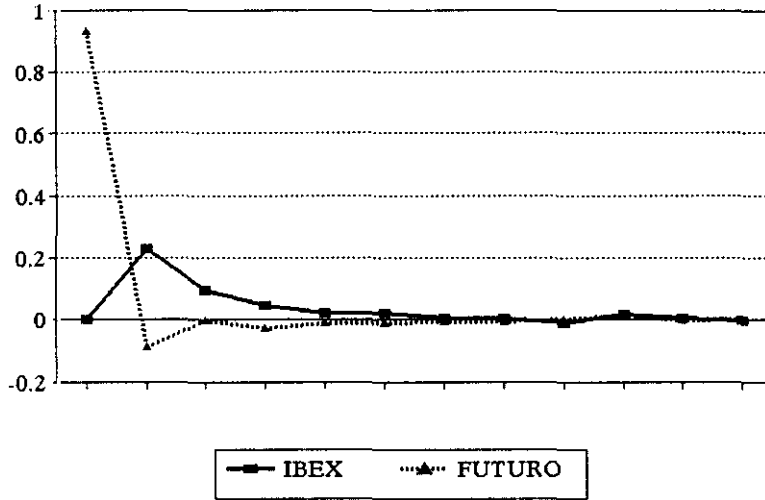
Muestra Global: 20/12/93 hasta 20/12/96



ILUSTRACION 3.12. Funciones de Respuesta a un Impulso bajo la hipótesis de causalidad desde Futuro a Contado en las perturbaciones del modelo estructural.

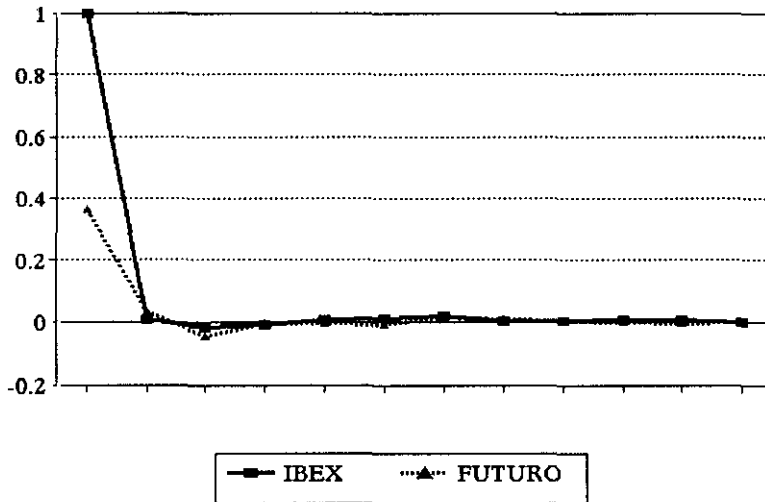
Respuestas a una perturbacion en Futuro

Muestra: 20/12/93 hasta 16/12/94



Respuestas a una perturbacion en Ibex

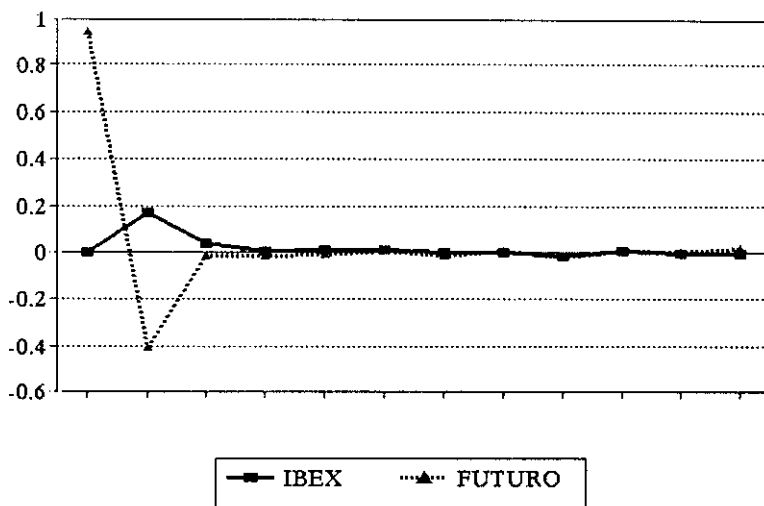
Muestra: 20/12/93 hasta 16/12/94



ILUSTRACION 3.13. Funciones de Respuesta a un Impulso bajo la hipótesis de causalidad desde Contado a Futuro en las perturbaciones del modelo estructural.

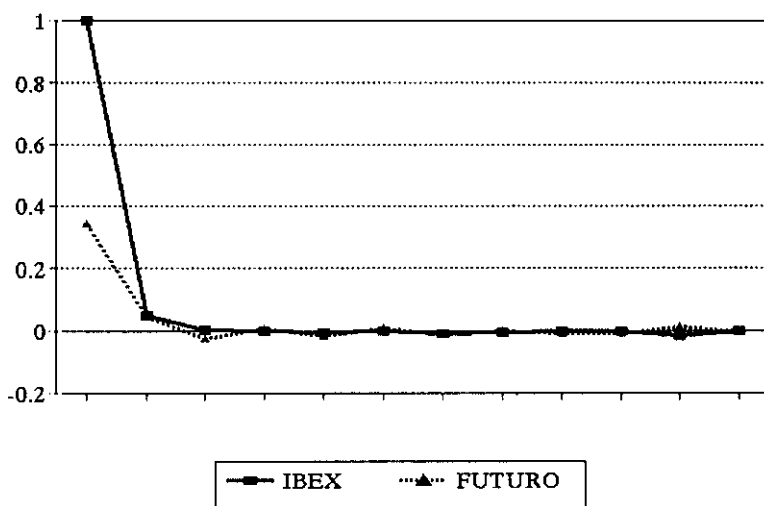
Respuestas a una perturbacion en Futuro

Muestra: 19/12/94 hasta 15/12/95



Respuestas a una perturbacion en Ibex

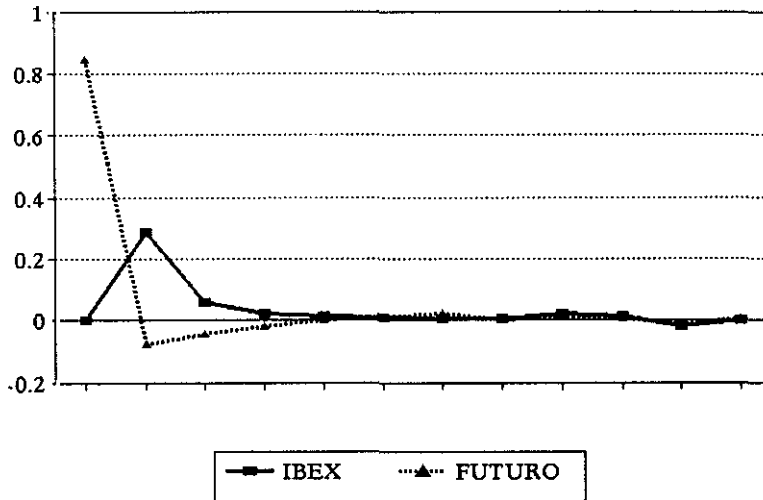
Muestra: 19/12/94 hasta 15/12/95



ILUSTRACION 3.14. Funciones de Respuesta a un Impulso bajo la hipótesis de causalidad desde Contado a Futuro en las perturbaciones del modelo estructural.

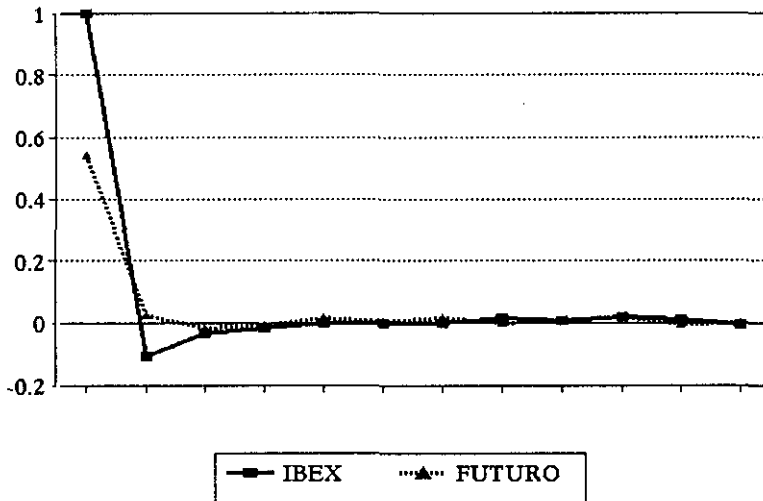
Respuestas a una perturbacion en Futuro

Muestra: 18/12/95 hasta 20/12/96



Respuestas a una perturbacion en Ibex

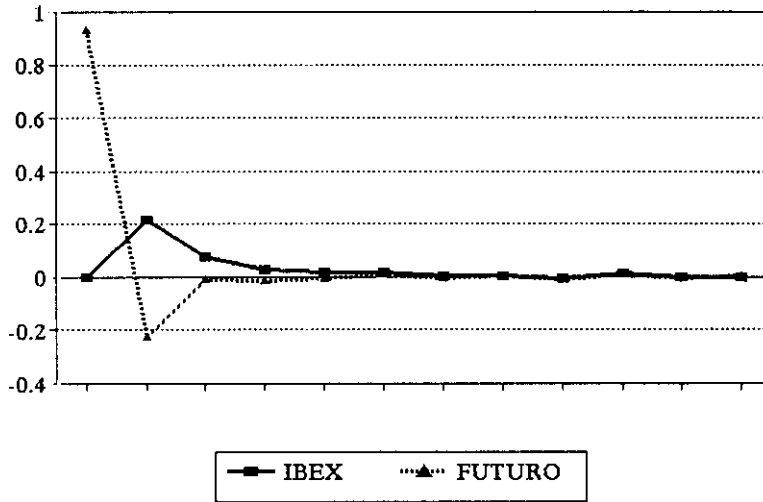
Muestra: 18/12/95 hasta 20/12/96



ILUSTRACION 3.15. Funciones de Respuesta a un Impulso bajo la hipótesis de causalidad desde Contado a Futuro en las perturbaciones del modelo estructural.

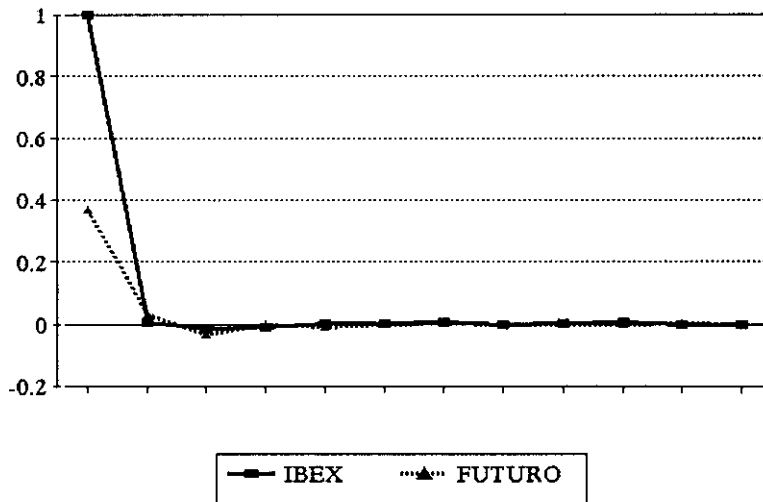
Respuestas a una perturbacion en Futuro

Muestra Global: 20/12/93 hasta 20/12/96



Respuestas a una perturbacion en Ibex

Muestra Global: 20/12/93 hasta 20/12/96



ILUSTRACION 3.16. Funciones de Respuesta a un Impulso bajo la hipótesis de causalidad desde Contado a Futuro en las perturbaciones del modelo estructural.

CAPÍTULO 4. ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA VOLATILIDAD EN EL MERCADO DE FUTUROS Y LA VOLATILIDAD DEL MERCADO *SPOT*.

4.1. INTRODUCCIÓN.

El objetivo principal de este Capítulo es proporcionar evidencia empírica acerca de dos cuestiones: a) el comportamiento de la volatilidad en el mercado de futuros sobre el Ibex 35 y la volatilidad en el mercado de contado, tanto dentro del día de negociación, como a lo largo de la semana, y b) la relación de causalidad entre la volatilidad del mercado de futuros y la volatilidad del mercado de contado. El estudio de la primera de las cuestiones puede revelar aspectos cualitativos sobre la operativa en ambos mercados, y sugerir respuestas frente a determinados interrogantes de interés: a) *¿existen instantes del periodo de negociación diario en los que la volatilidad del mercado (contado y futuro) es sistemáticamente superior?*; b) *¿Existe un efecto día de la semana, es decir, las fluctuaciones experimentadas por los mercados son generalmente de mayor amplitud para un determinado día de la semana? ¿es un factor significativo el vencimiento del contrato de futuros para explicar la volatilidad del mercado de contado?* El análisis de la segunda de las cuestiones planteadas es de interés en la medida que habiéndose detectado una estrecha relación entre los rendimientos de ambos mercados es de esperar que la volatilidad de ambos mercados presente *asimismo una determinada estructura de causalidad, posiblemente en ambos sentidos. De esta forma, si la volatilidad de un mercado presenta una determinada capacidad predictiva sobre la volatilidad en el otro mercado, los agentes operativos en el mercado de futuros pueden anticipar el mecanismo de transmisión de la volatilidad entre el instrumento derivado y su activo subyacente, lo cual puede ser de gran interés a la hora de utilizar el futuro como instrumento de cobertura para una determinada posición de contado. Esta es una cuestión que será analizada en la Sección 4.6 de este Capítulo. Evidentemente, la capacidad de anticipar variaciones en la volatilidad del subyacente sería asimismo de suma importancia en la valoración de opciones.*

Al llevar a cabo el análisis existen diferentes alternativas metodológicas susceptibles de ser utilizadas con objeto de medir el concepto de volatilidad, que si bien es intuitivamente claro y hace referencia a la variabilidad experimentada por un determinado mercado, no existe una forma única para cuantificarlo. La literatura dedicada al estudio de mercado de futuros cuyo activo subyacente es un índice bursátil, que ha abordado ambas cuestiones mostrando un menor interés sobre la primera de ellas, ha diferenciado claramente la medida de volatilidad propuesta en función de la cuestión analizada. En este sentido, el estudio del comportamiento *intradía* se ha llevado a cabo o bien a partir de varianzas incondicionales de las series de rendimientos como, por ejemplo, Fernández e Yzaguirre (1996), y Daigler (1997), o bien utilizando medidas alternativas: a) tasas de variación de los precios en valor absoluto (véase Wang et al. (1994)); b) volatilidad de Garman-Klass¹ (véase Daigler (1997)). Respecto a esta cuestión, el trabajo que se realiza en esta Tesis Doctoral es interesante por dos aspectos: a) aborda una cuestión que todavía no ha sido objeto de análisis en el mercado español, esto es, el comportamiento de la volatilidad, tanto dentro del día de negociación como a lo largo de la semana; y b) el análisis *intradía* se efectúa a partir de dos alternativas metodológicas (varianzas incondicionales de las series de precios *versus* varianzas condicionales de las series de rendimientos), lo cual permite calibrar la sensibilidad de los resultados obtenidos frente al tipo de metodología utilizada con objeto de cuantificar el concepto de volatilidad. Respecto a la segunda de las cuestiones, si bien existen trabajos en la literatura que estudian las características de la relación de causalidad entre la volatilidad del mercado de derivados y la volatilidad del mercado de contado a partir de medidas de volatilidad basadas en las varianzas incondicionales de las series de rendimientos, sobre un determinado intervalo temporal, como por ejemplo en Kawaller, Koch y Koch (1990), los posteriores trabajos existentes en la literatura han ido utilizado más frecuentemente los modelos de heterocedasticidad condicional autorregresiva, por ejemplo, Chan, Chan y Karolyi (1991), Abhyankar (1995) o, más recientemente, Iihara et al. (1996), Koutmos y Tucker (1996), y Choudhry (1997). Los resultados empíricos obtenidos acerca de la relación de causalidad entre las series de rendimientos son en general consistentes para la mayoría de los contratos de futuros sobre índice bursátil que son negociados en los principales mercados a nivel mundial (futuro sobre el *FT-SE 100*, futuro sobre el *S&P 500*, futuro sobre el *MMI*, futuro sobre el *Nikkei Stock Average*, futuro sobre el *Ibex 35*, entre otros) en el sentido de

¹ Volatilidad (Garman - Klass) = $\frac{1}{2} [\ln(A) - \ln(B)]^2 - [2 \ln(2) - 1] [\ln(Ap) - \ln(C)]^2$, donde A, B, Ap y C, denotan el precio más alto, el precio más bajo, el precio de apertura y el precio de cierre

(... Continúa)

encontrar evidencia en favor de una relación de causalidad bidireccional, donde la capacidad predictiva del mercado de futuros sobre el mercado de contado es mayor que la observada en el sentido inverso, tal y como vimos en el Capítulo 3 para el mercado español; por el contrario, los análisis efectuados con objeto de inferir las características de la estructura de causalidad entre las volatilidades de ambos mercados son relativamente contradictorios y se muestran sensibles a la frecuencia de observación utilizada, al periodo muestral analizado o a la medida de volatilidad considerada. Kawaller, Koch y Koch (1990) utilizan las varianzas incondicionales de las series de rendimientos, tanto sobre intervalos de 30 minutos, como sobre intervalos diarios, de forma que los resultados no son sistemáticamente homogéneos. Abhyankar (1995), utiliza las varianzas condicionales procedentes de la estimación de un modelo *EGARCH* sobre las series de rendimientos horarios de cada mercado; este autor tampoco encuentra un patrón sistemático de comportamiento en cuanto a la capacidad predictiva de la volatilidad de un mercado sobre la del otro. Iihara et al. (1996), analizan el contrato de futuros sobre el *Nikkei Stock Average* con datos minuto a minuto; estos autores, que estiman un modelo *GARCH(1,1)* bivalente sobre las series de residuos resultantes de la estimación de un modelo *AR(1)* sobre las series de rendimientos, encuentran evidencia en favor de una relación de causalidad unidireccional desde la volatilidad del mercado de futuros sobre la volatilidad del mercado de contado. Koutmos y Tucker (1996) estiman un modelo bivalente de corrección de error, suponiendo que las perturbaciones se comportan sobre la base de un modelo *EGARCH(1,1)*; estos autores encuentran un patrón de comportamiento similar al detectado por Iihara et al. (1996). Choudhry (1997) estima un modelo *GARCH(1,1)-X*, inicialmente propuesto por Lee (1994), sobre las series de rendimientos diarios para tres mercados de futuros sobre índice; en concreto, para el mercado australiano (futuros sobre el *All Ordinary Index*), el mercado japonés (futuro sobre el *Nikkei 500*) y el mercado chino (futuro sobre el *Hang Seng Index*). Este modelo se diferencia de los tradicionales modelos generalizados de heterocedasticidad condicional autorregresiva por la inclusión en la ecuación de la varianza condicional de las desviaciones cuadráticas del equilibrio a corto plazo como factor explicativo. Este autor encuentra en todos los casos una relación de causalidad fuertemente bidireccional entre la volatilidad del mercado de futuros y la volatilidad del mercado de contado. En este sentido, la capacidad explicativa de la volatilidad del mercado de derivados sobre el mercado de contado y viceversa es, aun actualmente, una cuestión abierta y susceptible de mayor investigación. El análisis que se efectúa en este Capítulo es interesante no sólo por cuanto intenta obtener evidencia empírica acerca de esta cuestión relevante para el mercado español, sino también porque aborda

respectivamente, en este caso sobre intervalos de longitud temporal igual a un minuto.

el análisis de la relación de causalidad entre las volatilidades a partir de metodológicas econométricas alternativas aplicadas sobre medidas de volatilidad diferentes.

El patrón de comportamiento dinámico entre los rendimientos de ambos mercados no tiene por qué volver a repetirse en lo que respecta a la evolución temporal de las volatilidades de cada mercado. De hecho, ni siquiera la modelización econométrica de la volatilidad de ambos mercados debe conducir a la identificación de dos modelos con similar estructura. Por ejemplo, Arshanapalli y Doukas (1994) estudian la posible existencia de un factor *ARCH* común durante el periodo de *crash* bursátil de Octubre de 1987 sobre las series de rendimientos horarios en el mercado de futuros sobre el *S&P 500*, a lo largo de cada día de dicho mes. Estos autores, que identifican la existencia de estructura *ARCH* para las series de rendimientos de ambos mercados, rechazan que el factor *ARCH* sea compartido por las series de rendimientos de ambos mercados².

Kawaller, Koch y Koch (1990) proponen un modelo teórico en el que si bien los rendimientos del mercado de futuros anticipan el comportamiento de los rendimientos del mercado de contado, es la volatilidad (varianza incondicional de los precios) del mercado de contado la que *lidera* los movimientos de la volatilidad del mercado de futuros. A continuación exponemos dos sencillos modelos teóricos, desarrollados sobre la base del propuesto en Kawaller, Koch y Koch (1990), donde la medida de volatilidad considerada se corresponde con la varianza incondicional de los rendimientos. Los modelos propuestos son coherentes con la evidencia empírica detectada en esta Tesis Doctoral, como se describe posteriormente. En este sentido pueden considerarse un pequeña extensión del modelo propuesto por dichos autores. El objetivo de estos dos ejemplos teóricos es mostrar que las características observadas en la

² La metodología utilizada por estos autores es la siguiente: en primer lugar proceden al contraste de estructura *ARCH(4)* a través del contraste de los multiplicadores de Lagrange (el estadístico de contraste es TR^2 , donde T es el tamaño muestral y R^2 es el coeficiente de determinación de una regresión de los residuos (procedentes de la estimación de modelos autorregresivos para las series de rendimientos) al cuadrado sobre una constante y cuatro retardos suyos, rechazando la hipótesis nula de ausencia de estructura *ARCH*. En segundo lugar llevan a cabo un contraste de estructura *ARCH* sobre una combinación lineal de las series de residuos de ambos mercados, donde el parámetro que interviene en la combinación lineal de ambas series de residuos (por ejemplo, λ) es el que resulta de resolver el siguiente problema de optimización:

$$\begin{aligned} & \text{Min } T R^2(\lambda) \\ & \lambda \end{aligned}$$

Los resultados que obtienen en esta segunda fase, de nuevo conducen al rechazo de la hipótesis nula de ausencia de estructura *ARCH*.

relación de causalidad entre las series de rendimientos, en general para cualquier mercado de futuros sobre índice, no necesariamente deben reproducirse en lo que respecta al comportamiento de las volatilidades.

♦ **Modelo 1. Bidireccionalidad en rendimientos y volatilidades.**

El siguiente modelo tiene como finalidad ilustrar teóricamente una situación en donde la relación de causalidad entre los rendimientos del mercado de futuros y los rendimientos del mercado de contado es bidireccional, reproduciéndose dicho patrón de comportamiento en términos de volatilidades. La medida de volatilidad utilizada en este caso es, para cada mercado, la varianza histórica de las series de rendimientos. Denominemos $r_{s,t}$ y $r_{f,t}$ los rendimientos del mercado de contado y futuros, respectivamente. Es decir, $r_{s,t} = \Delta \ln S_t = \ln\left(\frac{S_t}{S_{t-1}}\right)$, y $r_{f,t} = \Delta \ln F_t = \ln\left(\frac{F_t}{F_{t-1}}\right)$, donde F_t y S_t representan el precio del contrato de futuros y el valor del Ibex 35 en el periodo de tiempo t . Supongamos que el comportamiento dinámico conjunto de ambas series de rendimientos puede representarse a través del siguiente modelo bivalente de corrección de error:

$$r_{f,t} = \alpha \theta_{t-1} + \varepsilon_{1,t} \tag{1}$$

$$r_{s,t} = \beta \theta_{t-1} + \gamma r_{f,t-1} + \varepsilon_{2,t}, \tag{2}$$

$$\theta_{t-1} = \ln S_{t-1} - (a - b \ln F_{t-1}), \tag{3}$$

siendo θ_{t-1} el término de corrección de error.

Supongamos además que entre las perturbaciones de ambos mercados se verifica la siguiente relación:

$$\varepsilon_{1,t} = \delta \varepsilon_{2,t-1} + a_t \quad 0 < \delta < \gamma < 1, \tag{4}$$

con $a_t, i.i.d. \sim N(0, \sigma_a^2)$, $\varepsilon_{2,t} \sim N(0, \sigma_{2,t}^2)$, siendo $\varepsilon_{2,t}$ y a_t independientes. Dado que $\varepsilon_{2,t}$ es una perturbación heterocedástica, la variable aleatoria $\varepsilon_{1,t}$ posee asimismo una varianza dependiente del periodo de tiempo considerado. En definitiva, lo que estamos representando mediante este modelo teórico es una situación en donde, si bien la relación de causalidad

entre los rendimientos de ambos mercados es bidireccional, la capacidad predictiva del mercado de futuros sobre el mercado de contado es mayor que la observada en el sentido contrario. El modelo supuesto puede considerarse no alejado de la realidad, dada la evidencia empírica encontrada en el Capítulo 3 de esta Tesis Doctoral. En la ecuación (2) aparece de forma explícita el rendimiento observado para el contrato de futuros retardado un periodo, mientras que por el contrario en la ecuación (1) no figura de forma explícita el rendimiento observado para el activo subyacente sino sólo a través del término de corrección de error. Sin embargo el mercado de contado, muestra una cierta capacidad de *adelanto* sobre el mercado de futuros como consecuencia de la relación dinámica supuesta entre las perturbaciones de ambos mercados. Tal y como señalan Kawaller, Koch y Koch (1990) no existe ningún argumento analítico en contra del supuesto incorporado en (4), y por ello tampoco ninguna razón por la que el mismo pueda considerarse inconexo con la dinámica operativa implícita en el mercado. Analíticamente, esta última característica (existencia de una capacidad predictiva de los rendimientos del mercado de contado sobre los rendimientos del mercado de futuros) puede mostrarse de forma más clara. A partir de (2) retardando un periodo la ecuación se tiene que:

$$r_{s,t-1} = \beta \theta_{t-2} + \gamma r_{f,t-2} + \varepsilon_{2,t-1}. \quad (5)$$

Por otro lado, sustituyendo (4) en (1) tenemos:

$$r_{f,t} = \alpha \theta_{t-1} + \delta \varepsilon_{2,t-1} + a_t. \quad (6)$$

Sustituyendo ahora $\varepsilon_{2,t-1}$ a partir de (5) en (6) se obtiene la siguiente expresión para el rendimiento del mercado de futuros:

$$r_{f,t} = \alpha \theta_{t-1} - \beta \delta \theta_{t-2} + \delta [r_{s,t-1} - \gamma r_{f,t-2}] + a_t, \quad (7)$$

ecuación que pone de manifiesto que la capacidad explicativa de los rendimientos del mercado de contado sobre los rendimientos del mercado de futuros es menor que la existente en el sentido contrario puesto que $\delta < \gamma$. Analicemos a continuación el comportamiento de las varianzas de los rendimientos con objeto de determinar las características de la relación de causalidad entre las volatilidades de ambos mercados. A partir de (1) y teniendo en cuenta (3):

$$Var(r_{f,t}) = \alpha^2 \sigma_\theta^2 + \sigma_{1,t}^2 = \alpha^2 \sigma_\theta^2 + \delta^2 \sigma_{2,t-1}^2 + \sigma_a^2. \quad (8)$$

donde hemos incorporado el hecho de que los residuos de la ecuación de cointegración deben ser estacionarios en varianza.

Por otro lado, a partir de (2), se tiene que:

$$Var(r_{s,t}) = \beta^2 \sigma_\theta^2 + \gamma^2 Var(r_{f,t-1}) + \sigma_{2,t}^2 + 2\beta Cov(\theta_{t-1}, r_{f,t-1}), \quad (9)$$

ecuación que pone manifiesto que la volatilidad del mercado de futuros causa a la volatilidad del mercado de contado.

A partir de (9), retardando la ecuación un periodo, se obtiene la siguiente expresión para la varianza de la perturbación asociada al mercado de contado:

$$\sigma_{2,t-1}^2 = Var(r_{s,t-1}) - \beta^2 \sigma_\theta^2 - \gamma^2 Var(r_{f,t-2}) - 2\beta Cov(\theta_{t-2}, r_{f,t-2}). \quad (10)$$

Sustituyendo (10) en (8) tenemos que:

$$Var(r_{f,t}) = (\alpha^2 - \beta^2 \delta^2) \sigma_\theta^2 - \gamma^2 \delta^2 Var(r_{f,t-2}) + \delta^2 Var(r_{s,t-1}) - 2\beta \delta^2 Cov(\theta_{t-2}, r_{f,t-2}) + \sigma_a^2 \quad (11)$$

es decir, la volatilidad del mercado de contado también presenta una capacidad explicativa sobre la volatilidad del mercado de futuros con un adelanto de un periodo, igual que sucedía en el sentido contrario. Análogamente, tal y como sucedía para los rendimientos, la capacidad explicativa desde el mercado de derivados hacia el mercado de contado es menor que la existente en el sentido inverso, puesto que $\delta < 1$.

◆ **Modelo 2. Unidireccionalidad desde el futuro hacia el contado en rendimientos junto con bidireccionalidad en volatilidades.**

El siguiente modelo tiene como finalidad ilustrar teóricamente, una situación en donde la relación de causalidad entre los rendimientos del mercado de futuros y los rendimientos del mercado de contado es unidireccional, desde el mercado de futuros hacia el mercado de contado, de forma que dicho patrón de comportamiento no se reproduce en la dinámica de las volatilidades. En este la relación de causalidad entre las volatilidades de cada mercado es bidireccional, decir desde el mercado de contado hacia el mercado de futuros. De

nuevo la medida de volatilidad utilizada es, para cada mercado, la varianza de las series de rendimientos.

Supongamos que la evolución de las series de rendimientos puede representarse mediante el siguiente modelo de ecuaciones simultáneas:

$$r_{f,t} = \alpha \theta_{t-1} + \gamma_1 B_{t,T} + \varepsilon_{1,t} \quad (12)$$

$$r_{s,t} = \beta \theta_{t-1} + \gamma_2 B_{t-1,T} + \varepsilon_{2,t}, \quad (13)$$

donde θ_{t-1} representa, de nuevo, el término de corrección de error y $B_{t,T}$ es la base teórica, en la que el precio teórico del contrato de futuros se está valorando según el modelo *Cost of Carry*, es decir, $B_{t,T} = F_{t,T}^* - S_t = S_t [e^{(r-d)(T-t)} - 1]$. Con relación al modelo anterior, el que ahora planteamos adopta implícitamente un supuesto adicional, que es coherente con la evidencia empírica que se muestra en el Capítulo 5 de esta Tesis Doctoral, que concierne al aspecto de que la base teórica posee capacidad predictiva sobre los rendimientos del mercado de contado. De nuevo supongamos que la relación entre las perturbaciones de cada mercado es idéntica a la considerada en el modelo anterior, es decir, la relación dada por (4):

$$\varepsilon_{1,t} = \delta \varepsilon_{2,t-1} + a_t \quad 0 < \delta < 1$$

En este modelo, el comportamiento de la relación de causalidad para las series de rendimientos es unidireccional desde el mercado de futuros hacia el mercado de contado, a través de la base teórica. Para mostrar esta característica de forma analítica, retardando la ecuación (12) un periodo tenemos que:

$$r_{f,t-1} = \alpha \theta_{t-2} + \gamma_1 B_{t-1,T} + \varepsilon_{1,t-1}, \quad (14)$$

Sustituyendo la expresión de $B_{t-1,T}$ a partir de (14) en la ecuación (13) tenemos que:

$$r_{s,t} = \beta \theta_{t-1} + \frac{\gamma_2}{\gamma_1} (r_{f,t-1} - \alpha \theta_{t-2}) + \varepsilon_{2,t} - \frac{\gamma_2}{\gamma_1} \varepsilon_{1,t-1}, \quad (15)$$

ecuación que pone de manifiesto que los rendimientos del mercado de futuros presentan una capacidad explicativa sobre los rendimientos del mercado de contado con un adelanto de un periodo. Por el contrario, los rendimientos del mercado de contado no presentan capacidad predictiva sobre los rendimientos del mercado de futuros.

Analicemos a continuación las características de la relación de causalidad entre las volatilidades, las cuales, como ya hemos dicho anteriormente, son cuantificadas a través de la varianza incondicional de las series de rendimientos. A partir de (13) la expresión de la varianza para el rendimiento del mercado de contado en el periodo t es igual a:

$$Var(r_{s,t}) = \beta^2 \sigma_\theta^2 + \gamma_2^2 Var(B_{t-1,T}) + \sigma_{2,t}^2 + 2\beta \gamma_2 Cov(\theta_{t-1}, B_{t-1,T}). \quad (16)$$

Por otro lado a partir de (12), la expresión de la varianza incondicional del rendimiento experimentado entre $t-1$ y t por el mercado de futuros es:

$$Var(r_{f,t}) = \alpha^2 \sigma_\theta^2 + \gamma_1^2 Var(B_{t,T}) + \sigma_{1,t}^2 + 2\alpha \gamma_1 Cov(\theta_{t-1}, B_{t,T}). \quad (17)$$

Y teniendo en cuenta (4):

$$Var(r_{f,t}) = \alpha^2 \sigma_\theta^2 + \gamma_1^2 Var(B_{t,T}) + \delta^2 \sigma_{2,t-1}^2 + 2\alpha \gamma_1 Cov(\theta_{t-1}, B_{t,T}) + \sigma_a^2. \quad (18)$$

Sustituyendo la expresión de $\sigma_{2,t-1}^2$ que se obtiene a partir de la ecuación (16) retardada un periodo en (18), se llega a la siguiente expresión para la varianza del rendimiento del mercado de futuros:

$$Var(r_{f,t}) = (\alpha^2 - \beta^2 \delta^2) \sigma_\theta^2 + \gamma_1^2 Var(B_{t,T}) + \delta^2 Var(r_{s,t-1}) - \delta^2 \gamma_2^2 Var(B_{t-2,T}) - 2\beta \gamma_2 \delta^2 Cov(\theta_{t-2}, B_{t-2,T}) + 2\alpha \gamma_1 Cov(\theta_{t-1}, B_{t,T}) + \sigma_a^2, \quad (19)$$

que revela que la volatilidad del mercado de contado *adelanta* los movimientos de la volatilidad en el mercado de futuros.

Por otro lado, es obvio observar a partir de la ecuación (15), la existencia de una capacidad predictiva de la volatilidad del mercado de futuros sobre la volatilidad del mercado de contado:

$$Var(r_{s,t}) = \left[\beta^2 + \alpha^2 \left(\frac{\gamma_2}{\gamma_1} \right)^2 \right] \sigma_\theta^2 + \left(\frac{\gamma_2}{\gamma_1} \right)^2 Var(r_{f,t-1}) + \sigma_{2,t}^2 + \left(\frac{\gamma_2}{\gamma_1} \right)^2 \sigma_{1,t-1}^2 + 2 \frac{\gamma_2}{\gamma_1} \left[\beta Cov(\theta_{t-1}, r_{f,t-1}) - \alpha [Cov(r_{f,t-1}, \theta_{t-2}) + \beta Cov(\theta_{t-1}, \theta_{t-2})] \right] - 2 \left(\frac{\gamma_2}{\gamma_1} \right)^2 Cov(r_{f,t-1}, \varepsilon_{1,t-1}) \quad (20)$$

En resumen, a partir de supuestos consistentes con la evidencia empírica detectada en esta Tesis Doctoral, hemos propuesto dos modelos teóricos con el fin de ilustrar que la existencia de un determinado patrón de comportamiento en la relación de causalidad observada empíricamente para los rendimientos del mercado de futuros y los rendimientos del mercado de contado no permite inferir la existencia de una pauta similar para el comportamiento de las volatilidades de ambos mercados.

Partiendo, por tanto, de la idea de que la evolución dinámica de las volatilidades del mercado de futuros y el mercado de contado no debe presentar necesariamente las mismas pautas de comportamiento que las observadas a partir del estudio empírico de las series de rendimientos, el Capítulo 4 tiene tres objetivos principales: a) analizar la posible existencia de alguna pauta de comportamiento sistemática en la volatilidad de ambos mercados, tanto dentro del día, como a lo largo de la semana, b) encontrar evidencia acerca de la posible transmisión de volatilidad tanto desde el mercado de futuros hacia el mercado de contado como desde el mercado de contado hacia el mercado de derivados a través del estudio de las características de la relación de causalidad, y c) analizar dada una regla de cobertura óptima³, la eficacia del mercado de futuros como instrumento de cobertura, en función de la metodología utilizada para estimar el ratio de cobertura que subyace a la regla óptima. En concreto, con objeto de estimar ratios de cobertura cambiantes en el tiempo se considerará, alternativamente, la utilización de 1) un modelo bivalente de corrección de error con perturbaciones heterocedásticas sobre las series de rendimientos horarios, 2) un modelo de corrección de error con perturbaciones homocedásticas dentro de cada día para las series de cambios en los precios cada cinco minutos y 3) un modelo de regresión lineal simple sobre las series de cambios en los precios cada cinco minutos, de nuevo con perturbaciones homocedásticas dentro de cada día. Para proceder al estudio de las dos primeras cuestiones, se proponen dos metodologías alternativas, las cuales difieren básicamente en la forma de cuantificar la volatilidad de los mercados. Por un lado, se calculan varianzas incondicionales de las series de precios a lo largo de cada día de negociación, de forma que una primera medida de volatilidad utilizada es el coeficiente de variación de las series de precios, esto es, el cociente entre la desviación típica y la media observada dentro del día, tanto para diferentes tramos dentro de cada día de negociación como a lo largo de

³ En la Sección 4.6 se explicita tanto los estadísticos sobre los que se basa la cuantificación del nivel de eficacia, como la regla de cobertura óptima, la cual se deriva a partir de un determinado modelo de optimización.

todo el día. Por otro lado, a partir de las series de rendimientos horarios se utiliza el modelo de corrección de error, en donde las perturbaciones presentan varianzas condicionales cambiantes en el tiempo. En concreto, para representar la dinámica de los tres elementos relevantes de la matriz de varianzas-covarianzas condicional, se propone la utilización de un modelo bivalente de heterocedasticidad condicional autorregresiva, en el que tanto las varianzas condicionales de ambos mercados, como la covarianza condicional, son función de su propio pasado así como de la evolución pasada de las innovaciones cuadráticas del modelo de la media. De esta forma, se puede calibrar si la medida de volatilidad considerada es un factor influyente sobre los resultados que pueden ser inferidos acerca del funcionamiento del mercado. Como ya se ha citado anteriormente, para el estudio de la relación de causalidad entre las volatilidades de ambos mercados, de nuevo se procede al estudio a través de dos especificaciones econométricas alternativas a) vector de corrección de error sobre los coeficientes de variación diarios calculados a partir de las observaciones de precios disponibles cada día, y b) el modelo bivalente de corrección de error con perturbaciones heterocedásticas sobre las series de rendimientos horarios anteriormente comentado, en la línea de poder determinar si el estudio para el caso español presenta resultados robustos frente a la metodología econométrica utilizada.

El resto del Capítulo 4 se organiza de la siguiente forma: en la Sección 4.2 se presenta las dos metodologías utilizadas para la cuantificación del concepto de volatilidad: coeficientes de variación de precios sobre intervalos horarios *versus* varianzas condicionales a partir de un modelo bivalente de corrección de error con perturbaciones heterocedásticas. La Sección 4.3 presenta los resultados del estudio del comportamiento *intradía* en la volatilidad de ambos mercados a partir de las dos alternativas metodológicas explicadas en la Sección 4.2. La Sección 4.4 describe los resultados del estudio acerca del comportamiento de la volatilidad a lo largo de los días, a partir de la primera de las medidas citadas en la Sección 4.2, esto es, a partir de las varianzas históricas de las series de precios. La Sección 4.5 recoge el estudio de la relación de causalidad entre las volatilidades de ambos mercados a partir de dos representaciones econométricas diferentes. La Sección 4.6 se dedica al análisis comparativo de la eficacia de la regla de cobertura propuesta, en donde la estimación del ratio de cobertura se lleva a cabo a partir de tres especificaciones econométricas alternativas. La Sección 4.7 resume las principales conclusiones.

4.2. ESTIMACIÓN DE LA VOLATILIDAD DEL MERCADO.

En esta Sección se describen las dos medidas utilizadas con objeto de cuantificar la volatilidad del mercado, así como el tipo de datos que son utilizados al aplicar cada metodología.

4.2.1. Coeficientes de Variación Diarios.

Una primera variable *proxy* para la volatilidad de cada mercado está basada sobre las varianzas históricas de las series de precios, disponibles a lo largo de cada día de negociación, desde el 20 de Diciembre de 1993 hasta el 20 de Diciembre de 1996. El número de días de negociación disponibles es de 743. La frecuencia de observación de las series de precios es de 5 minutos. En particular, en el día de negociación t , se estima la volatilidad de cada mercado a partir de la siguiente expresión:

$$V_{i,t} = \frac{\left(\frac{1}{T_t} \sum_{j=1}^{T_t} (P_{i,j,t} - \bar{P}_{i,t})^2 \right)^{\frac{1}{2}}}{\bar{P}_{i,t}}$$

siendo $\bar{P}_{i,t} = \frac{1}{T_t} \sum_{j=1}^{T_t} P_{i,j,t}$, $i=s,f$.

es decir, estimamos la volatilidad diaria a partir de coeficientes de variación diarios. El subíndice i hace referencia al mercado; para $i=s$ nos referimos al mercado de contado, mientras que para $i=f$, hacemos referencia al mercado de futuros; $P_{i,j,t}$ denota o bien el valor del Ibx 35 o bien el precio cruzado del contrato de futuros; T_t denota el número de observaciones disponibles en el día de negociación t^4 .

Análogamente se procede cuando se generan coeficientes de variación diarios sobre intervalos horarios de precios, al estudiar el comportamiento *intradía*. En este caso, una

⁴Tal y como se ha señalado en la Sección 2.1.3 del Capítulo 2, si bien la frecuencia de negociación del contrato de futuros es muy alta, durante ciertos intervalos horarios del día el nivel de liquidez disminuye de tal forma que existen periodos de tiempo ligeramente superiores a los 5 minutos en los que no se cruza operación de futuros.

vez particionado el horario de negociación diario considerado, desde las 11:00 horas hasta las 17:00 horas, en seis tramos horarios, se calcula el coeficiente de variación en cada tramo a partir de las doce observaciones de precios disponibles, en general, para cada tramo. Esta medida es utilizada para el estudio que se presenta en la Sección 4.4, relativo al comportamiento de la volatilidad a lo largo de la semana. Asimismo esta medida de volatilidad diaria también será utilizada en la Sección 4.5 con objeto de abordar el estudio de la relación de causalidad entre las volatilidades de ambos mercados.

4.2.2. Un modelo bivalente de corrección de error con perturbaciones heterocedásticas.

4.2.2.1. Descripción del Modelo.

La otra metodología que consideramos con objeto de estimar las varianzas de cada mercado es la propuesta inicialmente por Engle (1982), la cual ha sido ampliamente utilizada sobre datos de mercados financieros. En este sentido, destaca el trabajo de Bollerslev, Chou y Kroner (1992). La metodología *GARCH* no solo permite incorporar la evidencia empírica acerca de la existencia de agrupamientos de volatilidad en los mercados financieros, sino que también permite captar la presencia de leptocurtosis en las distribuciones incondicionales de las variables relevantes objeto de análisis. Esta metodología es utilizada en la Sección 4.4, en la que se aborda el estudio *intradía*, en la Sección 4.5, que estudia las características de la relación de causalidad entre las volatilidades de cada mercado, y en la Sección 4.6 con objeto de estimar ratios de cobertura óptimos cambiantes en el tiempo.

El modelo considerado introduce la relación de equilibrio a largo plazo entre los precios de ambos mercados⁵ además de tener en cuenta la presencia de segundos momentos condicionales diferentes de los correspondientes momentos incondicionales. En particular, la especificación econométrica se corresponde con un modelo bivalente de corrección de error donde las perturbaciones se comportan según un modelo *GARCH*. El modelo se diferencia de la mayoría de las especificaciones consideradas en la literatura en dos aspectos principales: a) se permite la interacción entre los dos mercados, es decir no todas las matrices del modelo de la varianza de las innovaciones son diagonales, a diferencia de lo que

⁵ El Capítulo 3 de esta Tesis Doctoral proporciona evidencia empírica para el mercado español acerca de la existencia de una relación de cointegración entre los precios del mercado de futuros y los precios del mercado de contado, a partir de la metodología propuesta por Engle y Granger (1987).

ocurre en Myers (1991), Lien y Luo (1994), Park y Switzer (1995) y Koutmos y Tucker (1996); y b) se modeliza de forma estocástica la presencia de estacionalidad en el comportamiento de la matriz de varianzas - covarianzas condicional, a diferencia de los procesos clásicos de intervención utilizados en la literatura, como por ejemplo Karolyi (1995). El periodo muestral considerado, el cual ya ha sido comentado en la Sección anterior, comprende 743 días de negociación disponibles.

Los datos utilizados en la estimación de este modelo, es decir las series de rendimientos, son de frecuencia horaria. La elección de este tipo de frecuencia permite estimar la varianza de cada mercado asimismo cada hora; de esta forma puede efectuarse un análisis del comportamiento *intradía* cuyos resultados son susceptibles de ser comparados con los obtenidos a partir de los coeficientes de variación de los precios, como se ha descrito en 4.2.1. Por otro lado, este tipo de frecuencia reduce considerablemente el coste computacional, con relación al que se tendría con datos cada cinco minutos. El número de observaciones disponibles para las series de rendimientos horarios es de 5.200⁶. Al estimar el modelo que a continuación se especifica se han eliminado de la muestra los rendimientos *overnight*, es decir los rendimientos que son generados a partir del precio de “apertura” (11:00 horas) del periodo de negociación t y el precio de “cierre” del periodo de negociación $t-1$, por lo que el tamaño muestral disponible se reduce a 4.458 observaciones. La Tabla 4.1 del Apéndice 1⁷, recoge los principales estadísticos de estas series de rendimientos. Esta Tabla pone de manifiesto que, si bien el grado de asimetría de las dos distribuciones es muy pequeño, ambas presentan un comportamiento leptocúrtico. Este exceso de apuntamiento revela un comportamiento no Normal en dichas distribuciones muestrales. De hecho, el contraste de Normalidad propuesto por Bera-Jarque, el cual será explicitado con más detalle en la subsección 4.4.3, conduce al rechazo de la hipótesis nula de Normalidad en ambos mercados.

Sean $r_{f,t}$ y $r_{s,t}$ los rendimientos horarios del mercado de futuros y el mercado de contado respectivamente. Sea Ω_t el conjunto de información disponible en el momento del tiempo t . El modelo estimado es un Vector Autorregresivo Bivariante de Corrección de Error:

⁶ El horario de negociación considerado comprende desde las 11:00 horas hasta las 17:00 horas, por lo que se dispone de siete observaciones de precios horarios para cada día de negociación, lo que supone un número de 5.201 observaciones para las series de precios horarios. En consecuencia la serie de rendimientos (primera diferencia del logaritmo del precio) posee un tamaño muestral de 5.200 observaciones.

$$\begin{pmatrix} r_{s,t} \\ r_{f,t} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r_{s,t-1} \\ r_{f,t-1} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \gamma_s \\ \gamma_f \end{pmatrix} \hat{u}_{t-1} + \begin{pmatrix} \varepsilon_{1,t} \\ \varepsilon_{2,t} \end{pmatrix} \quad \varepsilon'_t / \Omega_{t-1} \sim N(0_{2 \times 1}; \Sigma_t), \varepsilon'_t \equiv (\varepsilon_{1,t}, \varepsilon_{2,t}) \quad (21)$$

$$\hat{u}_{t-1} = \left[\ln S_{t-1} - \left(\hat{\delta}_0 - \hat{\delta}_1 \ln F_{t-1,T} \right) \right] \quad (22)$$

donde \hat{u}_{t-1} es la desviación del sistema respecto del equilibrio a largo plazo o término de corrección de error. Las desviaciones del sistema en el corto plazo o residuos de la ecuación de la cointegración son estimados inicialmente en una primera etapa, de forma que son después considerados como *input* en el modelo de la media. La estimación podría haber ganado en eficiencia si se hubiese hecho conjuntamente, pero el coste computacional habría sido muy superior.

En su forma más general, la dinámica de la matriz de varianzas y covarianzas condicional queda representada por la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} \text{vech}(\Sigma_t) \equiv \begin{pmatrix} \sigma_{1,t}^2 \\ \sigma_{12,t}^2 \\ \sigma_{2,t}^2 \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \alpha_3 \end{pmatrix} + \sum_{j=1}^{m_1} \Delta_j \text{vech}(\varepsilon_{t-j} \varepsilon'_{t-j}) + \sum_{j=1}^{m_2} \Delta_j^s \text{vech}(\varepsilon_{t-js} \varepsilon'_{t-js}) + \\ & \sum_{j=1}^{n_1} \Gamma_j \text{vech}(\Sigma_{t-j}) + \sum_{j=1}^{n_2} \Gamma_j^s \text{vech}(\Sigma_{t-js}) = \end{aligned} \quad (23)$$

$$\alpha + \Delta_{m_1} (B) \text{vech}(\varepsilon_t \varepsilon'_t) + \Delta_{m_2}^s (B^s) \text{vech}(\varepsilon_t \varepsilon'_t) + \Gamma_{n_1} (B) \text{vech}(\Sigma_t) + \Gamma_{n_2}^s (B^s) \text{vech}(\Sigma_t)$$

donde s denota el factor de estacionalidad. Con objeto de clarificar la notación utilizada, así como para observar más nítidamente el cambio de variable que posteriormente se efectúa para estimar el modelo, consideremos un sencillo modelo univariante $GARCH(1,1)$, en el que, sin pérdida de generalidad, supondremos carente de pautas estacionales. En este caso, denotando por σ_t^2 la varianza condicional correspondiente a la variable objeto de interés, la ecuación más general que representa la dinámica de este segundo momento condicional es:

⁷ Las tablas estadísticas se muestran en el Apéndice 1, mientras que las ilustraciones y gráficos se presentan en el Apéndice 2.

$$\sigma_t^2 = \alpha + \delta_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \gamma_1 \sigma_{t-1}^2 \quad (24)$$

donde los ε 's denotarían las innovaciones del modelo de la media.

En el modelo *GARCH* la varianza condicional de los rendimientos de cada mercado es función de su propio pasado así como de las innovaciones al cuadrado del modelo de la media. Respecto a la covarianza condicional, ésta depende tanto de su propio pasado como del producto cruzado de las innovaciones. En el modelo estimado, $n_1 = m_1 = 1$ y

$n_2 = m_2 = 3$. Una vez llevado a cabo el cambio de variable que permite expresar la ecuación que recoge la dinámica de la matriz de varianzas y covarianzas en forma *VARMA* (*Vectorial Autoregressive Moving Average*), así como teniendo en cuenta las restricciones impuestas entre parámetros, que posteriormente explicaremos en la siguiente subsección, la estimación del modelo se lleva a cabo utilizando una representación de (23) en forma media móvil bivalente, con un retardo regular y tres retardos estacionales. Como se explica más adelante, esta modelización no conlleva ninguna restricción relevante.

Bajo el supuesto anteriormente expuesto de Normalidad en la distribución condicional de las perturbaciones del modelo de la media, el logaritmo de la función de verosimilitud es igual a:

$$L(\Theta) = -T \ln 2\pi - \frac{1}{2} \left[\sum_{t=1}^T \ln |\Sigma_t(\Theta)| + \sum_{t=1}^T \varepsilon_t'(\Theta) \Sigma_t^{-1} \varepsilon_t(\Theta) \right] \quad (25)$$

donde Θ representa el vector de parámetros a estimar. El número de parámetros a estimar en el modelo es igual a 19.

4.2.2.2. Estimación del Modelo.

La resolución del problema de maximización del logaritmo de la función de verosimilitud requiere la optimización de una función objetivo no lineal en los parámetros, de forma que es necesario la utilización de algoritmos de optimización numéricos. El modelo ha sido estimado por Máxima Verosimilitud Exacta a partir de la *Toolbox E4*, desarrollada en el Departamento de Economía Cuantitativa de la Universidad Complutense de Madrid, programada para su utilización práctica en *Matlab*. El algoritmo de optimización considerado

es el propuesto por Broyden, Fletcher, Goldfarb y Shanno, conocido en la literatura como algoritmo *BFGS*⁸.

El procedimiento de estimación utilizado por *E4* se basa en la representación del sistema dinámico dado por (21) y por (23) en forma de Espacio de los Estados. Dado que los parámetros estimados que se presentan en esta Tesis Doctoral se corresponden con esta especificación econométrica, es necesario puntualizar brevemente acerca del cambio de variable realizado con objeto de llegar a tal representación dinámica. Esta es una cuestión relevante si se quiere observar con claridad cuál es la relación entre los parámetros cuyas estimaciones proporcionamos y los parámetros que subyacen a la especificación convencional, la cual viene dada por las ecuaciones (21) a (23) y es la propuesta por Engle y Kroner (1995). Consideremos el siguiente cambio de variable:

$$v_t \equiv \text{vech}(\varepsilon_t, \varepsilon_t') - \text{vech}(\Sigma_t) \quad (26)$$

donde, v_t es un vector aleatorio con $E(v_t / \Omega_{t-1}) = 0_{2 \times 1}$, pero con un patrón de comportamiento heterocedástico complicado. Entonces la ecuación para la ley de movimiento de Σ_t , la cual queda recogida en la ecuación (23), puede expresarse en forma de un modelo *VARMA* (*Vectorial Autoregressive Moving Average*).

$$\left[I - \Delta_{m_1}(B) - \Gamma_{n_1}(B) - \Delta_{m_2}^s(B) - \Gamma_{n_2}^s(B) \right] \text{vech}(\varepsilon_t, \varepsilon_t') = \alpha_{3 \times 1} + \left[I - \Gamma_{n_1}(B) - \Gamma_{n_2}^s(B) \right] v_t. \quad (27)$$

Si el proceso carece de raíces unitarias, entonces:

$$\text{vech}(\varepsilon_t, \varepsilon_t') = \text{vech}(\Sigma) + \quad (28)$$

$$\left[I - \Delta_{m_1}(B) - \Gamma_{n_1}(B) - \Delta_{m_2}^s(B) - \Gamma_{n_2}^s(B) \right]^{-1} \left[I - \Gamma_{n_1}(B) - \Gamma_{n_2}^s(B) \right]^{-1} v_t$$

donde:

$$\text{vech}(\Sigma) = \left[I - \Delta_{m_1}(1) - \Gamma_{n_1}(1) - \Delta_{m_2}^s(1) - \Gamma_{n_2}^s(1) \right]^{-1} \alpha_{3 \times 1}.$$

⁸ Una explicación detallada del algoritmo puede encontrarse en Dennis y Schnabel (1983).

Observemos a continuación con más claridad el álgebra desarrollado en el caso general multivariante, retomando el ejemplo univariante considerado en (24). Consideremos, en este caso, el siguiente cambio de variable:

$$v_t \equiv \varepsilon_t^2 - \sigma_t^2. \quad (29)$$

Sustituyendo (29) en (24):

$$\varepsilon_t^2 - v_t = \delta_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \gamma_1 (\varepsilon_t^2 - v_{t-1}). \quad (30)$$

Finalmente reagrupando (29), obtenemos un modelo *ARMA*(1,1) para el cuadrado de las innovaciones del modelo de la media:

$$[1 - (\delta_1 + \gamma_1)B] \varepsilon_t^2 = (1 - \gamma_1 B) v_t, \quad (31)$$

donde *B* denota el operador de retardos.

Las estimaciones presentadas en este trabajo para el modelo de la varianza se corresponden con la representación *VARMA*, es decir con la ecuación (26)⁹.

Al estimar el modelo, y en virtud de las características de las funciones de autocorrelación simple y parcial de las series de rendimientos al cuadrado, que se muestran en la Tabla 4.2 del Apéndice 1, se ha escogido $s=6$. Este valor numérico asignado al factor de estacionalidad permite modelizar estocásticamente la presencia de un comportamiento estacional, al cierre del periodo de negociación, al inicio del mismo, o en ambos instantes a la vez. Al respecto, téngase en cuenta que al eliminar de la muestra los rendimientos correspondientes al final de un día de negociación y el comienzo del día siguiente, se dispone de seis observaciones diarias de rendimientos, por lo que $s=6$ representa estacionalidad diaria.

⁹ La recuperación de las estimaciones de los parámetros de la ecuación dada por (23) es inmediata sin más que observar la relación existente entre las ecuaciones (23) y (27). Asimismo las desviaciones típicas estimadas de los parámetros en (23) pueden recuperarse a partir de la matriz de covarianzas estimada.

Este tipo de modelos presenta en general problemas numéricos de estimación. Cuanto mayor es el número de parámetros a estimar, la probabilidad de que existan correlaciones entre los mismos aumenta. Y cuanto mayor es la correlación entre los parámetros, la superficie de la función de Verosimilitud tiende a ser más plana, lo que dificulta considerablemente su maximización. Es por ello que la práctica totalidad de los trabajos que utilizan esta metodología introducen restricciones de algún tipo entre los parámetros. Las restricciones incorporadas al llevar a cabo la estimación son las siguientes: a) se han fijado las varianzas y la covarianza incondicionales iguales a sus respectivos análogos momentos en la muestra, de forma que el algoritmo no itera sobre estos tres parámetros y b) como se ha explicitado anteriormente, en la ecuación (27) se ha considerado una especificación VMA^{10} , es decir, una especificación media móvil multivariante, y c) las matrices asociados a los retardos estacionales son diagonales. Como puede comprobarse a partir de la estimación del modelo, que exponemos a continuación, el modelo estimado para la dinámica de la matriz de varianzas-covarianzas condicional es invertible, por lo que tal especificación econométrica no es una restricción considerable, sino que el modelo estimado permite representar estructuras de autocorrelación con pautas de dependencia muy extendidas hacia el pasado, en teoría de longitud infinita.

4.2.2.3. Resultados Empíricos.

Las estimaciones que a continuación se presentan se corresponden con la Ecuación (21), que recoge el comportamiento dinámico de las series de rendimientos del mercado de futuros y del mercado de contado, así como con la ecuación que representa la evolución temporal de los tres elementos relevantes de la matriz de varianzas y covarianzas de las innovaciones del modelo de la media, que tal y como se ha señalado anteriormente en 4.2.2.2 se corresponde con la representación en forma media móvil bivariante, que como acabamos de comentar en la Sección anterior se corresponde con la ecuación (27) en la que se ha considerado una especificación media móvil bivariante con un retardo regular y tres retardos estacionales.

¹⁰ Nótese que ello impone restricciones entre parámetros puesto que imponemos:

(... Continúa)

♦ Modelo de la media. (Ecuación 21).

$$\begin{pmatrix} R_{s,t} \\ R_{f,t} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} ,061 & -,106 \\ (,017) & (,021) \\ -,006 & -,032 \\ (,014) & (,018) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R_{s,t-1} \\ R_{f,t-1} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -,078 \\ (,014) \\ ,012 \\ (,012) \end{pmatrix} \hat{u}_{t-1} + \begin{pmatrix} \hat{\varepsilon}_{1,t} \\ \hat{\varepsilon}_{2,t} \end{pmatrix}$$

♦ Modelo de la Varianza. (Ecuación 27).

$$\text{vech}(\hat{\varepsilon}_t, \hat{\varepsilon}'_t) = \begin{pmatrix} ,131 \\ (,076) \\ ,083 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} ,002 & 0 & ,065 \\ (,004) & & (,011) \\ 0 & 0 & 0 \\ ,004 & 0 & ,036 \\ (,003) & & (,008) \end{pmatrix} \text{vech}(v_{t-1} v_{t-1}) + \begin{pmatrix} ,136 & 0 & 0 \\ (,004) & & \\ 0 & ,078 & 0 \\ (,008) & & \\ 0 & 0 & ,036 \\ & & (,011) \end{pmatrix} \text{vech}(v_{t-6} v_{t-6}) +$$

$$+ \begin{pmatrix} ,077 & 0 & 0 \\ (,007) & & \\ 0 & ,012 & 0 \\ (,007) & & \\ 0 & 0 & ,051 \\ & & (,008) \end{pmatrix} \text{vech}(v_{t-12} v_{t-12}) + \begin{pmatrix} ,068 & 0 & 0 \\ (,004) & & \\ 0 & ,007 & 0 \\ (,005) & & \\ 0 & 0 & ,035 \\ & & (,005) \end{pmatrix} \text{vech}(v_{t-18} v_{t-18})$$

Nota: Entre paréntesis figuran las desviaciones típicas.

4.2.2.4. Diagnósis del modelo.

Se ha propuesto en la literatura utilizar los estadísticos Ljung-Box sobre las series de residuos tipificadas, tanto en niveles como al cuadrado, con objeto de validar estadísticamente los modelos de la media y la varianza, respectivamente. No obstante, estas herramientas no son estrictamente adecuadas en términos estadísticos, puesto que la

$$\left[I - \Delta_{m_1}(B) - \Gamma_{n_1}(B) - \Delta_{m_2}(B) - \Gamma_{n_2}(B) \right] = I$$

distribución del estadístico de contraste es una distribución χ^2 bajo la hipótesis de Normalidad en la distribución incondicional, lo cual sabemos que no es coherente con las características de los datos, tal y como ponen de manifiesto los estadísticos descriptivos de la Tabla 4.1, que han sido comentadas en la subsección 4.2.2.1.

Al efectuar la diagnosis del modelo se ha procedido a contrastar si los residuos del modelo, cuyos gráficos quedan recogidos en el Apéndice 2 (gráficos 4.1 y 4.2), pueden interpretarse como concreciones muestrales de perturbaciones idéntica e independientemente distribuidas. Para ello, el contraste es el propuesto por Brock, Dechert y Scheinkman (1987), posteriormente revisado por Hsieh (1991). Este autor muestra que el contraste es sensible a la presencia de autocorrelación en la serie objeto de análisis. En nuestro caso, el interés del contraste es sobre las series de residuos estandarizados, los cuales no presentan, como sugieren los valores muestrales de los estadísticos Ljung-Box, que se muestran en la Tabla 4.3, unas pautas de autocorrelación significativas¹¹.

Dada una muestra aleatoria $\{x_t\}_{t=1}^N$, podemos considerar una submuestra $\{x_t\}_{t=\tau}^{\tau+M-1}$ para formar un vector X_t^M de dimensión de dimensión M , ($M < N$). El estadístico de contraste está basado en lo que Brock, Dechert y Scheinkman denominan *Correlation Integral*, definida por:

$$C_M(\varepsilon, N) = \frac{2}{N_M(N_M - 1)} \sum_{i < s} I_\varepsilon(X_i^M, X_s^M) = \frac{\sum_{i < s} I_\varepsilon(X_i^M, X_s^M)}{\binom{N - M + 1}{2}} \quad (32)$$

donde $N_M = N - M + 1$ e $I_\varepsilon(X_i^M, X_s^M)$ es una función definida de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} I_\varepsilon(X_i^M, X_s^M) &= 1, & \text{si } \|X_i^M - X_s^M\| < \varepsilon \\ I_\varepsilon(X_i^M, X_s^M) &= 0, & \text{en cualquier otro caso} \end{aligned} \quad (33)$$

¹¹ El elevado tamaño muestral disponible permite utilizar la distribución asintótica del estadístico.

donde $\| \|$ denota la norma máxima. Por tanto $C_M(\varepsilon, N)$ cuantifica el porcentaje, en tanto por uno, de pares de puntos $\{(X_t^M, X_s^M): 0 < t < s < N\}$ cuya *distancia* es inferior a una cantidad ε . El valor de ε se fija como un porcentaje de la desviación típica muestral, es decir $\varepsilon = k \sigma_X$, donde los valores habituales de k son: 0,5, 1,0, 1,5 y 2,0.

La expresión del estadístico de contraste *BDS* es la siguiente:

$$BDS_M(\varepsilon, N) = \frac{\sqrt{N_M} [C_M(\varepsilon, N) - [C_1(\varepsilon, N)]^M]}{\hat{\sigma}_M(\varepsilon, N)} \quad (34)$$

en donde $\hat{\sigma}_M(\varepsilon, N)$ es la desviación típica muestral de $[C_M(\varepsilon, N) - [C_1(\varepsilon, N)]^M]$. Bajo la hipótesis nula (perturbaciones *i.i.d.*) el estadístico *BDS* posee una distribución asintótica Normal de media cero y varianza uno¹². La hipótesis nula debe ser rechazada cuando la distancia observada para cualquier par de submuestras es *relativamente grande* con relación a la que debería observarse cuando la información muestral procede de un proceso estocástico integrado por variables aleatorias idéntica e independientemente distribuidas.

La Tabla 4.3 presenta los resultados de estos contrastes tanto para las series de rendimientos, como para las series de residuos *estandarizados* procedentes del modelo *GARCH* bivariente. Mientras que los resultados de la Tabla 4.3 revelan la existencia de pautas de dependencia no lineal entre los rendimientos de ambos mercados, o quizás la existencia de un comportamiento caótico en los mismos, la resolución del contraste para las series de residuos pone de manifiesto el no rechazo (al nivel de significación del 5%) de la hipótesis nula (*i.i.d.*) en la práctica totalidad de los casos, lo que sugiere a) la ausencia de caos determinista en la dinámica de los rendimientos y b) el modelo considerado es adecuado para recoger las pautas de dependencia no lineal existente en las series de rendimientos de ambos mercados. La Tabla 4.3 presenta asimismo los estadísticos de asimetría y curtosis de las series de residuos estandarizados. El modelo *GARCH* no consigue captar totalmente el comportamiento leptocúrtico de las series de rendimientos horarios. A pesar de ello, los contrastes de causalidad realizados a partir de la estimación del modelo son asintóticamente

¹² Téngase en cuenta que bajo la hipótesis nula $C_M(\varepsilon, N) = [C_1(\varepsilon, N)]^M$.

válidos, puesto que el modelo recoge adecuadamente tanto la presencia de heterocedasticidad como los patrones de dependencia no lineal.

4.3. ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO INTRADÍA DE LA VOLATILIDAD.

Una cuestión de especial interés es estudiar cuáles son las pautas de comportamiento de la volatilidad dentro de cada día sujeto a negociación. En esta Sección se lleva a cabo el estudio del comportamiento de la volatilidad en el mercado de futuros sobre el Ibex 35 y la volatilidad del mercado de contado dentro de la sesión de negociación, a partir de dos medidas alternativas de volatilidad, las cuales han sido expuestas en la Sección anterior.

4.3.1. Resultados a partir de Coeficientes de Variación Diarios de los precios.

Con objeto de llevar a cabo el análisis del comportamiento de la volatilidad dentro del día de negociación a partir la primera medida de volatilidad considerada son los coeficientes de variación de los precios, es decir una medida basada en las varianzas incondicionales de los precios. Para ello, se ha particionado el tramo de negociación considerado, que comprende desde las 11:00 horas hasta las 17:00 horas, en seis tramos horarios, de forma que se han construido las series de volatilidad diaria para cada uno de dichos tramos a partir del ratio entre la desviación típica y la media; estos estadísticos son calculados para cada hora y para cada día sobre las, en general, doce observaciones de precios disponibles dentro cada tramo para cada día de negociación. El estudio *intradía* tiene como objetivo estudiar si la volatilidad del mercado es sistemáticamente superior a lo largo de un determinado tramo horario del día, así como realizar comparaciones relativas entre tramos, dado un día de la semana. Las Ilustraciones 4.3 a 4.8 recogen los gráficos de volatilidad a lo largo de los 743 días de negociación considerados, tanto del mercado de futuros como del mercado de contado, para cada uno de los seis tramos analizados. Por otra parte, la Tabla 4.4 muestra los estadísticos de volatilidad media para cada tramo.

(Insertar Tabla 4.5)

(Insertar Ilustraciones 4.3 a 4.8)

A partir de la Tabla 4.4 puede apreciarse que el comportamiento en media pone de manifiesto la existencia de una pauta con forma de "U", una característica que ha

sido detectada en otros mercados de futuros cuyo activo subyacente es un índice bursátil. Por ejemplo, Wang et al. (1994) encuentran esta pauta de comportamiento para la volatilidad¹³, en el mercado de futuros sobre el índice *S&P 500*. Asimismo los resultados están en la línea de Daigler (1997), quien analiza de nuevo el mercado de futuros sobre el índice *S&P 500* así como el mercado de futuros sobre el *Major Market Index*. Daigler utiliza dos medidas de volatilidad: por un lado la volatilidad es cuantificada sobre intervalos de 15 minutos a partir de desviaciones típicas de las series de rendimientos minuto a minuto; por otro, se estima la volatilidad a partir del precio de “apertura”, el precio de “cierre”, el precio más alto y el precio más bajo, utilizando la medida de volatilidad propuesta por Garman y Klass (1980) sobre intervalos de longitud temporal igual a un minuto. Este tipo de comportamiento ha sido asimismo observado para el volumen de negociación, tanto en los mercados de futuros como en los respectivos mercados de contado. Muchos autores han proporcionado explicaciones teóricas para este tipo de comportamiento. Por ejemplo, Admati y Pfleiderer (1988) desarrollan un modelo teórico de información asimétrica en donde los operadores (diferencian entre *informed traders* y *liquidity traders*) tienden a negociar durante los mismos intervalos de tiempo, si bien el modelo no predice durante qué momentos a lo largo del día de negociación tiende a concentrarse el volumen de negociación. Brock y Kleidon (1992) proponen un modelo teórico en tiempo continuo para explicar que los operadores básicamente reajustan sus posiciones al inicio y al final del día de negociación, de forma que la mayor profundidad de mercado en esos periodos tiende a incrementar la volatilidad. Daigler (1997) proporciona asimismo varias razones potenciales para explicar este tipo de comportamiento, que pueden resumirse en el siguiente argumento: las operaciones tienden a concentrarse al inicio y al final de la sesión, ya que las primeras reflejan la incorporación de la nueva información disponible para el resto de los mercados que no negocian de forma simultánea, mientras que las segundas responden a la apertura de posiciones para efectuar una cobertura ante la incertidumbre acerca del comportamiento en la apertura del próximo día de negociación, o bien simplemente al cierre de posiciones anteriormente abiertas. Como consecuencia, la volatilidad es mayor en esos instantes de tiempo. En definitiva, las explicaciones teóricas sugieren que incrementos substanciales del volumen negociado tienden a generar aumentos en la volatilidad¹⁴, así como que el volumen de negociación tiende a concentrarse al inicio y al final de la sesión. El

¹³ Estos autores miden la volatilidad a partir de los cambios relativos de los precios, en valor absoluto. En particular, calculan medias sobre intervalos de 30 minutos, a partir de las seis observaciones de tasas de variación de los precios (en valor absoluto) disponibles para cada intervalo.

¹⁴ Ver por ejemplo, Brown-Hruska (1995), Darrat y Rahman (1995), Bessembinder y Seguin (1992), y Harris (1989) entre otros.

Capítulo 5 de esta Tesis Doctoral intenta aportar evidencia empírica acerca de la relación existente entre el volumen negociado y la volatilidad a muy corto plazo, a partir de un análisis con datos de alta frecuencia (cada 5 minutos). Los resultados obtenidos son coherentes con los que se presentan en este Capítulo, y fundamentalmente ponen de manifiesto que el comienzo y el final de la sesión son los periodos de negociación diarios en los que los incrementos de volumen negociado afectan de forma más significativa a la volatilidad, tanto en el mercado de contado como en el mercado de futuros.

Resulta asimismo interesante comparar, para cada mercado, entre qué tramos aparecen las mayores discrepancias de volatilidad. Al respecto, se han elaborado las Tablas 4.5 a 4.8. La Tabla 4.5 y 4.6 muestran los ratios de volatilidad entre tramos, para el mercado de futuros y el mercado de contado respectivamente, mientras que la Tabla 4.7 y la Tabla 4.8 recogen el porcentaje de días observados en los que la volatilidad en un tramo fue superior a la experimentada en otro de los intervalos considerados, de nuevo para el mercado de futuros y el mercado de contado respectivamente.

(Insertar Tablas 4.5 a 4.8)

Los estadísticos proporcionados en la Tabla 4.5 ponen de manifiesto que, para el mercado de futuros, el periodo de negociación comprendido entre las 16:00 y las 17:00 horas es sistemáticamente el tramo horario con mayor volatilidad. Asimismo, puede observarse que el primero de los intervalos horarios presenta una mayor volatilidad, superior a la de cualquier otro tramo con excepción del correspondiente al cierre (16:00 - 17:00 horas), es decir, si bien el último tramo de negociación es más el más volátil durante un mayor número de días que el comprendido entre las 11:00 y las 12:00 horas, en los días sujetos a gran volatilidad el periodo de apertura del mercado de derivados presenta variaciones de precios mucho más acusadas que las acaecidas, aproximadamente, una hora antes del cierre. La observación de la Tabla 4.6 pone de manifiesto unas características similares para el mercado de contado; para este mercado, el primero de los tramos horarios es sistemáticamente el que presenta una mayor volatilidad, mientras que el periodo comprendido entre las 16:00 y las 17:00 horas es más volátil que cualquiera de los otros, a excepción de cuando se compara con el primero de los tramos. En conclusión, el análisis estadístico llevado a cabo pone de manifiesto que los momentos del día sujetos a mayor nivel de volatilidad se corresponden con el inicio (11:00 a 12:00 horas) y el final (16:00 a 17:00 horas) de la sesión de negociación. Estas características pueden corroborarse de nuevo a partir del análisis de la

Tabla 4.7 y la Tabla 4.8 que, como hemos dicho anteriormente, recogen el porcentaje de días en los que la volatilidad en un tramo horario es superior a la acaecida en otro, para el mercado de futuros y el mercado de contado respectivamente. La Tabla 4.7 pone de manifiesto que en torno a un 70% de los días la volatilidad en el mercado de futuros durante el periodo comprendido entre las 11:00 y las 12:00 horas fue superior al observado tanto en el segundo (12:00 a 13:00 horas) como en el tercero (13:00 a 14:00 horas) de los tramos considerados, mientras que la volatilidad experimentada en el tramo final fue, al menos durante al menos un 65% de los días superior a la volatilidad detectada en cualquiera de los otros cinco tramos analizados. Esta pauta es prácticamente análoga a la que se revela para el mercado de contado a partir de los estadísticos que se presentan en la Tabla 4.8. No obstante cabe matizar que si bien de nuevo el primero y el último de los tramos son aquellos en donde se observa una mayor volatilidad, cuando se comparan estos dos tramos, se observa que el periodo de apertura experimenta todavía una mayor volatilidad, al contrario de lo detectado para el mercado de futuros.

Con objeto de obtener evidencia empírica adicional sobre el comportamiento dentro del día resulta interesante llevar a cabo contrastes no paramétricos para la hipótesis nula de igualdad de distribuciones entre dos tramos cualesquiera de entre los seis considerados para cada mercado. El estadístico de contraste, propuesto por Pearson, es el siguiente:

$$\frac{\sum_{j=1}^k (f_j - T p_j)^2}{T p_j}$$

que sigue una distribución χ^2 con $k-1$ grados de libertad, donde k hace referencia al número de sucesos diferentes considerados; f_j es la frecuencia muestral observada y p_j denota la probabilidad teórica, ambas correspondientes al suceso j -ésimo ($j=1,2,\dots,K$). De esta forma, el producto del tamaño muestral (T) por la probabilidad teórica es la frecuencia que *deberíamos* haber observado bajo la hipótesis nula. El estadístico recoge tres ideas fundamentales: a) dada una discrepancia la penalización debe ser igual con independencia del signo observado, b) las discrepancias *grandes* (mayores que uno en valor absoluto) penalizan relativamente más que las *pequeñas* (inferiores a uno en valor absoluto)¹⁵, y c) la penalización que se otorga a cada discrepancia debe tener una importancia relativa en relación a la frecuencia teórica, es decir, no debe penalizar de la misma forma, una desviación unitaria

¹⁵ Al respecto, téngase en cuenta que si $|x| < 1$, entonces $x^2 < x$. Lo contrario sucede cuando $|x| > 1$.

cuando la frecuencia teórica es, por ejemplo igual a 10, que en el caso de que fuera igual a 100. Para que la aproximación asintótica de la distribución del estadístico sea razonable es necesario escoger los sucesos relevantes de forma que la frecuencia muestral observada sea superior o igual a 5. Dado un nivel de significación, la resolución del contraste llevará al rechazo de la hipótesis nula cuando el valor del estadístico de contraste sea superior al valor teórico de la distribución *chi-cuadrado* con $k-1$ grados de libertad, siendo el contraste de una sola cola. En definitiva, rechazamos la hipótesis nula cuando la *discrepancia total es suficientemente grande*. Dado que la potencia del contraste es sensible al número de intervalos considerados, se ha maximizado el número de intervalos disponibles teniendo en cuenta la restricción de poseer una frecuencia muestral mayor o igual a cinco para cada suceso relevante¹⁶.

La Tabla 4.9 y la Tabla 4.10 recogen dichos contrastes, para el mercado de futuros y el mercado de contado respectivamente, mientras que las Ilustraciones 4.9 y 4.10 muestran los histogramas de volatilidad para cada tramo y para cada mercado. Los resultados conducen sistemática y claramente al rechazo de la hipótesis nula de igualdad de distribuciones.

En conclusión, el análisis llevado a cabo en esta Sección pone de manifiesto la existencia de un comportamiento claramente diferenciado de la volatilidad dentro del día de negociación, observándose que los periodos correspondientes al inicio y al final de la sesión negociadora son los intervalos temporales sujetos a un mayor nivel de fluctuación.

(Insertar Tablas 4.9 y 4.10)

(Insertar Ilustraciones 4.9 y 4.10)

4.3.2. Resultados a partir del modelo *GARCH*.

En esta subsección llevamos a cabo un análisis similar al efectuado en la subsección 4.3.1 a partir de otra medida de volatilidad, esto es, a partir de las varianzas condicionales de las series de rendimientos. En particular, dado que el modelo bivalente de corrección de error con perturbaciones heterocedásticas es estimado sobre las series de

¹⁶ Este criterio de maximizar el número de intervalos disponibles, es el que se ha seguido para efectuar todos los contrastes no paramétricos que se presentan en esta Sección.

rendimientos horarios, podemos disponer de estimaciones cambiantes en el tiempo sobre la volatilidad de ambos mercados con una periodicidad horaria. Esto permite calibrar, en términos cualitativos, la sensibilidad de los resultados ante las dos alternativas metodológicas utilizadas. En este sentido, hemos de ser conscientes que la primera de las medidas consideradas, el coeficiente de variación de los precios, no es una medida rigurosa en términos estadísticos. Si la serie de precios presenta una tendencia, el coeficiente de variación tenderá a generar estimaciones sesgadas de las fluctuaciones experimentadas por los precios, puesto que la media de la serie será cambiante en el tiempo. A pesar de ello, en numerosas ocasiones los operadores de Bolsa interpretan la volatilidad del mercado haciendo uso de las desviaciones típicas de las series de precios. Por otro lado, las varianzas obtenidas a partir del modelo bivalente de heterocedasticidad condicional autorregresiva son indicadores de las fluctuaciones experimentadas por series estacionarias, lo cual es estadísticamente correcto. Las Ilustraciones 4.11 a 4.16 recogen los gráficos de las volatilidades estimadas del mercado de contado y el mercado de futuros para cada instante de tiempo. En este sentido, interpretamos la volatilidad correspondiente al “primer tramo”, desde las 11:00 horas a las 12:00 horas, a través de la varianza condicional estimada a las 12:00 horas; y así sucesivamente hasta disponer de la volatilidad en el último tramo a partir de la varianza condicional a las 17:00 horas. Al respecto debemos recordar, tal y como se ha puntualizado en la subsección 4.2.1, que el modelo *GARCH* ha sido estimado sobre las series de rendimientos horarios, de forma que se ha excluido de la muestra los rendimientos *overnight*, por lo que se dispone de seis estimaciones de la volatilidad de cada mercado para cada día de negociación. La Tabla 4.11 presenta los estadísticos de volatilidad media para cada tramo. Los resultados son, en términos cualitativos, similares a los presentados en la subsección anterior, observándose de nuevo una pauta de comportamiento en forma de “U” que sugiere que son los tramos correspondientes al inicio y al final del periodo de negociación son los intervalos de tiempo sujetos a un mayor nivel de volatilidad.

(Insertar Tabla 4.11)

(Insertar Ilustraciones 4.11 a 4.16)

Esta evidencia es corroborada en términos estadísticos a partir de las Tabla 4.12 y 4.13, que recogen el ratio medio de volatilidad entre dos tramos cualesquiera, para el mercado de futuros y el mercado de contado respectivamente. Las Tablas 4.14 y 4.15 muestran el porcentaje de días en los que la volatilidad en un tramo fue superior a la experimentada en otro, de nuevo para el mercado de futuros y el mercado de contado

respectivamente. Para el mercado de contado, se observa que es el primero de los tramos el que presenta sistemáticamente, en media, una volatilidad superior a la apreciada en cualquiera de los otros intervalos considerados, a excepción del periodo de cierre (entre las 16:00 horas y las 17:00 horas). Además se detecta que los periodos de inicio y cierre de la actividad negociadora son aquellos que presentan un mayor grado de volatilidad. Por tanto, de forma análoga a lo observado empíricamente en 4.3.1, los tramos inicial y final del periodo de negociación son los que experimentan un mayor grado de volatilidad, si bien el mercado de contado es el más volátil al inicio de la sesión, mientras que es el mercado de derivados el que presenta dicha característica al final de la misma. Por otro lado, resulta interesante el hecho de que no se aprecien excesivas discrepancias cuando se compara la Tabla 4.7 con la Tabla 4.14, ni tampoco cuando se comparan las Tabla 4.8 y 4.15.

En la línea de lo realizado en la subsección anterior resulta de nuevo interesante el efectuar los contrastes no paramétricos para la hipótesis de igualdad de distribuciones entre dos tramos cualesquiera. Las Tablas 4.16 y 4.17 recogen los contrastes de bondad para la hipótesis nula de igualdad de distribuciones entre tramos para el mercado de futuros y el mercado de contado respectivamente, mientras que las Ilustraciones 4.17 y 4.18 muestran los histogramas de volatilidad por tramos. La resolución del contraste conduce, de nuevo en todos los casos, al rechazo de la hipótesis nula de igualdad de distribuciones.

(Insertar Tablas 4.12 a 4.17)

(Insertar Ilustraciones 4.17 a 4.18)

En resumen, el estudio efectuado en esta subsección presenta, en términos cualitativos, unos resultados similares a los obtenidos en 4.3.1, lo que pone de manifiesto que ambas medidas de volatilidad revelan unas pautas similares acerca del comportamiento que subyace a la dinámica operativa de los agentes en el mercado.

La existencia de una elevada volatilidad al inicio y al final de la sesión es una característica de suma importancia al efectuar operaciones de cobertura sobre las posiciones de contado a través del mercado de futuros. En este sentido, la estimación del ratio de cobertura óptimo, en la que juegan un papel relevante tanto la volatilidad del mercado de futuros como las covariaciones entre el mercado de derivados y el mercado de contado debería hacerse a partir de un modelo econométrico que sea capaz de recoger dicha característica. Esta cuestión será analizada en la Sección 4.6.

4.4. ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA VOLATILIDAD A LO LARGO DE LOS DÍAS.

En esta Sección se lleva a cabo un estudio del comportamiento de la volatilidad en función del día de negociación. Como se mencionó anteriormente, en esta Sección únicamente se considera la primera de las medidas de volatilidad propuestas en la Sección 4.2, es decir, la que se construye a partir de los coeficientes de variación con las observaciones de precios disponibles cada día. Si bien este análisis es susceptible de ser llevado a cabo utilizando los segundos momentos condicionales estimados a partir de la metodología *GARCH* bivariante presentada en la subsección 4.2.2, dejamos esta alternativa como una posible extensión de esta Tesis Doctoral. Al respecto cabe señalar que, en este caso, la generación de una medida de volatilidad diaria plantea de nuevo un problema de agregación a partir de la información disponible. Existe obviamente todo un continuo de posibilidades; sin embargo una alternativa razonable, dada la evidencia empírica obtenida, sería el considerar como medida de volatilidad para cada mercado una media ponderada de las seis varianzas condicionales estimadas cada día de negociación tanto para el mercado de futuros como para el mercado de contado, otorgando una mayor ponderación a los dos momentos condicionales estimados al “inicio” y al “final” de la sesión negociadora.

4.4.1. Estadísticos Previos.

La Tabla 4.18 presenta los principales estadísticos descriptivos de las series de volatilidad del mercado de futuros y el mercado de contado, mientras que la Ilustración 4.19 recoge los gráficos de las series de volatilidad diaria del mercado de futuros y del mercado de contado.

(Insertar Tabla 4.18)

(Insertar Ilustración 4.19)

La volatilidad media diaria observada es igual para ambos mercados, así como la desviación típica; sin embargo, el recorrido intercuartílico y el diferencial entre el percentil de orden 95 y de orden 5 son ligeramente superiores para el mercado de futuros. Ambos hechos ponen de manifiesto que, si bien el comportamiento de la volatilidad diaria es, en media, similar en ambos mercados, el mercado de futuros reacciona de forma más intensa ante la ocurrencia de los *shocks* que afectan a los dos mercados. En este sentido, puede

observarse que el recorrido de la variable, es decir el diferencial entre el máximo y el mínimo valor, es de nuevo superior en el mercado de futuros.

Con objeto de analizar el comportamiento de la volatilidad a lo largo de los diferentes días de la semana se ha particionado la serie de volatilidad para todo el periodo muestral atendiendo al día de la semana. Esta partición puede proporcionar evidencia acerca de si los mercados presentan sistemáticamente una mayor volatilidad en un día concreto de la semana. Al respecto, se ha elaborado la Tabla 4.19, que recoge las volatilidades medias, la volatilidad relativa Futuro / Contado, así como el porcentaje de días en el que un mercado experimenta una mayor volatilidad relativa, para cada uno de los diferentes días de la semana. Dicha tabla pone de manifiesto que, si bien los mercados se comportan en media de forma similar durante el periodo muestral analizado para cada día de la semana, existen diferencias significativas cuando se observa la evolución a lo largo de la semana, siendo los jueves y los viernes los días que presentan una volatilidad media superior al resto de la semana en ambos mercados. Una cuestión asimismo interesante es analizar cómo afecta a la volatilidad de los mercados el hecho de que el viernes el día de la semana que corresponde al vencimiento del contrato de futuros. La Tabla 4.19 recoge asimismo esta diferenciación cualitativa. Puede observarse que la volatilidad de los viernes de vencimiento es ligeramente inferior a la detectada en los viernes de no vencimiento, tanto para el mercado de futuros como para el mercado de contado, lo cual sugiere que la existencia de una volatilidad sistemáticamente superior para los viernes debe ser asignada más bien al reajuste de las carteras ante la llegada del fin de semana¹⁷, que al hecho de que los terceros viernes de cada mes tenga lugar el vencimiento de los contratos de futuros. No obstante, cabe matizar que, si bien aproximadamente el 46% de los viernes el mercado de futuros fue relativamente más volátil, este porcentaje se reduce hasta el 39% cuando se analiza únicamente los 36 viernes de vencimiento disponibles en la muestra, mientras que dicho porcentaje se mantiene prácticamente en los niveles inicialmente mencionados para los viernes carentes de vencimiento. A pesar de que la reducción en dicho porcentaje es pequeña, esta característica sugiere la existencia de una ligera transmisión de volatilidad desde el mercado de derivados hacia el mercado de contado en la fecha de vencimiento del contrato de futuros.

¹⁷ Pensemos, por ejemplo, que los operadores con un alto grado de aversión al riesgo pueden preferir cancelar sus posiciones el viernes, para después recuperarlas el lunes, con objeto de cubrir sus carteras ante la incertidumbre que presenta la llegada de dos días no susceptibles de negociación.

(Insertar Tabla 4.19 y 4.20)

Por otro lado, las Ilustraciones 4.20 a 4.24 presentan la evolución temporal de las series de volatilidad para cada uno de los días de la semana¹⁸. La dinámica temporal observada en los gráficos pone de manifiesto una correlación positiva entre la volatilidad del mercado de futuros y la volatilidad del mercado de contado a lo largo de toda la semana. Esta característica puede apreciarse con mayor nitidez a partir de las nubes de puntos de volatilidad que se recogen en los Gráficos 4.25 a 4.29. La Tabla 4.20 recoge la estimación por mínimos cuadrados ordinarios de un modelo de regresión lineal simple para cada una de las seis nubes de puntos disponibles, considerando como variable exógena la volatilidad del mercado de futuros¹⁹. En todos los casos, la pendiente estimada de la recta de regresión es positiva, además de muy similar en términos cuantitativos²⁰. Asimismo se ha procedido a la estimación teniendo en cuenta la nube de puntos para los viernes carentes de vencimiento. La pendiente estimada es similar a la obtenida para todos los viernes, lo cual sugiere que el vencimiento del contrato de futuros no puede considerarse un factor significativo para explicar la volatilidad del mercado de contado, en la línea de lo planteado anteriormente.

4.4.2. Estudio comparativo de las distribuciones de volatilidad diaria.

Una vez obtenida evidencia a favor de un comportamiento diferenciado, es interesante analizar la distribución de volatilidad para cada uno de los días de la semana. Para ello, se han elaborado los histogramas correspondientes a cada día, y a partir de ellos se han efectuado contrastes no paramétricos de la hipótesis nula de igualdad de distribuciones, lo que permite analizar tanto las diferencias de comportamiento entre dos días cualesquiera, como detectar si, dado un día de la semana, la volatilidad del mercado de futuros difiere en comportamiento respecto del mercado de contado.

La Tabla 4.21 recoge los contrastes de igualdad de distribuciones de frecuencias de la volatilidad entre ambos mercados, para cada día de la semana, mientras que las 4.22 y 4.23 muestran los contrastes de la hipótesis nula de igualdad de distribuciones de

¹⁸ El número de observaciones para cada serie es de: a) 146 para el lunes, b) 150 para el martes, c) 151 para el miércoles, d) 148 para el jueves y d) 148 para el viernes.

¹⁹ La imposición de esta relación de causalidad es coherente con la evidencia que se presenta en la Sección 4.5.

volatilidad para todas las combinaciones posibles cuando se tienen en cuenta dos días, para cada uno de los dos mercados, futuro y contado, respectivamente. La Ilustración 4.30 muestra los histogramas de volatilidad, tanto del mercado de futuros como del mercado de contado, para cada día de la semana.

(Insertar Tablas 4.21 a 4.23)

(Insertar Ilustraciones 4.20 a 4.24, Gráficos 4.25 a 4.30 e Ilustración 4.30)

Los resultados ponen de manifiesto fundamentalmente dos hechos: a) aceptamos para todos los días de la semana la hipótesis nula de igualdad entre las distribuciones de frecuencias de la volatilidad de ambos mercados, y b) la comparación entre días para cada mercado muestra pautas similares de volatilidad, tanto en el mercado de futuros como en el mercado de contado, observándose un comportamiento claramente diferenciado al comienzo (lunes), a mitad de la semana (miércoles) y al final de la semana (viernes). De hecho, rechazamos sistemáticamente la hipótesis nula de igualdad de distribuciones de frecuencias de volatilidad en ambos mercados cuando se compara el lunes con el jueves o con el viernes, así como cuando se analiza el miércoles con relación al jueves o al viernes. En particular, la batería de contrastes no paramétricos descritos anteriormente sugiere la existencia de un comportamiento con pautas estacionales a lo largo de la semana, de forma que pueden apreciarse dos “efectos día de la semana”, que se corresponderían al lunes y al viernes.

4.4.3. Relación entre Rendimiento Semanal y Volatilidad Diaria.

El análisis estadístico presentado hasta el momento, pone de manifiesto la existencia de patrones de comportamiento diferenciados en la volatilidad de los mercados, si tenemos en cuenta el día de la semana. En este sentido, la evidencia sugiere que no todos los días de la semana presentan un mismo nivel de riesgo, por lo que consideramos relevante relacionar el comportamiento de la volatilidad con el comportamiento de la rentabilidad. Esta comparación puede poner de manifiesto aspectos interesantes acerca de la relación riesgo – rentabilidad en el mercado de futuros sobre el Ibx 35. Las Ilustraciones 4.31 a 4.35 muestran las rentabilidades semanales de cada mercado, calculada a partir de tasas de variación sobre

²⁰ En la estimación realizada para la nube de puntos correspondiente al viernes se ha eliminado de la muestra un valor atípico, que corresponde a un viernes de vencimiento.

precios medios del día²¹, diferenciando para cada uno de los días de la semana. Asimismo también se han elaborado los histogramas de rentabilidades semanales, que se muestran en la Ilustración 4.36. La Tabla 4.24 muestra las rentabilidades medias para cada día de la semana.

(Insertar Tabla 4.24)

(Insertar Ilustraciones 4.31 a 4.36)

A partir de la Tabla 4.24 se puede apreciar que la rentabilidad tiene un comportamiento similar al detectado para la volatilidad: si bien dado un día de la semana los dos mercados se comportan de forma similar en media²², se observan diferencias significativas cuando se comparan dos días diferentes. En particular, la mayor rentabilidad corresponde, tanto en el mercado de futuros como en el mercado de contado, al viernes. Si el operador tuviera que escoger un determinado día de la semana para negociar, los estadísticos sugieren que si la operativa es a muy corto plazo el tomar y deshacer posiciones sistemáticamente los lunes minimiza el riesgo asociado al día de la semana, mientras que es el viernes el día que, si bien ofrece la mayor rentabilidad media, es asimismo el que conlleva un mayor riesgo. Sin embargo, el hecho de que un mayor riesgo lleve asociado una mayor rentabilidad potencial no permite inferir que la probabilidad de obtener una rentabilidad positiva, cuando únicamente se opera los viernes, sea superior a la probabilidad de obtener rendimientos positivos cuando se escoge cualquier otro día de la semana a la hora de tomar y deshacer posiciones. Este hecho puede observarse a partir de la Tabla 4.25, que recoge el porcentaje de observaciones con rentabilidad semanal positiva, en función de cada uno de los cinco de los días de la semana.

(Insertar Tabla 4.25)

Esta Tabla pone de manifiesto que durante el periodo muestral analizado, es el martes el día con mayor porcentaje de observaciones con rentabilidad positiva, tanto en el mercado de futuros como en el mercado de contado. Por tanto, para un inversor que es neutral al riesgo, cuyo objetivo pudiera ser el obtener una rentabilidad no negativa, el martes

²¹ Otra alternativa para el cálculo de rentabilidades semanales en el mercado de futuros consiste en considerar precios de liquidación diaria, que para los días en que no tiene lugar el vencimiento del contrato de futuros, se corresponde con la media aritmética del mejor precio de compra y el mejor precio de venta, mientras que para los días de vencimiento se calcula a partir de la media aritmética del valor del Ibex 35 entre las 16.15 horas y las 16.45 horas, tomando datos minuto a minuto.

²² Cabe matizar que, excepto para el martes, el resto de los días de la semana el mercado de futuros presenta una rentabilidad ligeramente superior.

podría ser la elección óptima, mientras que un inversor de las mismas características cuyo objetivo sea maximizar la rentabilidad debería escoger el viernes. Asimismo, y de forma análoga a lo realizado a partir de los histogramas de volatilidad, se han efectuado contrastes no paramétricos de la hipótesis nula de igualdad de distribuciones en las rentabilidades semanales tanto para el mercado de futuros como para el mercado de contado. Además, dada la forma de los histogramas, se han realizado contrastes no paramétricos para la hipótesis de Normalidad, para cada día de la semana²³. Estos contrastes quedan recogidos en la Tabla 4.26. Los resultados son sistemáticamente similares en todos los casos: para todos los días de la semana se acepta tanto la hipótesis nula de igualdad de distribuciones, como la hipótesis nula de Normalidad. Dado que la potencia del contraste no paramétrico es sensible al número de sucesos relevantes considerado, se ha procedido asimismo a contrastar la hipótesis de Normalidad a partir del estadístico de contraste propuesto por Bera-Jarque (1981), el cual está basado sobre el nivel de asimetría y curtosis observado en la muestra, cuya expresión es:

$$T \left[\frac{\left(\frac{m_3}{S^3}\right)^2}{6} - \frac{\left(\frac{m_4}{S^4} - 3\right)^2}{24} \right],$$

donde m_h representa el momento muestral de orden h respecto a la media, y S es la desviación típica muestral. La distribución del estadístico de contraste es una χ^2 con dos grados de libertad. Si la hipótesis nula es verdadera entonces $\left(\frac{m_3}{S^3}\right) \cong 0$, y $\left(\frac{m_4}{S^4} - 3\right) \cong 0$, es decir *deberemos* observar valores *pequeños* en el estadístico de contraste. El contraste se realiza de una sola cola, de forma que, dado un nivel de significación, la resolución del mismo nos indicará el rechazo de la hipótesis nula cuando el valor de dicho estadístico sea superior al valor teórico de la distribución *chi-cuadrado* con dos grados de libertad. La Tabla 4.27 recoge este tipo de contrastes sobre los rendimientos semanales (lunes sobre lunes, martes sobre martes,...) del mercado de contado y el mercado de futuros, para cada día de la semana.

(Insertar Tablas 4.25 a 4.27)

²³ Para proceder al contraste de Normalidad se han obtenido los histogramas correspondientes a los rendimientos tipificados, de forma que las discrepancias son calculadas en comparación con las

(... Continúa)

Los resultados ponen de manifiesto la aceptación de la hipótesis nula de Normalidad al nivel de significación del 1% en todos los casos. Los resultados del contraste de Normalidad para el mercado de contado son consistentes con los obtenidos por Fernández e Yzaguirre (1996) para el periodo muestral comprendido entre Enero de 1987 y Marzo de 1994.

4.5. ESTUDIO DE LA RELACIÓN DE CAUSALIDAD ENTRE LA VOLATILIDAD DEL MERCADO DE CONTADO Y LA VOLATILIDAD DEL MERCADO DE FUTUROS.

4.5.1 Resultados a partir de un vector de corrección de error sobre primeras diferencias de los coeficientes de variación diarios.

En esta subsección se lleva a cabo un análisis de las características de la estructura de la relación de causalidad entre la volatilidad del mercado de futuros y la volatilidad del mercado de contado. Para ello se utiliza como medida de la volatilidad del mercado los coeficientes de variación diarios sobre las series de precios disponibles cada día, tal y como se ha explicitado en la subsección 4.2.1. En primer lugar procedemos a estudiar si las series temporales de volatilidad generadas presentan una relación de equilibrio a largo plazo.

En una primera fase, abordamos el estudio de la dinámica de la volatilidad del mercado de futuros y la volatilidad del mercado de contado, con objeto de obtener evidencia empírica acerca de la posible existencia de una relación de cointegración entre ambas variables. El hecho de que el mercado esté arbitrado, de forma que el diferencial entre el precio cotizado del contrato de futuros y el valor del índice permanezca acotado superior e inferiormente a lo largo del tiempo, tiene como consecuencia que los precios del contrato de futuros y el valor de mercado del índice evolucionen dinámicamente de acuerdo con una relación de equilibrio a largo plazo, tal y como predice el modelo de valoración *Cost of Carry*. El Capítulo 3 de esta Tesis Doctoral proporciona evidencia empírica acerca de la existencia de tal relación de cointegración. Si los precios del mercado de contado y los precios del mercado de futuros evolucionan de forma similar, es de esperar que el comportamiento

frecuencias teóricas que se corresponden a una distribución Normal (0,1).

dinámico de las volatilidades presente asimismo una relación de equilibrio a largo plazo, lo cual es una cuestión relevante al especificar el modelo econométrico a partir del cual se procederá a los contrastes de causalidad relevantes. Al abordar el estudio empírico acerca de la existencia de una relación de cointegración, una primera fase pasa por determinar el orden de integración de las variables objeto de estudio. Para ello se ha efectuado el contraste de raíz unitaria propuesto por Dickey-Fuller sobre las series de volatilidad (V), es decir, se trata de contrastar la significatividad del coeficiente asociado a $V_{i,t-1}$ frente a la hipótesis alternativa de $\gamma < 0$ en el siguiente modelo de regresión:

$$\Delta V_{i,t} = \alpha + \beta t + \gamma V_{i,t-1} + \sum_{i=1}^p \delta_i \Delta V_{i,t-i} + u_t \quad (35)$$

donde p se fija de forma que garantice unos residuos incorrelacionados. El modelo de regresión (35) es el más genérico a la hora de efectuar un contraste de raíz unitaria mediante la metodología propuesta por Dickey-Fuller, de forma que incluye constante y tendencia determinista. Dado que las series de cambios en la volatilidad presentan una media muestral significativamente distinta de cero, tanto para el mercado de futuros como para el mercado de contado, el contraste se ha efectuado a partir de la estimación del modelo expresado en la ecuación (35), pero exento de tendencia determinista. Los resultados ponen de manifiesto en ambos casos, que la resolución del contraste nos lleva a no rechazar la hipótesis nula²⁴, hecho que corrobora en términos estadísticos que las series de cambios en la volatilidad son variables estacionarias²⁵.

Los resultados obtenidos a partir del contraste de Dickey-Fuller aumentado son consistentes con el análisis de las series en niveles a partir de la metodología propuesta por Box-Jenkins (1970), esto es, mediante la utilización de las funciones de autocorrelación simple y parcial. La Tabla 4.28 recoge la estructura de autocorrelación simple y parcial de las series de volatilidad, así como de las series de cambios en la volatilidad; puede observarse que las series

²⁴ El contraste se ha efectuado introduciendo 5 retardos. Los valores muestrales del estadístico de contraste son iguales a $-8,28$ y $-8,48$, para las series de volatilidad en el mercado de futuros y en el mercado de contado, respectivamente. Los valores críticos del contraste al nivel de significación del 5% y el 1% son iguales, respectivamente, a $-3,45$ y $-4,04$.

²⁵ Téngase en cuenta que el contraste de la hipótesis nula $H_0: \gamma = 0$ en el modelo de regresión dado por (31) es equivalente al contraste de la hipótesis nula $H_0: \rho = 1$ en el modelo:

$$V_{i,t} = \alpha + \beta t + \rho V_{i,t-1} + \sum_{i=1}^p \delta_i \Delta V_{i,t-i} + u_t.$$

(... Continúa)

en niveles presentan un lento decaimiento en los estadísticos de autocorrelación simple, en ambos casos todos significativos a lo largo de los primeros 15 primeros retardos. Por el contrario, las series correspondientes a las primeras diferencias poseen una estructura de autocorrelación simple que refleja un fuerte decaimiento, donde únicamente el primero de los retardos es significativo. De hecho, la estructura de las funciones de autocorrelación simple y parcial, sugiere una representación media móvil de orden uno, invertible, con parámetro positivo. En definitiva, ambas metodologías confirman la existencia de una raíz unitaria de las series en niveles.

(Insertar Tabla 4.28)

Para proceder al contraste de cointegración entre las series de volatilidad de ambos mercados utilizamos la metodología propuesta por Engle y Granger (1987), de forma similar a lo realizado en el Capítulo 3. Recordamos brevemente, que de los siete contrastes propuestos por ambos autores, los utilizados de nuevo son tres. En primer lugar se procede con un contraste de Dickey-Fuller aumentado sobre las series de residuos obtenidas a partir de la estimación por mínimos cuadrados de la ecuación de cointegración. Si las series de volatilidad son integradas de orden uno, entonces la serie de residuos procedente de la estimación de la ecuación de cointegración, es decir, las desviaciones del equilibrio en el corto plazo, debe evolucionar de forma estacionaria. El segundo y el tercero de los contrastes utilizados son los denominados por dichos autores contrastes *ARVAR* (*Augmented Restricted Vector Autoregression*), y *AUVAR* (*Augmented Unrestricted Vector Autoregression*), respectivamente.

La ecuación de cointegración presenta una estimación del parámetro β próxima a la unidad (.8274), mientras que la estimación del parámetro α está próxima a cero (.0004), así como un coeficiente de determinación muy alto (.95). No obstante, no debemos olvidar, tal y como señalábamos en el Capítulo 3 que el vector dado por $(\hat{\alpha}, \hat{\beta})$ es simplemente una estimación puntual del verdadero vector de cointegración, así como que las desviaciones típicas estimadas no son fiables en muestras cortas a la hora de contrastar la significatividad de los parámetros α y β . Como ya se ha dicho en el Capítulo 2, el objetivo fundamental de esta regresión es obtener información acerca de la dinámica temporal de las series de volatilidad sin tener en cuenta el largo plazo, es decir, disponer de una estimación del vector de cointegración a partir de la cual podamos generar una serie de residuos: término de corrección de error para las

Si no se rechaza la hipótesis nula $H_0: \rho = 1$, entonces el proceso $\Delta V_{i,t}$ es estacionario, alrededor de

(... Continúa)

volatilidades. Esta será posteriormente utilizada tanto en la segunda etapa del contraste *ARVAR*, como en la especificación del modelo econométrico utilizado para caracterizar la estructura de la relación de causalidad entre las volatilidades de ambos mercados.

Los resultados de la aplicación de los tres contrastes de cointegración considerados quedan recogidos en la Tabla 4.29. Los resultados confirman claramente, en términos estadísticos, la creencia a priori acerca de la existencia de una relación de equilibrio a largo plazo, tal y como sugerían los gráficos de las series en niveles, los cuales quedan recogidos en la Ilustración 4.19.

(Insertar Tabla 4.29)

Con objeto de abordar el estudio de la capacidad predictiva de la volatilidad de un mercado sobre la volatilidad del otro mercado, representamos la evolución dinámica de los cambios en la volatilidad a partir de un Vector Autorregresivo bivalente de corrección de error:

$$\begin{pmatrix} \nabla V_{s,t} \\ \nabla V_{f,t} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mu_1 \\ \mu_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \gamma_1 \\ \gamma_2 \end{pmatrix} u_{t-1} + \begin{pmatrix} \Psi_{11}(B) & \Psi_{12}(B) \\ \Psi_{21}(B) & \Psi_{22}(B) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \nabla V_{s,t} \\ \nabla V_{f,t} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} a_{1,t} \\ a_{2,t} \end{pmatrix}, \quad (36)$$

donde u_{t-1} representa la desviación respecto del equilibrio de largo plazo, es decir, los residuos de la ecuación de cointegración, retardados un periodo; $\Psi_{i,j}(B)$ $i, j = 1, 2$ son polinomios de retardos con $\Psi_{11}(0) = \Psi_{12}(0) = \Psi_{21}(0) = \Psi_{22}(0) = 0$; Las perturbaciones de cada mercado, $a_{i,t}$, son ruidos blancos posiblemente correlacionados contemporáneamente. La técnica de estimación utilizada es la de mínimos cuadrados en dos etapas. Al efectuar los contrastes de hipótesis, la matriz de varianzas y covarianzas es la propuesta por White (1980)²⁶.

una tendencia lineal, en el caso de que β resulte significativamente distinto de cero.

²⁶ La expresión de dicha matriz de varianzas y covarianzas, que no precisa de una representación específica de la forma funcional que adopta la heterocedasticidad, es:

$$\text{Var}(\beta) = T \sigma_u^2 (X'X)^{-1} \left(\frac{1}{T} X' \Sigma X \right) (X'X)^{-1}, \text{ donde el término } \sigma_u^2 \frac{1}{T} (X' \Sigma X) \text{ se estima por:}$$

$$\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \hat{u}_t^2 (x_t' x_t), \text{ siendo } T \text{ el tamaño muestral y } x_t = (x_{1t}, x_{2t}, \dots, x_{kt})$$

La Tabla 4.30 muestra la estimación del modelo bivalente vectorial autorregresivo de corrección de error considerado, los contrastes de significatividad conjunta y los contrastes Ljung-Box de ausencia de autocorrelación en las series de residuos. El número de retardos considerado es igual a 10 para el pasado de la variable endógena e igual a 5 para el pasado de la volatilidad del otro mercado, lo que supone tener en cuenta la evolución anterior a lo largo de las últimas dos semanas de negociación en el mercado propio y de únicamente la última para la volatilidad del otro mercado. Ello es suficiente para que los residuos del modelo no presenten pautas de autocorrelación, como ponen de manifiesto los estadísticos Ljung-Box que se presentan asimismo en la Tabla 4.31.

(Insertar Tabla 4.31)

Los resultados sugieren la existencia de una relación de causalidad unidireccional entre las volatilidades de ambos mercados, como revela la resolución de los contrastes razón de verosimilitudes para los contrastes de causalidad relevantes. Se detecta empíricamente la existencia de una capacidad explicativa desde la volatilidad en el mercado de futuros hacia la volatilidad en el mercado de contado pero, por el contrario, la volatilidad del mercado de contado no posee capacidad predictiva acerca de la posterior evolución de la volatilidad en el mercado de futuros. Por otro lado, es interesante observar los signos de los coeficientes estimados. Los coeficientes estimados para el pasado de cada variable presentan en todos los casos signo negativo proporcionando evidencia acerca de que ante incrementos de volatilidad entre dos días consecutivos la volatilidad a lo largo de los siguientes días tiende a reducirse. Asimismo, los coeficientes estimados en la ecuación del mercado de contado para los retardos del mercado de futuros son también negativos, al contrario de lo que sucede en la ecuación del mercado de futuros para los retardos del mercado de contado, si bien estos, en conjunto, no son significativos. Estas características sugieren que el mercado de futuros no transmite volatilidad hacia el mercado de contado, sino que por el contrario es un elemento estabilizador del comportamiento de los precios de los activos con mayor nivel de capitalización que son negociados en la bolsa española, en periodos sujetos a fuertes fluctuaciones. La evidencia empírica es consistente con la idea de que si la nueva información que llega al mercado anticipa un incremento del grado de incertidumbre acerca de la evolución futura de las carteras de contado, es más eficiente cubrir las posiciones de contado operando en el mercado de futuros que haciéndolo en el mercado de cada uno de los activos individuales, puesto que el ahorro en costes de transacción es significativo. Ello implicaría que los incrementos de volatilidad en el mercado de futuros, como consecuencia de la

negociación derivada de las operaciones de cobertura, anticipan reducciones de la volatilidad en el mercado de contado.

Como hicimos al analizar la causalidad entre rentabilidades, una forma alternativa de ilustrar las características de la evolución dinámica de las volatilidades de ambos mercados es analizar las funciones de respuesta a un impulso. Las funciones de respuesta a un impulso proporcionan el efecto sobre la volatilidad de cada mercado producidos por un incremento unitario en la perturbación asociada a cada mercado del modelo estructural. Las presentadas en este caso son las respuestas normalizadas en unidades de desviación típica, en donde la recuperación del modelo estructural se realiza a partir de la factorización de la matriz de varianzas y covarianzas del modelo reducido según la descomposición de Choleski. Dada la ordenación de las variables recogida en (36), en la identificación del modelo estructural estamos imponiendo unidireccionalidad desde el mercado de futuros hacia el mercado de contado en las perturbaciones del modelo estructural, que son combinaciones de las dos perturbaciones del modelo reducido. Esta forma de proceder es coherente con la evidencia encontrada anteriormente. Por otro lado, también resulta interesante efectuar la descomposición de la varianza, que permite evaluar cuál es la contribución a la varianza del error de previsión para diferentes periodos, de las perturbaciones ortogonalizadas de cada mercado. Algebraicamente, podemos expresar el modelo bivalente de corrección de error dado por (36) de la siguiente forma:

$$y_t = \mu + \delta u_{t-1} + \Psi(B) y_t + a_t, \quad (37)$$

$$\text{donde } y_t = \begin{pmatrix} \Delta V_{s,t} \\ \Delta V_{f,t} \end{pmatrix}, \mu = \begin{pmatrix} \mu_1 \\ \mu_2 \end{pmatrix}, \delta = \begin{pmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \end{pmatrix}, \Psi(B) = \begin{pmatrix} \Psi_{11}(B) & \Psi_{12}(B) \\ \Psi_{21}(B) & \Psi_{22}(B) \end{pmatrix}.$$

Sea $\Omega = E(a_t a_t') \forall t$; dado que Ω es una matriz simétrica y definida positiva, existe una matriz Γ triangular superior con elementos positivos en la diagonal principal, tal que: $\Omega = \Gamma \Gamma'$ (factorización de Choleski). Premultiplicando (37) por Γ^{-1} , después de agrupar en y_t se tiene:

$$\Gamma^{-1} [I - \Psi(B)] y_t = \Gamma^{-1} \mu + \Gamma^{-1} \delta u_{t-1} + \Gamma^{-1} a_t = \bar{\mu} + \bar{\delta} u_{t-1} + \varepsilon_t, \text{ donde:}$$

$$E(\varepsilon_t \varepsilon_t') = E\left(\Gamma^{-1} a_t a_t' (\Gamma^{-1})'\right) = \left(\Gamma^{-1} \Omega (\Gamma^{-1})'\right) = I,$$

es decir, las perturbaciones están normalizadas y además son ortogonales entre sí. Expresando el modelo estructural en forma de media móvil:

$$y_t = \Theta(B) \bar{\mu} + \Theta(B) \bar{\delta} u_{t-1} + \Theta(B) \varepsilon_t = \mu^* + \delta^*(B) u_{t-1} + \Theta(B) \varepsilon_t,$$

donde:

$$\Theta(B) = [\Gamma^{-1}(I - \Psi(B))]^{-1}.$$

Se tiene que:

$$\frac{\partial y_{t+s}}{\partial \varepsilon'_t} = \Theta_s,$$

es decir, el elemento de la fila i -ésima y la columna j -ésima de la matriz Θ_s se interpreta como el efecto sobre el elemento i -ésimo del vector y en el periodo $t+s$ de un incremento unitario en la innovación j -ésima del vector de innovaciones ortogonalizadas en el periodo t , manteniendo el resto de innovaciones igual a cero entre t y $t+s$.

Por otro lado, el error de previsión s periodos hacia delante para el vector y_t , puede entonces expresarse de la siguiente forma:

$$y_{t+s} - E(y_{t+s} / \Xi_t) = \sum_{j=0}^{s-1} \Theta_j \varepsilon_{t+s-j} + \sum_{j=0}^{s-1} \delta_j^* u_{t+s-1-j}, \text{ donde } \Xi_t \text{ representa el conjunto de}$$

información disponible en el periodo t .

Teniendo en cuenta que las perturbaciones del modelo estructural transformado están incorrelacionadas, y suponiendo que el sistema ha alcanzado el equilibrio de largo plazo²⁷, la varianza del error de predicción s periodos hacia delante puede expresarse de la siguiente forma:

$$Var(\hat{\varepsilon}_{t+s/t}) = E\left[(y_{t+s} - \hat{y}_{t+s/t})(y_{t+s} - \hat{y}_{t+s/t})'\right] = \sum_{j=0}^{s-1} \Theta_j \left[E(\varepsilon_{t-s-j} \varepsilon'_{t-s-j}) \right] \Theta'_j = \quad (38)$$

$$I_{2 \times 2} + \Theta_1 \Theta'_1 + \Theta_2 \Theta'_2 + \dots + \Theta_{s-1} \Theta'_{s-1}$$

²⁷ En este caso el efecto del término de corrección de error puede despreciarse. En definitiva, estamos suponiendo que la senda futura de las desviaciones en el corto plazo es conocida y prácticamente igual a cero desde $t+1$ hasta $t+s$.

puesto que $\Theta_0 = I_{2 \times 1}$; esta ecuación es la que permite evaluar la contribución de cada una de las perturbaciones del modelo estructural a la varianza del error de predicción.

La Ilustración 4.37 recoge gráficamente las funciones de repuesta a un impulso normalizadas para cada mercado, mientras que la Tabla 4.31 muestra la descomposición de la varianza. La Ilustración 4.37 pone de manifiesto que la reacción del mercado de futuros ante un *shock* unitario en el mercado de contado desaparece pasado un periodo, característica que no se aprecia en la comparación alternativa. A partir de la Tabla 4.31 puede observarse que la contribución de la perturbación de la innovación del mercado de futuros en la varianza del error de predicción del mercado de contado está en torno al 85%, mientras que la segunda de las columnas revela la prácticamente inexistente aportación del mercado de contado en la varianza del error de predicción para el mercado de futuros. En definitiva, ambos estadísticos confirman la evidencia anterior acerca de la existencia de una relación de causalidad unidireccional desde el mercado de futuros hacia el mercado de contado.

(Insertar Tabla 4.31)

(Insertar Ilustración 4.37)

En resumen, a partir de la evidencia empírica encontrada utilizando la metodología de modelos multivariantes de corrección de error sobre una medida de volatilidad basada en las varianzas incondicionales de los precios (cada 5 minutos) a lo largo de cada día de negociación, la pauta de comportamiento observada es de unidireccionalidad desde el mercado de futuros hacia el mercado de contado. Esto difiere de la relación de causalidad bidireccional para las series de rendimientos generados a intervalos de 5 minutos en el Capítulo 3. Asimismo los resultados sugieren que la existencia del mercado de futuros es fundamental a la hora de cubrir las posiciones de contado, de forma que no sería adecuada la imposición por parte de las instituciones reguladoras de excesivos límites al volumen de negociación en el primero de los mercados citados.

4.5.2. Resultados a partir de un vector de corrección de error con perturbaciones heterocedásticas sobre rendimientos horarios.

En esta subsección se lleva a cabo el análisis de la relación de causalidad entre la volatilidad del mercado de futuros y la volatilidad del mercado de contado a partir de una línea metodológica diferente a la presentada en la Sección anterior. En particular, se analizan

los resultados procedentes de la estimación del modelo de corrección de error bivalente con perturbaciones heterocedásticas presentado en la Sección 4.2. Como ya se ha comentado anteriormente, la estimación del modelo se ha efectuado a partir de la muestra de rendimientos horarios. Esta frecuencia permite analizar cómo interactúan las volatilidades de ambos mercados no sólo a lo largo de la semana, sino también *dentro* del día de negociación. Si bien el Capítulo 3 de esta Tesis Doctoral se ha dedicado en profundidad al estudio de la relación de causalidad entre los rendimientos de ambos mercados, a partir de datos de muy alta frecuencia (cada cinco minutos), el modelo anterior permite volver a analizar esta cuestión sobre datos horarios a la vez que se puede obtener evidencia empírica acerca de las características de la relación de causalidad entre las volatilidades de los dos mercados. Por tanto el estudio que se presenta en esta subsección es interesante en la medida que permite abordar el estudio de la relación causalidad entre rendimientos y volatilidad de forma conjunta; pero por otro lado el análisis es asimismo relevante por dos aspectos cualitativos: a) permite calibrar la importancia que tiene la frecuencia de observación muestral cuando se pretende estudiar la capacidad predictiva de los rendimientos del mercado sobre los rendimientos del mercado de futuros, así como la existente en sentido contrario. En este sentido, los resultados son susceptibles de ser comparados con las pautas de comportamiento inferidas en el Capítulo 3, y b) permite evaluar la sensibilidad de los resultados inferidos en la subsección 4.5.1, tanto a la medida de volatilidad utilizada como al tipo de metodología empleada, con objeto de analizar la relación de causalidad entre las volatilidades de ambos mercados.

El modelo estimado, que ha sido presentado en la subsección 4.2.2.3 revela las siguientes características acerca de la dinámica de los rendimientos y la volatilidad del mercado de futuros sobre el Ibex 35:

- a) existe una relación de causalidad unidireccional en los rendimientos, desde el mercado de futuros hacia el mercado de contado. Teniendo en cuenta que la frecuencia de observación es horaria, ello pone de manifiesto que el *adelanto* predictivo desde el mercado de contado hacia el mercado de contado es inferior a los 60 minutos. Este resultado es coherente con los obtenidos en el Capítulo 3 de esta Tesis Doctoral. De hecho, como se comentó en dicho Capítulo 3, los estudios existentes en la literatura generalmente encuentran relaciones bidireccionales entre los rendimientos a partir de datos *intradía* de muy alta frecuencia (cada 5 minutos, cada minuto), mientras que los análisis efectuados con datos de cierre tienden a encontrar relaciones unidireccionales desde el mercado de futuros sobre el mercado de contado,

- b) el factor de corrección de error únicamente es significativo en la ecuación del mercado de contado, lo que implica que es el mercado de futuros el que juega el papel relevante para reajustar el sistema ante la ocurrencia de desviaciones en el corto plazo,
- c) existe un comportamiento estacional en la volatilidad, tanto del mercado de futuros como del mercado de contado, probablemente como consecuencia de la existencia de una mayor profundidad de mercado al inicio y al final del periodo de negociación. Este aspecto cualitativo en el comportamiento de los mercados es coherente con el estudio *intradía* acerca del comportamiento de la volatilidad expuesto en la Sección 4.3, y
- d) la relación de causalidad entre las volatilidades es unidireccional, desde el mercado de futuros hacia el mercado de contado. Este resultado es similar al detectado en la Sección anterior, en la que la inferencia estaba basada en la estimación de un Vector bivariante de corrección sobre los cambios de volatilidad diaria, la cual es medida a partir de los coeficientes de variación de las series de precios cada cinco minutos disponibles cada día.

En resumen, los resultados presentados en esta subsección ponen de manifiesto que la frecuencia de los datos utilizados es un elemento crucial cuando se pretende inferir si existe una capacidad predictiva tanto de los rendimientos del mercado de contado sobre los rendimientos del mercado de futuros como la existente en el sentido contrario.

Por otro lado, la relación de causalidad entre las volatilidades de ambos mercados se revela claramente unidireccional, desde el mercado de futuros hacia el mercado de contado siendo este resultado robusto tanto a la medida de volatilidad utilizada como a la metodología econométrica empleada. Este resultado sugiere que el mercado de futuros tiene una mayor capacidad para incorporar en la dinámica operativa la llegada de nueva información al mercado. Esta característica puede ser reveladora de la importancia del mercado de futuros como instrumento de cobertura. Ante la ocurrencia de *shocks*, es más eficiente operar en el mercado de derivados en donde el activo subyacente es un fiel reflejo de la evolución de la Bolsa en su conjunto, que hacerlo en el mercado de activos individuales, ya que la capacidad de reacción es mucho mayor y el ahorro en costes de transacción es significativo.

4.6. UTILIDAD DEL CONTRATO DE FUTURO COMO INSTRUMENTO PARA LA COBERTURA DEL RIESGO.

4.6.1. Introducción.

La excelente aceptación de los instrumentos derivados por parte del sistema financiero español ha aumentado considerablemente las posibilidades operativas con carteras de renta variable. En particular, desde Enero de 1992, existe la posibilidad de negociar contratos de futuros con el índice Ibex 35 como activo subyacente, instrumento derivado especialmente relevante a la hora de efectuar cobertura sobre carteras de renta variable, ya sea a) con el objetivo de acotar inferiormente el nivel de pérdidas a partir de un determinado momento, o b) con el propósito de asegurar el valor de mercado de una cartera que, en el momento de efectuar la cobertura, posee un valor de mercado superior al que tenía cuando se compró. El valor del ratio de cobertura determina el número de contratos precisos para tomar la posición contraria a la que se tiene en el mercado de contado. En la práctica, los operadores calculan este ratio a través del cociente entre el valor de la cartera a cubrir y el nominal del contrato de futuros, ponderado por la *beta* de la cartera que se pretende inmunizar.

Con objeto de proceder a la estimación del ratio de cobertura, inicialmente se propuso en la literatura sobre mercados de futuros, la utilización de regresiones a partir de muestras de precios, cambios en los precios y rendimientos de ambos mercados (véase, por ejemplo Ederington (1979)). Recientemente el tratamiento de la elección del ratio de cobertura óptimo ha señalado fundamentalmente tres cuestiones relevantes acerca de la metodología inicialmente planteada: a) la existencia de una relación de equilibrio a largo plazo entre los precios del mercado de futuros y los precios del mercado del contado, es una característica que debe ser incorporada al especificar el modelo econométrico a partir del cual los ratios de cobertura serán estimados; véase por ejemplo Ghosh (1993), Lien y Luo (1993) o, más recientemente, Lien (1996); b) lo mismo ocurre con la evidencia empírica acerca de la *heterocedasticidad condicional autorregresiva para las series de rendimientos de los mercados*. Si las distribuciones condicionales difieren de las distribuciones incondicionales, no tiene sentido plantear el estimar un ratio de cobertura constante, puesto que tanto la varianza condicional del mercado de futuros como la covarianza condicional entre los precios de ambos mercados serán cambiantes en el tiempo, y c) las características de la estructura de la relación de causalidad

entre los precios de ambos mercados²⁸, pueden introducir sesgos en la estimación convencional de los ratios de cobertura (ver por ejemplo Theobald y Yallup (1997)).

Bajo determinados supuestos, tal y como explicitaremos en el modelo teórico que se presenta en la subsección 4.6.2, la regla de cobertura óptima es simple: el ratio de cobertura es igual al cociente entre la covarianza condicional entre los rendimientos del mercado de futuros y los rendimientos del mercado de contado y la varianza condicional de los rendimientos del mercado de futuros, que es equivalente al ratio anteriormente comentado pero teniendo en cuenta la presencia de heterocedasticidad condicional.

A continuación procedemos a exponer un modelo, que guarda una gran similitud con el que ha sido estimado en este trabajo, el cual pretende ilustrar la importancia de dos de las cuestiones anteriormente señaladas. En particular, el modelo sugiere que si un operador ignora la relación de cointegración entre los precios de ambos mercados el ratio de cobertura que obtenga será sesgado con relación al que se tendría incorporando dicha relación de equilibrio a largo plazo. Además el modelo muestra que bajo la presencia de innovaciones heterocedásticas en la ecuación que representa la evolución dinámica de las series de rendimientos, el error cometido al cubrir la posición de contado es relativamente menor cuando el mercado de futuros es fuertemente volátil.

El modelo que se presenta es una extensión del propuesto por Lien (1996) en el sentido que ahora se permite la existencia de perturbaciones heterocedásticas en el modelo de la media. Denominemos $s_t = \ln\left(\frac{S_t}{S_{t-1}}\right)$ y $f_t = \ln\left(\frac{F_t}{F_{t-1}}\right)$, donde las mayúsculas representan las series de precios en niveles del mercado de contado y el mercado de futuros respectivamente. Consideremos que la evolución dinámica conjunta de los rendimientos de ambos mercados puede representarse a través del siguiente modelo de corrección de error con perturbaciones heterocedásticas:

$$s_t = \alpha u_{t-1} + \varepsilon_{1,t} \tag{39}$$

$$f_t = \beta u_{t-1} + \varepsilon_{2,t} \tag{40}$$

²⁸ Generalmente la evidencia empírica sugiere que el mercado de futuros reacciona más rápidamente ante el flujo de información que llega al mercado.

$$u_{t-1} = \ln S_{t-1} - [\theta_1 - \theta_2 \ln F_t] \quad (41)$$

donde u_{t-1} son las desviaciones del sistema respecto del equilibrio a largo plazo, retardadas un periodo, y $Cov(\varepsilon_{1t}, u_{t-1} / \Xi_t) = Cov(\varepsilon_{2t}, u_{t-1} / \Xi_t) = 0$, siendo Ξ_t el conjunto de información disponible en el periodo t . Además, supongamos que: $\varepsilon_t / \Xi_{t-1} \sim N(0_{2 \times 1}, \Sigma_t)$, así como que la dinámica para los tres elementos relevantes de la matriz de varianzas y covarianzas condicional puede representarse a través de las siguientes ecuaciones²⁹:

$$h_{s,t} = \sigma_s^2 + \delta_1 \varepsilon_{1,t-1}^2 + \gamma_1 h_{s,t-1} \quad \sigma_s^2 > 0, \delta_1 > 0, 0 < \gamma_1 < 1 \quad (42)$$

$$h_{f,t} = \sigma_f^2 + \delta_2 \varepsilon_{2,t-1}^2 + \gamma_2 h_{f,t-1} \quad \sigma_s^2 > 0, \delta_2 > 0, 0 < \gamma_2 < 1 \quad (43)$$

$$h_{sf,t} = \sigma_{sf} \quad \forall t \quad (44)$$

Como veremos en la siguiente subsección, el ratio de cobertura que minimiza el riesgo derivado de fluctuaciones en los precios de mercado, es el cociente entre la covarianza condicional entre las variaciones de los precios del mercado de contado y el mercado de futuros, y la varianza condicional de los cambios en los precios del mercado de futuros, es decir:

$$B_{t-1}^* = \frac{Cov(\Delta f_t; \Delta s_t / \Xi_{t-1})}{Var((\Delta f_t / \Xi_{t-1}))} \quad (45)$$

Para un operador que no tiene en cuenta la dinámica del sistema en el corto plazo, es decir que ignora la presencia del término de corrección de error en la ecuación (39) y (40), la expresión de la covarianza condicional entre los rendimientos de ambos mercados será igual a:

$$Cov(\Delta f_t; \Delta s_t / \Xi_{t-1}) = Cov(\beta u_{t-1} + \varepsilon_{2,t}; \alpha u_{t-1} + \varepsilon_{1,t} / \Xi_{t-1}) = \alpha \beta Var(u_{t-1} / \Xi_{t-1}) + \beta Cov(u_{t-1}; \varepsilon_{1,t} / \Xi_{t-1}) + \alpha Cov(u_{t-1}; \varepsilon_{2,t} / \Xi_{t-1}) + Cov(\varepsilon_{1,t}; \varepsilon_{2,t} / \Xi_{t-1}) = \alpha \beta \sigma_u^2 + \sigma_{s,f} \quad (46)$$

²⁹ $h_{s,t}$, $h_{f,t}$ y $h_{sf,t}$ denotan respectivamente la varianza condicional del mercado de contado, la varianza condicional del mercado de futuros y la covarianza condicional entre los dos mercados.

puesto que si las series de precios están cointegradas, entonces los residuos de la ecuación de cointegración deben ser estacionarios en media y varianza. Por tanto, el ratio de cobertura óptimo en el instante de tiempo $t-1$ para el operador *miope* será igual a:

$$B_{t-1}^{NC} = \frac{\alpha \beta \sigma_u^2 + \sigma_{sf}}{h_{f,t}} = \frac{\alpha \beta \sigma_u^2 + \sigma_{sf}}{\sigma_f^2 + \delta_2 \varepsilon_{2,t-1} + \gamma_2 h_{f,t-1}} \quad (47)$$

Por otro lado, es claro entonces, que para un operador que considera el modelo correctamente especificado, es decir el modelo dado por las ecuaciones (39) a (44), la expresión del ratio de cobertura óptimo en el periodo $t-1$ queda como sigue:

$$B_{t-1}^C = \frac{\alpha \beta \sigma_u^2 + \beta \sigma_{sf}}{h_{f,t}} = \frac{\sigma_{sf}}{\sigma_f^2 + \delta_2 \varepsilon_{2,t-1} + \gamma_2 h_{f,t-1}} \quad (48)$$

ya que dicho agente es consciente de la presencia del término u_{t-1} , el cual pertenece al conjunto de información utilizado a la hora de evaluar los segundos momentos condicionales relevantes.

Por tanto, a partir de las ecuaciones (47) y (48) la diferencia entre los ratios de ambos tipos de agentes es igual a:

$$B_{t-1}^{NC} - B_{t-1}^C = \frac{\alpha \beta \sigma_u^2}{h_{f,t}} = \frac{\alpha \beta \sigma_u^2}{\sigma_f^2 + \delta_2 \varepsilon_{2,t-1} + \gamma_2 h_{f,t-1}} \quad (49)$$

Si las series de los logaritmos de los precios están cointegradas, entonces ambos mercados deben reaccionar en sentido contrario ante a una desviación del equilibrio a largo plazo. Bajo una especificación de la ecuación de cointegración en la que se impone causalidad desde el mercado de futuros hacia el mercado de contado, ante la presencia de una desviación positiva, la variable del lado derecho en la ecuación de cointegración (el logaritmo del precio del mercado de futuros) debe aumentar o por el contrario la variable endógena disminuir³⁰. Análogamente, ante una desviación negativa la variable exógena de la ecuación de cointegración debe disminuir y el logaritmo del *precio* del mercado de contado aumentar. Es

decir los parámetros asociados al término de corrección deben poseer signos opuestos, por lo que la diferencia expresada en (49) debe ser negativa. En consecuencia un operador que no tiene en cuenta la existencia de una relación de equilibrio a largo plazo entre los precios de ambos mercados, y especifica de forma errónea la modelización para la evolución temporal conjunta de ambos mercados, no efectúa una cobertura óptima, pues tomará una posición en el mercado de futuros con un número de contratos inferior al que sugiere el modelo correctamente especificado.

La introducción en el modelo de perturbaciones heterocedásticas hace interesante asimismo analizar cómo afecta la volatilidad del mercado de futuros al diferencial entre los ratios de cobertura de ambos tipos de agentes. A partir de (49) se tiene que:

$$\frac{\partial (B_{t-1}^{NC} - B_{t-1}^C)}{\partial \varepsilon_{2,t-1}^2} = \frac{-\alpha \beta \delta_2 \sigma_u^2}{(\sigma_f^2 + \delta_2 \varepsilon_{2,t-1}^2 + \gamma_2 h_{f,t-1})^2} > 0 \quad (50)$$

$$\frac{\partial (B_{t-1}^{NC} - B_{t-1}^C)}{\partial h_{f,t-1}} = \frac{-\alpha \beta \gamma_2 \sigma_u^2}{(\sigma_f^2 + \delta_2 \varepsilon_{2,t-1}^2 + \gamma_2 h_{f,t-1})^2} > 0 \quad (51)$$

puesto que como se ha señalado anteriormente los parámetros α y β deben poseer signos contrarios bajo la existencia de una relación de cointegración entre los precios del mercado de contado y los precios del mercado de futuros.

Dado que las varianzas condicionales son un indicador del *tamaño* del cuadrado de las innovaciones del modelo de la media, los signos positivos de ambas derivadas sugieren que en periodos sujetos a fuertes fluctuaciones la distancia (negativa) entre los ratios de cobertura de ambos agentes tiende a incrementarse, es decir es en los periodos más volátiles cuando el operador que trabaja con el modelo que omite como *input* significativo las desviaciones del sistema en el corto plazo comete un error relativamente menor al efectuar la operación de cobertura.

³⁰ Recuérdese que la evidencia empírica pone de manifiesto que $\hat{u}_t \cong \ln \left(\frac{S_t}{F_t} \right)$.

Como veremos más adelante, en la subsección 4.6.4, la cual presenta los resultados de los ejercicios de simulación de cobertura a partir de los precios de mercado, la incorporación de las dos cuestiones citadas anteriormente, (existencia de una relación de equilibrio a largo plazo entre los precios del mercado de futuros y los precios del mercado de contado, y presencia de varianzas y covarianzas cambiantes en el tiempo en los rendimientos de ambos mercados) es de suma importancia al efectuar operaciones de cobertura a través del mercado de futuros sobre el Ibex 35.

4.6.2. La Regla de cobertura óptima.

Si bien existen trabajos en la literatura que han planteado el problema de la elección del ratio de cobertura óptimo en un contexto multiperiodo, como por ejemplo Howard y D'Antonio (1991), o Lien y Luo (1993), otros trabajos se han dedicado a evaluar el comportamiento de la regla de cobertura que subyace a modelos de dos periodos como, por ejemplo, Myers (1991) y Park y Switzer (1995). La regla de cobertura multiperiodo bajo la presencia de heterocedasticidad condicional autorregresiva ha sido estudiada por Lien y Luo (1994). No obstante, la evaluación de esta regla de cobertura presenta una dificultad importante, ya que el ratio de cobertura óptimo en cada momento del tiempo t , depende de cómo espera el inversor que se van a relacionar los cambios en los precios del mercado de futuros y los ratios de cobertura entre t y $t+1$ ³¹. El modelo considerado en este trabajo es un modelo de dos periodos similar al propuesto por Myers (1991), pero extiende a éste en una cuestión relevante: este autor supone que el rendimiento esperado para el contrato de futuros es aproximadamente igual a cero, una cuestión que si bien podría ser aceptable con datos de alta frecuencia resulta difícil de mantener con datos semanales, que son los utilizados por dicho autor³². En este sentido, los supuestos utilizados en esta Tesis Doctoral son coherentes con la evidencia empírica existente al respecto: a) existencia de un alto grado de correlación entre los rendimientos del

³¹ Como muestran Lien y Luo (1994) la regla de cobertura, considerando como exógena la secuencia de posiciones mantenidas en el mercado de contado satisface la siguiente relación recursiva:

$$b_k = \frac{-Cov_k(\Delta p_{k+1}; \Delta f_{k+1})}{Var_k(\Delta f_{k+1})} - \sum_{t=k+1}^{T-1} \frac{E_k(S_t)}{S_k} \frac{Cov(\Delta f_{k+1}; \Delta p_{t+1} + b_t \Delta f_{t+1})}{Var_k(\Delta f_{k+1})},$$

donde b representa el ratio de cobertura, p y f , los precios del mercado de contado y futuros respectivamente, S la posición de contado, y $T-k$ el horizonte de cobertura. Como puede observarse la recursividad es desde T hasta k pero no al revés.

³² Además Myers (1991) no proporciona evidencia empírica acerca de este supuesto.

mercado de futuros y los del mercado de contado, y b) los rendimientos esperados para ambos mercados son muy similares.

Consideremos un inversor que en el periodo $t-1$ se plantea invertir una parte de su riqueza en un activo con riesgo existente en la economía, pero además tiene la posibilidad de cubrir la inversión realizada tomando una posición en el mercado de futuros, en donde el activo subyacente es dicho activo con riesgo, de forma que se negocian contratos con vencimiento en t . Supongamos que no existen costes de transacción³³, y que la toma de posiciones en el mercado de futuros no requiere ningún desembolso de riqueza, es decir, suponemos además que no existen los depósitos en garantía. El inversor posee una función de utilidad von Neumann-Morgenstern, definida sobre el periodo t , que suponemos estrictamente creciente, estrictamente cóncava y dos veces diferenciable. El problema de optimización al que se enfrenta el inversor es entonces el siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Max} \quad & E[U(W_t) / \Xi_{t-1}] \equiv E_{t-1}[U(W_t)] \\ & \{B_{t-1}, S_{t-1}\} \end{aligned}$$

$$s.a. \quad W_t = (1+r) W_{t-1} + S_{t-1} [p_t - (1+r) p_{t-1}] + (f_t - f_{t-1}) B_{t-1}$$

donde W_t es la riqueza al final del periodo t ; W_{t-1} es el nivel inicial de riqueza; Ξ_{t-1} representa el conjunto de información disponible al comienzo del periodo $t-1$; r es el tipo de interés del activo sin riesgo; p_{t+1} y f_{t+1} denotan los precios (estocásticos) del activo con riesgo y del contrato de futuros en el periodo final, mientras que p_t y f_t denotan los respectivos precios en el periodo inicial. S_{t-1} es la cantidad invertida en el activo con riesgo. B_{t-1} es la cantidad invertida en el mercado de futuros, o vendida si es negativa.

Las condiciones necesarias o de primer orden para el problema de optimización son las siguientes:

$$E_{t-1} \left\{ U'(W_t) [p_t - (1+r) p_{t-1}] \right\} = 0 \tag{52}$$

³³ La incorporación de costes de transacción, si bien es trivial en el modelo, no altera en absoluto los resultados cualitativos que se obtienen a partir del mismo.

$$E_{t-1}\{U'(W_t)(f_t - f_{t-1})\} = 0 \quad (53)$$

La condición suficiente o de segundo orden requiere la evaluación de la matriz de segundas derivadas o matriz *Hessiana* en el vector (B_{t-1}^*, S_{t-1}^*) candidato a óptimo. Esta matriz es igual a:

$$H = \begin{pmatrix} E_{t-1}U''(W_t)(p_t - (1+r)p_{t-1})^2 & E_{t-1}U''(W_t)(f_t - f_{t-1})(p_t - (1+r)p_{t-1}) \\ E_{t-1}U''(W_t)(f_t - f_{t-1})(p_t - (1+r)p_{t-1}) & E_{t-1}U''(W_t)(f_t - f_{t-1})^2 \end{pmatrix}$$

que también puede expresarse matricialmente de la siguiente forma:

$$H = E_{t-1} \left[U''(W_t) \begin{pmatrix} p_t - (1+r)p_{t-1} \\ f_t - f_{t-1} \end{pmatrix} (p_t - (1+r)p_{t-1}; f_t - f_{t-1}) \right],$$

la cual es una matriz definida negativa siempre, puesto que $U''(W_t) < 0$. Por tanto las condiciones de primer orden identifican un máximo global del problema de optimización.

Teniendo en cuenta que la covarianza entre dos variables se puede expresar como el valor esperado del producto de dichas variables menos el producto de los valores esperados de cada una de ellas, podemos escribir (52) y (53):

$$E_{t-1}[U'(W_t)]E_{t-1}[p_t - (1+r)p_{t-1}] + Cov_{t-1}[U'(W_t), p_t - (1+r)p_{t-1}] = 0 \quad (54)$$

$$E_{t-1}[U'(W_t)]E_{t-1}[f_t - f_{t-1}] + Cov_{t-1}[U'(W_t), f_t - f_{t-1}] = 0 \quad (55)$$

y, dado que $p_{t-1}, f_{t-1} \in \Xi_{t-1}$ las ecuaciones (54) y (55) quedan:

$$E_{t-1}[U'(W_t)]r_{t-1}^p + Cov_{t-1}[U'(W_t), p_t] = 0 \quad (56)$$

$$E_{t-1}[U'(W_t)]r_{t-1}^f + Cov_{t-1}[U'(W_t), f_t - f_{t-1}] = 0 \quad (57)$$

donde $r_{t-1,t}^p = E_{t-1}[p_t] - (1+r)p_{t-1}$ y $r_{t-1,t}^f = E_{t-1}[f_t] - f_{t-1}$. Supongamos que la distribución de probabilidad multivariante de (W_t, p_t, f_t) condicional al conjunto de información disponible en el periodo inicial es Normal. Aplicando el resultado obtenido por Rubinstein (1976)³⁴ se tiene que:

$$E_{t-1}[U'(W_t)]r_{t-1,t}^p + [E_{t-1}U''(W_t)]Cov_{t-1}[W_t, p_t] = 0 \quad (58)$$

$$E_{t-1}[U'(W_t)]r_{t-1,t}^f + [E_{t-1}U''(W_t)]Cov_{t-1}[W_t, f_t] = 0 \quad (59)$$

Obtengamos a continuación las dos covarianzas condicionales que aparecen en (58) y (59). Haciendo uso de la restricción presupuestaria se tiene que:

$$Cov_{t-1}(W_t, p_t) = Cov_{t-1}[(1+r)W_{t-1} + S_{t-1}[p_t - (1+r)p_{t-1}] + \Delta f_t B_{t-1}, p_t] = S_{t-1}Var_{t-1}p_t + B_{t-1}Cov_{t-1}(f_t, p_t) \quad (60)$$

$$Cov_{t-1}(W_t, p_t) = Cov_{t-1}[(1+r)W_{t-1} + S_{t-1}[p_t - (1+r)p_{t-1}] + \Delta f_t B_{t-1}, f_t] = S_{t-1}Cov_{t-1}(f_t, p_t) + B_{t-1}Var_{t-1}f_t \quad (61)$$

Por tanto, las ecuaciones (58) y (59) pueden expresarse de la siguiente forma:

$$E_{t-1}[U'(W_t)]r_{t-1,t}^p + E_{t-1}U''(W_t)[S_{t-1}Var_{t-1}p_t + B_{t-1}Cov(p_t, f_t)] = 0 \quad (62)$$

$$E_{t-1}[U'(W_t)]r_{t-1,t}^f + E_{t-1}U''(W_t)[B_{t-1}Var_{t-1}f_t + S_{t-1}Cov_{t-1}(p_t, f_t)] = 0 \quad (63)$$

Matricialmente, las ecuaciones (62) y (63) pueden escribirse:

$$E_{t-1}[U'(W_t)] \begin{pmatrix} r_{t-1,t}^p \\ r_{t-1,t}^f \end{pmatrix} + E_{t-1}[U''(W_t)] \begin{pmatrix} Var_{t-1}p_t & Cov_{t-1}(f_t, p_t) \\ Cov_{t-1}(f_t, p_t) & Var_{t-1}f_t \end{pmatrix} \begin{pmatrix} S_{t-1} \\ B_{t-1} \end{pmatrix} = 0_{2 \times 1} \quad (64)$$

³⁴ Sea una variable aleatoria bivalente $(X, Y) \sim N(\mu_{2 \times 1}, \Sigma)$, y sea $g(\cdot)$ una función diferenciable,

(... Continúa)

Por tanto, la solución para las variables de decisión vendrá dada por:

$$\begin{pmatrix} S_{t-1}^* \\ B_{t-1}^* \end{pmatrix} = \frac{1}{|\Sigma_{t/t-1}|} \begin{pmatrix} Var_{t-1} f_t & -Cov_{t-1}(f_t, p_t) \\ -Cov_{t-1}(f_t, p_t) & Var_{t-1} p_t \end{pmatrix} \left[E_{t-1} \left[-\frac{U'(W_t)}{U''(W_t)} \right] \right] \begin{pmatrix} r_{t-1,t}^p \\ r_{t-1,t}^f \end{pmatrix} \quad (65)$$

donde $\Sigma_{t/t-1}$ es la matriz de varianzas y covarianzas del vector de precios (p_t, f_t) condicional al conjunto de información disponible en $t-1$, que aparece en el segundo sumando de (64). A partir de (65) se tiene:

$$\frac{B_{t-1}^*}{S_{t-1}^*} = \frac{Cov_{t-1}(f_t; p_t) r_{t-1,t}^p - Var_{t-1}(p_t) r_{t-1,t}^f}{Cov_{t-1}(f_t; p_t) r_{t-1,t}^f - Var_{t-1}(f_t) r_{t-1,t}^p} \quad (66)$$

Myers (1991) supone que $r_{t-1,t}^f \cong 0$, hipótesis que tal y como señalábamos anteriormente es bastante discutible cuando se trabaja con datos de frecuencia semanal. Por ejemplo, para el mercado español, el valor medio de la serie de cambios en los precios en el mercado de futuros a partir de precios medios de cada día es igual, respectivamente, a: i) lunes: 8,55 puntos básicos (p.b.), ii) martes: 7,98 p.b., iii) miércoles: 8,15 p.b., iv) jueves: 8,69 p.b. y v) viernes: 9,49 p.b.. En este trabajo se utilizan datos horarios del mercado de futuros sobre el Ibex 35, a lo largo de un periodo muestral que comprende tres años de mercado, desde el 20 de Diciembre de 1993 hasta el 20 de Diciembre de 1996. De hecho el contrastes de significatividad sobre la media para las distribuciones de rendimientos semanales, a través del cociente entre la media muestral y la raíz cuadrada de la cuasivarianza muestral dividida por el tamaño de la muestra, conduce sistemáticamente al rechazo de la hipótesis nula³⁵ para todos los días de la semana.

La existencia de arbitrajistas en el mercado mantiene el diferencial entre el precio teórico del contrato de futuros y el precio cotizado dentro de unas bandas de no arbitraje. Estadísticamente, este hecho tiene dos consecuencias: a) los rendimientos del mercado de contado y los del mercado de futuros son muy similares, siendo su diferencia teórica (sobre la base del modelo de valoración *Cost of Carry*) igual al diferencial entre el tipo

entonces: $Cov(g(X), Y) = E[g'(X)]Cov(X, Y)$

³⁵ Recuérdese que en la sección 4.4 se obtuvo evidencia empírica acerca del carácter Normal de dichas distribuciones de rendimientos semanales.

de interés sin riesgo y la tasa de acumulación de dividendos (de los activos que entran en la composición del índice), entre la fecha de valoración y la fecha de vencimiento del contrato de futuros. Esta diferencia es inapreciable con datos horarios, y b) la correlación entre los precios de ambos mercados es muy alta³⁶. Teniendo en cuenta estas dos ideas podemos reescribir la ecuación (66):

$$-\frac{B_{t-1}^*}{S_{t-1}^*} = \frac{Cov_{t-1}(f_t; p_t) \frac{r_{t-1,t}^p}{r_{t-1,t}^f}}{Var_{t-1}f_t} + A_{t-1,t} \quad (67)$$

donde:

$$A_{t-1,t} = \frac{Var_{t-1}f_t \frac{r_{t-1,t}^p}{r_{t-1,t}^f} \left[\frac{r_{t-1,t}^p}{r_{t-1,t}^f} - 1 \right] - Cov_{t-1}^2(f_t; p_t) \left[\frac{r_{t-1,t}^p}{r_{t-1,t}^f} - \frac{1}{\rho_{t|t-1}^2} \right]}{\left[Cov_{t-1}(f_t; p_t) - Var_{t-1}(f_t) \frac{r_{t-1,t}^p}{r_{t-1,t}^f} \right] Var_{t-1}f_t} \quad (68)$$

siendo $\rho_{t|t-1} = \frac{Cov_{t-1}(f_t; p_t)}{\sqrt{(Var_{t-1}f_t)Var_{t-1}p_t}}$, es decir, el coeficiente de correlación condicional al

conjunto de información disponible en el periodo $t-1$, entre los precios del mercado de futuros

y los precios del mercado de contado. Si $\frac{r_{t-1,t}^p}{r_{t-1,t}^f} \cong 1$ y además $|\rho_{t|t-1}| \cong 1$, entonces $A_{t-1,t} \cong 0$ y el

ratio de cobertura óptimo adopta la expresión:

$$B_{t-1}^* = -\frac{Cov_{t-1}(f_t; p_t)}{Var_{t-1}f_t} S_{t-1}^* \quad (69)$$

la cual pone de manifiesto que la cobertura sobre una posición compradora (*larga*) en el mercado de contado exige la venta de contratos de futuros (posición corta en dicho mercado) mientras que, por el contrario, la cobertura sobre una posición *corta* en el mercado *spot*, pasa por adoptar una posición *larga* en el mercado de futuros. Como vamos a ver, la regla de cobertura expresada en la ecuación (69) es asimismo la que minimiza la varianza condicional

³⁶ Recuérdese que bajo los supuestos incorporados en el modelo de valoración *Cost of Carry* la correlación contemporánea entre los rendimientos del mercado de futuros y los del mercado de contado es, teóricamente, perfecta y positiva.

al conjunto de información en $t-1$ de la riqueza del agente en el periodo t . Por tanto, si identificamos el riesgo con la fluctuación experimentada por la riqueza, la regla de cobertura propuesta es la de mínimo riesgo. En efecto, podemos reescribir la restricción presupuestaria:

$$W_t = W_{t-1} + r(W_{t-1} - S_{t-1} p_{t-1}) + S_{t-1} \Delta p_t + B_{t-1} \Delta f_t \quad (70)$$

Teniendo en cuenta (70) es claro que:

$$Var_{t-1}(W_t) = S_{t-1}^2 Var_{t-1}(\Delta p_t) + B_{t-1}^2 Var_{t-1}(\Delta f_t) + 2 S_{t-1} B_{t-1} Cov_{t-1}(\Delta p_t; \Delta f_t).$$

Por tanto la condición necesaria para la resolución del siguiente problema de optimización:

$$\begin{aligned} &MIN Var_{t-1}(W_t) \\ &B_{t-1} \end{aligned}$$

viene dada por:

$$2[B_{t-1} Var_{t-1}(\Delta f_t) + S_{t-1} Cov_{t-1}(\Delta p_t; \Delta f_t)] = 0,$$

cuya resolución proporciona el siguiente ratio de cobertura candidato a óptimo:

$$B_{t-1}^* = - \frac{Cov_{t-1}(\Delta f_t; \Delta p_t)}{Var_{t-1}(\Delta f_t)} S_{t-1}. \quad (71)$$

Teniendo en cuenta que $p_{t-1}, f_{t-1} \in \Xi_{t-1}$ es claro que la expresión del ratio de cobertura óptimo dado por (71) es idéntica a la que anteriormente obtuvimos, que viene dada por (69). La expresión dada por (71) corresponde efectivamente a un mínimo global del problema, puesto que:

$$\frac{\partial^2 [Var_{t-1}(W_t)]}{\partial (B_{t-1})^2} = 2 Var_{t-1}(\Delta f_t) > 0.$$

4.6.3. Estimación del Ratio de Cobertura. El modelo *GARCH* frente a otras alternativas metodológicas.

Al evaluar la estrategia de cobertura dinámica anteriormente expuesta, es necesario estimar previamente la covarianza condicional entre los precios de ambos mercados así como la varianza condicional del mercado de futuros. Con objeto de estimar ratios de cobertura cambiantes en el tiempo se ha procedido a partir de tres líneas metodológicas alternativas. Todas ellas serán comparadas tomando como referencia la evolución real del mercado de contado.

El primero de los modelos considerados es el modelo bivalente de corrección con perturbaciones heterocedásticas que ha sido introducido en la Sección 4.2. Como ya se comentó anteriormente este modelo ha sido estimado sobre las series de rendimientos horarios³⁷, por lo que este modelo permite generar ratios de cobertura, asimismo con periodicidad horaria. No obstante, como se comentara más adelante, las simulaciones se han realizado de forma que la actualización de la posición de cobertura se revisa diariamente, al inicio de la sesión, por lo que el ratio considerado es el estimado a las 17:00 horas del anterior. A partir de este modelo se ha generado para cada instante de tiempo la estimación a horizonte un periodo (60 minutos) de: a) el coeficiente de correlación condicional y b) el cociente de rendimientos entre ambos mercados. El valor medio para el valor absoluto de la primera serie es igual a 0.87, mientras que el valor medio para la segunda es igual a 1.09 de ambas series. Por tanto, los dos supuestos incorporados en la Sección anterior (alto grado de correlación entre los precios de mercado y diferencias marginales entre los rendimientos de ambos cuando estos son calculados a lo largo de intervalos horarios) con objeto de derivar la regla de cobertura óptima expresada en (65) pueden considerarse no alejados de la realidad.

Además del modelo *GARCH* se han utilizado otras dos alternativas basadas en la metodología inicialmente propuesta por Ederington (1979), es decir, utilizando la econometría tradicional sobre las series de primeras diferencias de los precios.

³⁷ En la Sección 4.6.4 se explica cómo se recupera el ratio de cobertura óptimo a partir de la estimación de la matriz de varianzas - covarianzas condicional de las series de rendimientos, en lugar de las series de cambios en los precios.

A partir de las series de precios con una frecuencia de observación de 5 minutos, se efectúa la siguiente regresión para cada día de negociación³⁸:

$$\Delta p_t = \alpha + \beta \Delta f_t + \xi_t, \quad t = 1, 2, \dots, T_t \quad (72)$$

donde ξ_t es la perturbación del modelo, p_t y f_t denotan el valor del índice y el precio del contrato de futuros en el instante de tiempo t , respectivamente, siendo T_t el número de observaciones disponibles en el periodo de negociación t . Esta metodología es más restrictiva que la que se deriva de la utilización del modelo *GARCH*. Por un lado estamos imponiendo una relación de causalidad unidireccional en los rendimientos, desde el mercado de futuros hacia el mercado. Por otro, estamos estimando el mismo modelo para cada día, lo que, si bien permite considerar que la varianza de la innovación es distinta cada día, suponemos que permanece constante a lo largo del día de negociación. El ratio de cobertura estimado a partir del modelo (68) vendrá dado por la estimación de la pendiente del mismo.

La tercera de las alternativas consideradas es similar a la expuesta en el caso anterior, pero extiende a la misma al incorporar la existencia de una relación de equilibrio a largo plazo entre los logaritmos de los precios de ambos mercados³⁹. El modelo econométrico estimado en este caso es un modelo de corrección de error. Para ello, en una primera etapa, se procede a la estimación por Mínimos Cuadrados Ordinarios de la ecuación de cointegración o ecuación de equilibrio a largo plazo:

$$\ln p_t = \alpha + \beta \ln f_t + \xi_t, \quad t = 1, 2, \dots, T_t \quad (73)$$

En una segunda etapa, se estima el siguiente modelo econométrico de corrección de error:

$$\Delta p_t = \gamma_1 + \gamma_2 \Delta f_t + \theta (p_{t-1} - \alpha - \beta f_{t-1}) + u_t, \quad t = 1, 2, \dots, T_t \quad (74)$$

³⁸ Teóricamente, el número de observaciones disponibles para cada día de negociación es igual a 72, puesto que el horario de negociación considerado comprende desde las 11:00 horas hasta las 17:00 horas, es decir, un total de 6 horas. Si bien esto es así, en la práctica se pierde alguna observación como consecuencia de la disminución del grado de liquidez del contrato relevante, principalmente en el tramo central del día. En concreto, se dispone de 51.857 observaciones, lo que supone una pérdida, en media, de aproximadamente 2 observaciones por día.

donde la notación utilizada es análoga a la referida en b). Análogamente, la estimación del parámetro γ_2 cambiado de signo, será el ratio de cobertura considerado para el periodo de negociación t .

En la estimación de los modelos econométricos considerados en las dos alternativas metodológicas explicadas anteriormente, estamos interesados en la estimación puntual de la pendiente del modelo, de forma que no es una cuestión relevante la existencia de autocorrelación en los residuos. Si las perturbaciones del modelo están autocorrelacionadas, sabemos que las estimaciones son insesgadas y consistentes⁴⁰ aunque no eficientes, por lo que la estimación por Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO) no debe presentar en media una fuerte discrepancia respecto a la estimación puntual por Mínimos Cuadrados Generalizados (MCG). Por otro lado, las estimaciones por MCO de las pendientes de los modelos correspondientes a ambas alternativas para los 743 días de negociación disponibles en la muestra son significativas, por lo que los ratios de cobertura estimados por MCG, tenderán a proporcionar asimismo estimaciones significativas puesto que las varianzas estimadas bajo MCG serán menores que las generadas a partir de MCO.

4.6.4. Simulación de operaciones de cobertura.

A partir de las estimaciones de ratios de cobertura utilizando las tres alternativas metodológicas propuestas en la subsección anterior procedemos a la simulación de operaciones de cobertura con los 36 contratos con mayor nivel de liquidez disponibles en la muestra. Los resultados obtenidos son comparados tomando como marco de referencia la dinámica real del mercado, es decir, con relación a la evolución real experimentada por la riqueza del agente cuando éste no efectúa ningún tipo de cobertura sobre la posición de contado. El horizonte de cobertura considerado es igual al periodo de negociación que corresponde al contrato de próximo vencimiento, es decir, para cada contrato disponible el horizonte de cobertura considerado es, aproximadamente, igual a un mes. Al efectuar las simulaciones, se ha considerado que el agente mantiene constante la posición de contado, la cual ha sido arbitrariamente fijada en un nivel de 100, es decir, $S_t = 100 \forall t$. Dado que el modelo *GARCH* está estimado utilizando como información muestral las series de

³⁹ El Capítulo 3 de esta Tesis Doctoral proporciona evidencia empírica acerca de la existencia de una relación de cointegración entre los precios de ambos mercados.

⁴⁰ Si las variables explicativas están incorrelacionadas con el término de error.

rendimientos de los dos mercados, en lugar de las series de cambios en los precios, es necesario matizar cómo se recupera el ratio de cobertura óptimo al cierre de cada día. Para ello recordemos que para cualquier variable X :

$$\frac{X_t - X_{t-1}}{X_{t-1}} \approx \ln\left(\frac{X_t}{X_{t-1}}\right), \text{ cuando } X_t - X_{t-1} \approx 0.$$

Esta aproximación en el cálculo de tasas de variación puede considerarse adecuada en el caso de series de precios horarias, como sugieren las estadísticas descriptivas que se muestran en la Tabla 4.1 presentada en la Sección 4.2. En este caso se tiene que:

$$\frac{\text{Cov}_{t-1}(\Delta \ln p_t; \Delta \ln f_t)}{\text{Var}_{t-1}(\Delta \ln f_t)} = \frac{\frac{1}{p_{t-1} f_{t-1}} \text{Cov}_{t-1}(\Delta p_t; \Delta f_t)}{\frac{1}{f_{t-1}^2} \text{Var}_{t-1}(\Delta f_t)} = \frac{f_{t-1}}{p_{t-1}} \frac{\text{Cov}_{t-1}(\Delta p_t; \Delta f_t)}{\text{Var}_{t-1}(\Delta f_t)},$$

puesto que $p_{t-1}, f_{t-1} \in \Xi_{t-1}$. Por tanto:

$$\frac{\text{Cov}_{t-1}(\Delta p_t; \Delta f_t)}{\text{Var}_{t-1}(\Delta f_t)} = \frac{p_{t-1}}{f_{t-1}} \frac{\text{Cov}_{t-1}(\Delta \ln p_t; \Delta \ln f_t)}{\text{Var}_{t-1}(\Delta \ln f_t)}$$

Teniendo en cuenta que la posición de contado permanece constante con un valor arbitrario de 100, el número de contratos de futuros que el agente debe tomar (comprar si es positivo, vender si es negativo) es igual a 100 veces el ratio de cobertura. Además, la riqueza inicial del agente se ha fijado de forma arbitraria en $100 \times p_0$. Finalmente se ha adoptado un tipo de interés sin riesgo nulo, lo que si bien a priori reduce el coste de oportunidad de mantener una cartera, tiene como objetivo anular el posible sesgo procedente de no tener en cuenta la existencia de costes de transacción. Al respecto téngase en cuenta, que en la operativa real la toma de posiciones en el mercado de derivados sólo requiere el desembolso de las garantías exigidas por MEFF Renta Variable, por lo que el agente podría invertir en el activo sin riesgo la parte de renta disponible no asignada a ninguno de los dos mercados. En estas condiciones, la expresión de la riqueza alcanzada al final del periodo sobre el que se está efectuando la cobertura, vendrá dada por la siguiente expresión:

$$W_T = 100 \left[W_0 + \sum_{t=0}^{T-1} [(p_{t+1} - p_t) - B_t(f_{t+1} - f_t)] \right] \quad (75)$$

Como ya se ha comentado anteriormente, el procedimiento considerado para efectuar las simulaciones consiste en actualizar la posición de la cobertura al inicio de la sesión de negociación, en concreto a las 11:00 horas. Al evaluar el grado de eficacia de la operación de cobertura realizada a partir de la estimación del ratio con las diferentes alternativas metodológicas propuestas se han considerado dos estadísticos:

i) Exceso de rentabilidad relativa respecto al mercado, calculado como el cociente entre la proporción entre la riqueza final alcanzada bajo una determinada estimación del ratio de cobertura y la obtenida por el mercado (no cobertura), es decir:

$$\frac{W_T^j - W_T^{SC}}{W_T^{SC}},$$

donde j hace referencia a la metodología empleada en la estimación de los ratios de cobertura, que en adelante denominaremos cobertura *GARCH*, cobertura *OLS* y cobertura *ECM*. El superíndice *SC* denotan la ausencia de cobertura (Sin Cobertura).

ii) Exceso de volatilidad relativa respecto al mercado, en donde la volatilidad se ha estimado a partir del coeficiente de variación observado para las respectivas sendas de riqueza, es decir, a través del cociente entre la desviación típica y la media de la serie temporal de riqueza. Dicho exceso de volatilidad será igual a:

$$\frac{\sigma_T^j - \sigma_T^{SC}}{\sigma_T^{SC}},$$

donde los superíndices denotan los mismos aspectos señalados anteriormente. Cuanto mayores sean las fluctuaciones experimentadas por los precios del mercado el riesgo que conllevará el mantenimiento de la cartera de contado será también mayor, como consecuencia del mayor grado de incertidumbre acerca del valor de mercado que la posición global del agente tendrá en el corto plazo.

Las Ilustraciones 4.38 a 4.46 muestran los gráficos que reflejan la evolución de las sendas de riqueza correspondientes a la posición global para los 12 contratos con mayor nivel de liquidez cuyo vencimiento se produce a lo largo del periodo comprendido entre Enero 1993 y Diciembre de 1996. En cada gráfico aparece la evolución del mercado (posición no cubierta), así como la posición cubierta, en donde el ratio de cobertura óptimo ha sido estimado bajo tres especificaciones econométricas alternativas a) modelo de corrección de error con perturbaciones heterocedásticas, b) modelo de regresión lineal simple con perturbaciones homocedásticas dentro del día, y c) modelo de corrección de error con perturbaciones asimismo con innovaciones homocedásticas dentro del día. Estos gráficos revelan un aspecto cualitativo relevante: la cobertura realizada a partir de la estimación del ratio que subyace al modelo *GARCH*, es en general, la que consigue inmunizar en mayor medida el valor de la cartera frente a las fluctuaciones de los precios experimentadas por el mercado.

(Insertar Ilustraciones 4.38 a 4.46)

Las Tablas 4.32 a 4.37 recogen los valores numéricos de ambos estadísticos para cada uno de los 36 contratos disponibles en la muestra. Los resultados obtenidos ponen de manifiesto que la cobertura efectuada a partir de los ratios generados por la metodología *GARCH* es la más eficiente con relación a los estadísticos propuestos. En particular los datos revelan que en el 44% de los casos la cobertura *GARCH* obtiene un rendimiento superior al experimentado por el mercado, mientras que dicho porcentaje se reduce al 36% y 38% para la cobertura *ECM* y *OLS* respectivamente. Si bien este aspecto es cualitativamente interesante la operación de cobertura está diseñada no para el superar el rendimiento del mercado sino para reducir el riesgo de la posición de contado⁴¹. Y en este sentido, los resultados son contundentes. En el 80% de los casos la cobertura *GARCH* logra disminuir la volatilidad con relación a la volatilidad que habríamos observado sin cubrir la posición de contado. Este porcentaje es el mayor de las tres alternativas propuestas. En el caso de la cobertura *ECM* y *OLS* dicho porcentaje baja hasta el 63 y el 58% respectivamente.

(Insertar Tablas 4.32 a 4.37)

⁴¹ La cobertura perfecta sería aquella que lograra convertir la cartera de renta variable en una cartera de renta fija a lo largo del horizonte de cobertura.

Por otro lado, tiene interés generar las nubes de puntos que permiten relacionar la rentabilidad mensual bajo las diferentes alternativas de cobertura, con la rentabilidad del mercado, así como con la volatilidad del mismo. Son los gráficos 4.47 a 4.52, que aparecen en el Apéndice II. Puede observarse que los gráficos 4.47 y 4.48 muestran una nube de puntos, que sugiere una correlación positiva entre la rentabilidad del mercado y la rentabilidad bajo cobertura *OLS* y *ECM*, característica que deja de ser evidente cuando se observa el gráfico 4.49. En este sentido, la cobertura *GARCH* es la única que genera una práctica incorrelación entre el rendimiento bajo dicho tipo de cobertura y el correspondiente a la evolución del mercado. Por el contrario, las otras dos alternativas metodológicas generan correlación con la rentabilidad del mercado, lo que implica que la cobertura efectuada no logra filtrar adecuadamente el efecto de la tendencia de la Bolsa sobre el valor de mercado de la posición global. En particular, puede observarse visualmente una relación positiva entre la rentabilidad del mercado y la rentabilidad de la posición global.

Los gráficos 4.50 a 4.52 relacionan rentabilidad con volatilidad; a partir de ellos no se aprecia visualmente ningún tipo de relación, lo que implica que la cobertura efectuada a partir de los ratios generados bajo las tres alternativas metodológicas logra filtrar adecuadamente el efecto de las fluctuaciones de los precios sobre el valor de mercado de la posición global. En la línea de los gráficos anteriormente comentados, también es de gran interés analizar las nubes de puntos que relacionan los excesos de rentabilidad en relación de nuevo al rendimiento y la volatilidad experimentada por el mercado. Los gráficos 4.53 a 4.55 relacionan el exceso de rentabilidad relativa sobre la rentabilidad del mercado con esta última variable, poniéndose de manifiesto la existencia de una asimetría. Los pares de valores con una coordenada positiva de *X* (rentabilidad del mercado) son relativamente más abundantes que aquellos con coordenada negativa, siendo en los primeros la coordenada de *Y* (exceso de rentabilidad), en general, superior en valor absoluto. Ello simplemente pone de manifiesto que cuando la tendencia del mercado es al alza el llevar a cabo una operación de cobertura sobre una de contado *larga* no es adecuado. Los gráficos 4.56 a 4.58 presentan las nubes de puntos *XY* que relacionan la volatilidad del mercado con el exceso de rentabilidad, con relación a la evolución real del mercado, obtenido con la cobertura que subyace a las alternativas consideradas. Los tres gráficos sugieren la existencia de una baja correlación entre el exceso de rentabilidad y el riesgo experimentado por la posición no cubierta, lo que sugiere que el grado de volatilidad del mercado afecta levemente a la probabilidad de que la posición global alcance al final del periodo de cobertura una rentabilidad superior a la experimentada por el mercado.

4.7. CONCLUSIONES.

En este Capítulo se ha llevado a cabo un estudio empírico acerca del comportamiento de la volatilidad en el mercado de futuros sobre el Ibex 35. En particular, el Capítulo se ha centrado sobre cuatro cuestiones: a) características del comportamiento dentro del día de negociación, b) pautas de comportamiento a lo largo de la semana, c) interacción entre la volatilidad del mercado de futuros y la volatilidad del mercado de contado y d) relación entre volatilidad y efectividad de las operaciones de cobertura a través del mercado de derivados.

La evidencia empírica sobre el comportamiento *intradía* se muestra robusta respecto a la metodología utilizada con objeto de cuantificar la volatilidad de cada mercado (varianzas condicionales de los rendimientos *versus* varianzas incondicionales de las series de precios). Los resultados revelan que es durante los periodos de apertura y cierre de la actividad negociadora diaria cuando los mercados experimentan un mayor nivel de volatilidad. El *tramo de apertura* (11:00 a 12:00 horas) se revela como el intervalo temporal más volátil para el mercado de contado, mientras que el *periodo de cierre* (16:00 a 17:00 horas) es el más volátil para el mercado de derivados, lo cual sugiere que las carteras de contado generalmente son revisadas al inicio del día, mientras que la operativa en el mercado de derivados tiende a concentrarse al cierre de la sesión negociadora.

El análisis del comportamiento a lo largo de la semana únicamente se lleva a cabo sobre una medida de volatilidad diaria basada en la varianza incondicional de las series de precios. La evidencia empírica encontrada pone de manifiesto que, si bien dado un día de la semana el mercado de futuros y el mercado de contado se comportan de forma similar, existen diferencias significativas cuando se compara la distribución de frecuencias de las volatilidades de cada mercado en dos días diferentes. Los contrastes no paramétricos de bondad de ajuste a una distribución teórica revelan un comportamiento estacional a lo largo de la semana, de forma que pueden apreciarse dos “efectos día de la semana”, que se corresponden con el lunes y el viernes. Asimismo los resultados sugieren que el hecho de que la fecha de vencimiento del contrato de futuros se corresponda con el tercer viernes de mes no puede considerarse un factor fundamental para explicar la existencia de una mayor volatilidad en dicho día de la semana.

El estudio de la relación de causalidad entre la volatilidad del mercado de contado y la volatilidad del mercado de futuros se lleva a cabo a partir de dos especificaciones econométricas alternativas, cada una de las cuales incorpora una medida de volatilidad diferente: a) las varianzas condicionales que subyacen al modelo de corrección de error con perturbaciones heterocedásticas para las series de rendimientos horarios, y b) coeficientes de variación diarios de las series de precios. La resolución de los constrates de causalidad revela, bajo las dos metodologías consideradas, la existencia de una relación de causalidad unidireccional desde la volatilidad del mercado de futuros hacia la volatilidad del mercado de contado, lo cual sugiere que el mercado de derivados el que incorpora, de forma más eficiente, la nueva información que llega al mercado.

La simulación de operaciones de cobertura en un contexto multiperiodo, utilizando iterativamente el ratio que proviene de la regla óptima con horizonte de un solo periodo, revela que la metodología empleada para estimar tanto la volatilidad del mercado de futuros, como para cuantificar las covariaciones entre los cambios en los precios de ambos mercados, es un aspecto crucial cuando se pretende *immunizar* una cartera *spot* frente a las fluctuaciones y tendencias de los precios de mercado. En particular, la simulación con los ratios estimados a partir de la metodología *GARCH*, el cual es capaz de modelizar estocásticamente la presencia de un comportamiento estacional dentro del día, es la que genera, en términos generales, un comportamiento más estable de la senda de riqueza correspondiente a la posición global.

TABLA 4.1. ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS SERIES DE RENDIMIENTOS (%).

	CONTADO	FUTURO
Media	-0,00	-0,00
Desv. Típica	0,36	0,30
Asimetría	-0,71	-0,06
Curtosis	10,79	3,42
Máximo	2,24	1,71
Mínimo	-4,38	-1,80
Q ₃ -Q ₁ [*]	0,34	0,34
P ₉₅ -P ₅ [*]	1,74	0,94

^{*} Rango Intercuartílico. ^{*} Diferencial entre el percentil de orden 95 u el percentil de orden 5.

TABLA 4.2. AUTOCORRELACIONES SIMPLE Y PARCIAL. RENDIMIENTOS.

K	Autocorrelaciones Simples		Autocorrelaciones Parciales	
	CONTADO		FUTURO	
	Niveles	Cuadrado	Niveles	Cuadrado
1	,075	,087	,024	,143
2	,007	-,002	,002	,075
3	,054	-,005	,014	,026
4	,023	,025	,046	,073
5	-,009	,101	,018	,100
6	-,017	,251	,002	,198
7	-,023	,029	-,045	,063
8	-,021	-,002	-,013	,039
9	-,005	-,013	,000	,039
10	,014	,003	,041	,031
11	,004	,024	,011	,082
12	,025	,134	,041	,146
13	,032	,047	,003	,080
14	,013	,002	,007	,074
15	-,015	-,005	-,011	,051
16	-,037	-,005	-,031	,006
17	,004	,043	,018	,051
18	,010	,169	,029	,118
19	-,025	,043	-,011	,061
20	-,014	-,008	-,018	,028
(*)	Q(20)=68,65	Q(20)=607,66	Q(20)=52,54	Q(20)=686,94

Nota: La desviación típica estimada de los estadísticos presentados puede aproximarse por el inverso de la raíz cuadrada del tamaño muestral. En este caso la desviación estimada es igual a ,015. (*) Estadísticos Ljung-Box (número de retardos igual a 20).

TABLA 4.3. CONTRASTES BDS.

		Mercado de Contado		Mercado de Futuros	
		Rendimientos	Residuos GARCH	Rendimientos	Residuos GARCH
$\frac{\varepsilon}{\sigma}=0,5$	M=2	10,25	2,11	9,35	1,12
	M=3	10,91	1,56	10,71	1,16
	M=4	10,70	1,78	12,04	1,19
	M=5	10,34	1,75	11,65	1,10
	M=6	11,54	1,61	13,58	1,34
	$\frac{\varepsilon}{\sigma}=1,0$	M=2	9,24	1,46	9,42
M=3		8,86	1,43	10,93	1,12
M=4		8,14	1,23	10,91	1,17
M=5		8,48	1,24	11,34	0,99
M=6		8,39	1,31	12,72	1,21
$\frac{\varepsilon}{\sigma}=1,5$		M=2	6,54	1,12	8,12
	M=3	5,74	1,29	9,55	1,11
	M=4	4,77	1,20	9,45	1,21
	M=5	4,21	1,36	9,79	1,02
	M=6	4,02	1,16	10,68	0,98
	$\frac{\varepsilon}{\sigma}=2,0$	M=2	3,55	0,99	6,65
M=3		3,66	1,02	7,94	0,87
M=4		2,65	1,10	7,92	0,95
M=5		3,10	1,24	8,31	1,12
M=6		3,47	1,09	7,97	0,96
Asimetría		-0,71	-0,02	-0,51	-0,00
Curtosis	8,77	1,89	3,54	1,08	
$Q(30) \cdot \hat{\varepsilon}_{i,t} / h_{i,t}$	31,23		39,15		
	(0,41) [†]		(0,12) [†]		
$Q(30) \cdot \left(\hat{\varepsilon}_{i,t} / h_{i,t} \right)^2$	31,90		37,83		
	(0,37) [†]		(0,19) [†]		

Nota: El valor crítico al nivel de significación del 5% para el contraste BDS es igual a 1,96.

[†] Entre paréntesis figura el nivel de significación crítico del contraste.

* Estadísticos Ljung-Box para los residuos tipificados.

** Estadísticos Ljung-Box para los residuos tipificados al cuadrado.

TABLA 4.4. VOLATILIDAD MEDIA (EN %) POR TRAMOS HORARIOS. COEFICIENTES DE VARIACIÓN.

	Mercado de Futuros	Mercado de Contado
11:00 - 12:00 horas	0,121	0,177
12:00 - 13:00 horas	0,083	0,077
13:00 - 14:00 horas	0,081	0,067
14:00 - 15:00 horas	0,05	0,086
15:00 - 16:00 horas	0,122	0,103
16:00 - 17:00 horas	0,158	0,141

TABLA 4.5. RATIO MEDIO ENTRE TRAMOS. MERCADO DE FUTUROS. COEFICIENTES DE VARIACIÓN.

	11- 12	12 - 13	13 - 14	14 - 15	15 - 16	16 -17
11 - 12	1,00	1,82	2,03	1,55	1,21	0,93
12 - 13	0,54	1,00	1,45	1,03	0,83	0,66
13 - 14	0,49	0,69	1,00	0,96	0,79	0,63
14 - 15	0,31	0,97	1,04	1,00	1,06	0,83
15 - 16	0,82	1,20	1,26	0,94	1,00	0,93
16 - 17	1,07	1,51	1,58	1,20	1,07	1,00

TABLA 4.6. RATIO MEDIO ENTRE TRAMOS. MERCADO DE CONTADO. COEFICIENTES DE VARIACIÓN.

	11- 12	12 - 13	13 - 14	14 - 15	15 - 16	16 -17
11 - 12	1,00	2,93	3,37	3,10	2,40	1,59
12 - 13	0,34	1,00	1,48	1,32	1,05	0,72
13 - 14	0,29	0,67	1,00	1,15	0,94	0,64
14 - 15	0,32	0,75	0,86	1,00	1,19	0,79
15 - 16	0,41	0,95	1,06	0,84	1,00	0,91
16 - 17	0,63	1,38	1,56	1,26	1,09	1,00

TABLA 4.7. PORCENTAJE DE DIAS CON $V_i > V_j$. MERCADO DE FUTUROS. COEFICIENTES DE VARIACIÓN.

V_j	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6
V_1	---	68%	73%	56%	46%	31%
V_2	32%	---	55%	37%	26%	17%
V_3	27%	45%	---	33%	25%	16%
V_4	44%	63%	67%	---	42%	26%
V_5	54%	74%	75%	58%	---	35%
V_6	69%	83%	84%	74%	65%	---

TABLA 4.8. PORCENTAJE DE DIAS CON $V_i > V_j$. MERCADO DE CONTADO. COEFICIENTES DE VARIACIÓN.

V_j V_i	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6
V_1	---	82%	84%	78%	71%	57%
V_2	18%	---	57%	48%	36%	22%
V_3	16%	43%	---	42%	31%	17%
V_4	22%	52%	58%	---	41%	26%
V_5	29%	64%	69%	59%	---	33%
V_6	43%	78%	83%	74%	67%	---

Nota a las Tablas 4.7 y 4.8: $V_i, i=1,2,3,4,5,6$, denota la volatilidad en el tramo i -ésimo. Por ejemplo, V_1 , es la volatilidad en el tramo que comprende desde las 11:00 a las 12:00 horas.

TABLA 4.9. CONTRASTES NO PARAMÉTRICOS ENTRE VOLATILIDADES POR TRAMOS. COEFICIENTES DE VARIACIÓN. MERCADO DE FUTUROS.

	11- 12	12 - 13	13 - 14	14 - 15	15 - 16	16 -17
11 - 12	---	250,69	471,33	42,75	30,69	256,21
12 - 13	---	---	40,08	154,61	420,72	1.464,78
13 - 14	---	---	---	2.931,34	719,23	1.995,24
14 - 15	---	---	---	---	96,33	402,26
15 - 16	---	---	---	---	---	717,61
16 - 17	---	---	---	---	---	---

TABLA 4.10. CONTRASTES NO PARAMÉTRICOS ENTRE VOLATILIDADES POR TRAMOS. COEFICIENTES DE VARIACIÓN. MERCADO DE CONTADO.

	11- 12	12 - 13	13 - 14	14 - 15	15 - 16	16 -17
11 - 12	---	854,46	1.431,97	822,35	337,95	134,62
12 - 13	---	---	56,98	73,06	203,79	1.352,45
13 - 14	---	---	---	1.256,82	389,43	1.683,87
14 - 15	---	---	---	---	98,94	622,87
15 - 16	---	---	---	---	---	664,61
16 - 17	---	---	---	---	---	---

Nota: El número de sucesos considerado para cada histograma es de igual a once. El valor teórico al nivel de significación del 5% es igual a 16,00.

TABLA 4.11. VOLATILIDAD MEDIA POR TRAMOS HORARIOS. MODELO GARCH.

	Mercado de Futuros	Mercado de Contado
11:00 - 12:00 horas	0,091	0,160
12:00 - 13:00 horas	0,083	0,089
13:00 - 14:00 horas	0,081	0,084
14:00 - 15:00 horas	0,083	0,086
15:00 - 16:00 horas	0,086	0,090
16:00 - 17:00 horas	0,101	0,112

TABLA 4.12. RATIO MEDIO ENTRE TRAMOS. MERCADO DE FUTUROS. MODELO GARCH.

	11- 12	12 - 13	13 - 14	14 - 15	15 - 16	16 -17
11 - 12	1,00	1,11	1,15	1,11	1,08	0,95
12 - 13	0,90	1,00	1,05	1,02	0,99	0,89
13 - 14	0,87	0,95	1,00	0,98	0,95	0,86
14 - 15	0,90	0,98	1,02	1,00	0,99	0,89
15 - 16	0,92	1,01	1,05	1,01	1,00	0,92
16 - 17	1,05	1,12	1,16	1,12	1,08	1,00

TABLA 4.13. RATIO MEDIO ENTRE TRAMOS. MERCADO DE CONTADO. MODELO GARCH.

	11- 12	12 - 13	13 - 14	14 - 15	15 - 16	16 -17
11 - 12	1,00	1,81	1,92	1,90	1,82	1,53
12 - 13	0,55	1,00	1,08	1,06	1,02	0,91
13 - 14	0,52	0,92	1,00	1,00	0,97	0,87
14 - 15	0,53	0,94	1,00	1,00	1,99	0,89
15 - 16	0,55	0,98	1,03	1,01	1,00	0,92
16 - 17	0,65	1,09	1,15	1,12	1,08	1,00

TABLA 4.14. PORCENTAJE DE DIAS CON $V_i > V_j$. MERCADO DE FUTUROS. MODELO GARCH.

V_i	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6
V_1	---	62%	70%	65%	56%	34%
V_2	38%	---	59%	52%	41%	27%
V_3	30%	41%	---	40%	35%	19%
V_4	35%	48%	60%	---	41%	27%
V_5	44%	59%	65%	59%	---	34%
V_6	66%	73%	81%	73%	66%	---

TABLA 4.15. PORCENTAJE DE DIAS CON $V_i > V_j$. MERCADO DE CONTADO. MODELO GARCH.

V_i	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6
V_1	---	81%	85%	82%	78%	68%
V_2	19%	---	59%	56%	47%	30%
V_3	15%	41%	---	45%	41%	23%
V_4	18%	44%	55%	---	41%	26%
V_5	22%	73%	59%	59%	---	32%
V_6	42%	70%	77%	74%	68%	---

Nota a las Tablas 4.14 y 4.15: V_i $i=1,2,3,4,5,6$. denota la volatilidad en el tramo i -ésimo. Por ejemplo, V_1 , es la volatilidad en el tramo que comprende desde las 11:00 a las 12:00 horas.

TABLA 4.16. CONTRASTES NO PARAMÉTRICOS ENTRE VOLATILIDADES POR TRAMOS. MODELO GARCH. MERCADO DE FUTUROS.

	11- 12	12 - 13	13 - 14	14 - 15	15 - 16	16 -17
11 - 12	---	318,65	370,00	301,44	147,62	69,77
12 - 13	---	---	202,6	70,38	145,08	954,49
13 - 14	---	---	---	162,39	277,31	1.532,88
14 - 15	---	---	---	---	215,82	1.558,66
15 - 16	---	---	---	---	---	295,08
16 - 17	---	---	---	---	---	---

Nota: el número de sucesos considerado es de 31. El valor crítico al nivel de significación del 5% es igual a 43,80.

TABLA 4.17. CONTRASTES NO PARAMÉTRICOS ENTRE VOLATILIDADES POR TRAMOS. MODELO GARCH. MERCADO DE CONTADO.

	11- 12	12 - 13	13 - 14	14 - 15	15 - 16	16 -17
11 - 12	---	2.670,92	985,55	2.076,87	2.227,13	269,97
12 - 13	---	---	2.048,81	96,02	51,01	1.120,68
13 - 14	---	---	---	359,09	393,65	385,36
14 - 15	---	---	---	---	24,34	1.339,79
15 - 16	---	---	---	---	---	1.216,4
16 - 17	---	---	---	---	---	---

Nota: El número de sucesos considerado para cada histograma es ahora de 18, dada la restricción de poseer al menos 5 observaciones muestrales para cada suceso. El valor crítico al nivel de significación del 5% es igual a 27,60.

TABLA 4.18. VOLATILIDAD DIARIA (en %). COEFICIENTES DE VARIACIÓN. ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS.

	<i>Volatilidad Futuro</i>	<i>Volatilidad Contado</i>
Media	0,25	0,25
Desviación Típica	0,15	0,14
Asimetría	2,17	1,78
Curtosis	7,90	4,84
Máximo	1,34	1,14
Mínimo	0,05	0,06
Q ₃ -Q ₁ [*]	0,17	0,16
P ₉₅ -P ₅ [†]	0,48	0,41
Mediana	0,21	0,21

*Intervalo Intercuartílico.

† Diferencia entre el percentil de orden 95 y el percentil de orden 5. El número de observaciones es igual 743.

**TABLA 4.19. VOLATILIDAD MEDIA DIARIA (en %).
COEFICIENTES DE VARIACIÓN.**

	Volatilidad Media		Volatilidad Relativa (Futuro/Contado)	% de días con $\frac{V. Futuro}{V. Contado} > 1$
	Futuro	Contado		
Lunes	0,2279	0,2349	0,98	42%
Martes	0,2573	0,2594	0,99	45%
Miércoles	0,2325	0,2343	0,99	48%
Jueves	0,2806	0,2752	1,02	52%
Viernes	0,2754	0,2787	0,99	46%
Viernes (Vencimiento)	0,2603	0,2614	0,97	39%
Viernes (No Vencimiento)	0,2803	0,2843	0,99	48%

TABLA 4.20. ESTIMACIONES MÍNIMO CUADRÁTICAS SOBRE NUBES XY DE VOLATILIDAD (COEFICIENTES DE VARIACIÓN).

	Constante	Pendiente
Lunes	0,04 (0,06) [†]	0,86 (0,04)
Martes	0,03 (0,04)	0,91 (0,02)
Miércoles	0,03 (0,04)	0,86 (0,03)
Jueves	0,03 (0,04)	0,89 (0,03)
Viernes	0,05 (0,04)	0,82 (0,03)
Viernes (No Vencimiento)	0,05 (0,07)	0,81 (0,04)

Nota: la variable exógena corresponde a la volatilidad del mercado de futuros, mientras que la variable endógena es la volatilidad del mercado de contado.

[†] Entre paréntesis figuran las desviaciones típicas estimadas.

TABLA 4.21. CONTRASTES NO PARAMÉTRICOS. VOLATILIDAD DIARIA. HIPÓTESIS DE IGUALDAD DE DISTRIBUCIONES ENTRE MERCADOS.

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
4,39	1,16	2,72	5,24	5,95

Nota: El número de sucesos considerado para cada histograma es de 7 grados de libertad. El valor teórico al nivel de significación del 5% es igual a 12,6.

TABLA 4.22. CONTRASTES NO PARAMÉTRICOS. HIPÓTESIS DE IGUALDAD DE DISTRIBUCIONES DE VOLATILIDAD (C.V.) ENTRE DÍAS. MERCADO DE FUTUROS.

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
Lunes	---	10,71	9,54	21,39	25,61
Martes	---	---	11,67	6,26	11,63
Miércoles	---	---	---	29,01	18,54
Jueves	---	---	---	---	4,44
Viernes	---	---	---	---	---

Nota: Ver nota de la Tabla 4.21.

TABLA 4.23. CONTRASTES NO PARAMÉTRICOS. HIPÓTESIS DE IGUALDAD DE DISTRIBUCIONES DE VOLATILIDAD (C.V.) ENTRE DÍAS. MERCADO DE CONTADO.

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
Lunes	---	9,88	4,93	16,53	27,08
Martes	---	---	11,00	1,13	15,54
Miércoles	---	---	---	35,49	32,52
Jueves	---	---	---	---	12,26
Viernes	---	---	---	---	---

Nota: Ver nota de la Tabla 3.3.1.

TABLA 4.24. RENTABILIDADES MEDIAS SEMANALES.

	Rentabilidad Media (%)		Ratio (Futuro/Contado)
	Futuro	Contado	
Lunes	0,24	0,24	1,007
Martes	0,22	0,22	0,996
Miércoles	0,23	0,23	1,003
Jueves	0,24	0,23	1,012
Viernes	0,25	0,24	1,026

TABLA 4.25. RENTABILIDAD SEMANAL POSITIVA. (% de observaciones)

	Futuro	Contado
Lunes	56%	55%
Martes	59%	59%
Miércoles	56%	58%
Jueves	55%	56%
Viernes	57%	55%

TABLA 4.26. CONTRASTES NO PARAMÉTRICOS SOBRE RENTABILIDADES SEMANALES.

	Hipótesis Nula		
	Igualdad Futuro - Contado	Normalidad Futuro	Normalidad Contado
Lunes	3,23	6,41	4,26
Martes	2,77	18,15	9,75
Miércoles	10,26	16,44	7,26
Jueves	4,56	5,96	6,97
Viernes	4,08	4,21	6,66

Nota: El número de intervalos considerado para cada histograma es de 10. El valor crítico al nivel de significación del 1% es igual a 21,7.

TABLA 4.27. CONTRASTES de BERA-JARQUE SOBRE RENTABILIDADES SEMANALES.

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
Mercado de Futuros	7,95	7,30	6,37	2,31	1,29
Mercado de Contado	6,28	7,55	5,81	2,80	1,53

Nota: El número de intervalos considerado para cada histograma es de 10. El valor crítico al nivel de significación del 1% es igual a 9,21.

TABLA 4.28. AUTOCORRELACIONES SIMPLE Y PARCIAL. VOLATILIDAD DIARIA (COEFICIENTES DE VARIACIÓN). NIVELES y PRIMERAS DIFERENCIAS.

Retardos	Volatilidad Futuro		Volatilidad Contado	
	f.a.c.	f.a.c.p.	f.a.c.	f.a.c.p.
1	,274	,274	,321	,321
2	,194	,128	,215	,125
3	,209	,139	,207	,121
4	,219	,131	,229	,132
5	,236	,133	,256	,142
6	,127	-,010	,118	-,045
7	,131	,027	,125	,026
8	,193	,096	,153	,053
9	,181	,062	,211	,109
10	,131	,008	,166	,031
15	,146	,050	,121	,012

Retardos	Cambios Volatilidad Futuro		Cambios Volatilidad Contado	
	f.a.c.	f.a.c.p.	f.a.c.	f.a.c.p.
1	-,444	-,444	-,422	-,422
2	-,054	-,326	-,051	-,304
3	,031	-,251	-,020	-,252
4	-,004	-,215	-,004	-,222
5	,084	-,060	,119	-,026
6	-,075	-,091	-,105	-,093
7	-,040	-,148	-,016	-,112
8	,052	-,103	-,019	-,154
9	,023	-,047	,071	-,072
10	-,044	-,085	,002	-,048
15	-,045	-,041	-,071	-,058

Notas: f.a.c. y f.a.c.p. denotan respectivamente la función de autocorrelación simple y parcial. La desviación típica estimada de cada uno de los estadísticos presentados, puede aproximarse por el inverso de la raíz cuadrada del tamaño muestral, es decir $\frac{1}{\sqrt{743}} \approx 0,034$.

TABLA 4.29. CONTRASTES DE COINTEGRACIÓN ENTRE VOLATILIDADES DIARIAS (COEFICIENTES DE VARIACIÓN)

ADF sobre residuos de coint.	ARVAR	AUVAR
-10,72 (-4,02)	93,48 (11,8)	151,28 (17,9)

Nota: Entre paréntesis figura el valor crítico al nivel de significación del 5%.

TABLA 4.30. ESTIMACIÓN VECTOR AUTOREGRESIVO SOBRE VOLATILIDADES.

ECUACIÓN FUTURO		ECUACIÓN IBEX 35				
0,440 (0,191)		Término de Corrección de Error: -0,262 (0,181)				
$\nabla V_{f,t-1}$	-0,730 (0,149)*	$\nabla V_{s,t-1}$	$\nabla V_{f,t-1}$	-0,397 (0,141)	$\nabla V_{s,t-1}$	-0,289 (0,171)
$\nabla V_{f,t-2}$	-0,798 (0,139)	$\nabla V_{s,t-2}$	$\nabla V_{f,t-2}$	-0,514 (0,130)	$\nabla V_{s,t-2}$	-0,051 (0,157)
$\nabla V_{f,t-3}$	-0,582 (0,126)	$\nabla V_{s,t-3}$	$\nabla V_{f,t-3}$	-0,328 (0,116)	$\nabla V_{s,t-3}$	-0,102 (0,140)
$\nabla V_{f,t-4}$	-0,384 (0,109)	$\nabla V_{s,t-4}$	$\nabla V_{f,t-4}$	-0,168 (0,099)	$\nabla V_{s,t-4}$	-0,135 (0,122)
$\nabla V_{f,t-5}$	-0,281 (0,086)	$\nabla V_{s,t-5}$	$\nabla V_{f,t-5}$	-0,081 (0,073)	$\nabla V_{s,t-5}$	-0,063 (0,096)
$\nabla V_{f,t-6}$	-0,199 (0,046)	Contraste de significatividad conjunto para los retardos del mercado de contado:			$\nabla V_{s,t-6}$	-0,184 (0,047)
$\nabla V_{f,t-7}$	-0,177 (0,044)	$\chi^2_5 = 8,75(0,12) \ddagger$		Contraste de significatividad conjunto para los retardos del mercado de futuros:	$\nabla V_{s,t-7}$	-0,182 (0,044)
$\nabla V_{f,t-8}$	-0,098 (0,041)	$\chi^2_5 = 8,75(0,12) \ddagger$		$\chi^2_5 = 17,92(0,00) \ddagger$	$\nabla V_{s,t-8}$	-0,131 (0,041)
$\nabla V_{f,t-9}$	-0,032 (0,027)	(*) $Q(15) = 11,09(0,71) \ddagger$		$Q(15) = 10,34(0,79) \ddagger$	$\nabla V_{s,t-9}$	-0,039 (0,035)
$\nabla V_{f,t-10}$	-0,031 (0,027)				$\nabla V_{s,t-10}$	-0,006 (0,027)

Notas: * Entre paréntesis figuran las desviaciones típicas.

(*) Estadísticos Ljung-Box para el contraste de ausencia de autocorrelación (número de retardos igual a 15).

‡ Entre paréntesis figura el nivel de significación crítico del contraste.

TABLA 4.31. DESCOMPOSICIÓN DE LA VARIANZA.

	Mercado de Futuros		Mercado de Contado	
	Contado	Futuro	Contado	Futuro
1	100,00	0,00	20,14	79,86
2	99,97	0,03	14,47	85,53
3	99,39	0,61	14,45	85,55
4	99,32	0,68	14,74	85,24
5	99,25	0,75	14,92	85,08
6	99,19	0,81	14,88	85,12
7	99,12	0,88	15,01	84,99
8	99,11	0,89	15,02	84,98
9	99,11	0,89	15,00	85,00
10	99,11	0,89	15,04	85,96

TABLA 4.32. EXCESOS DE RENTABILIDAD SOBRE EL MERCADO. (%)

AÑO 94	ESTIMACIÓN DEL RATIO DE COBERTURA		
	<i>OLS</i>	MCE	<i>GARCH</i>
Vencimientos			
Enero	0,29	-0,91	-3,27
Febrero	-1,11	-1,09	-1,05
Marzo	0,71	1,51	2,66
Abril	4,85	6,03	5,70
Mayo	-0,55	-1,59	-4,51
Junio	3,97	5,67	8,13
Julio	-2,11	-2,03	0,94
Agosto	-1,67	0,21	-3,33
Septiembre	-0,69	-0,22	0,74
Octubre	-0,97	-0,36	1,95
Noviembre	-1,27	-1,18	-3,05
Diciembre	0,43	0,63	2,61

TABLA 4.33. EXCESOS DE RENTABILIDAD SOBRE EL MERCADO. (%)

AÑO 95	ESTIMACIÓN DEL RATIO DE COBERTURA		
	<i>OLS</i>	MCE	<i>GARCH</i>
Vencimientos			
Enero	6,76	8,74	6,09
Febrero	-1,68	-1,78	-3,13
Marzo	1,86	6,43	5,30
Abril	-1,70	-2,43	-3,22
Mayo	-2,84	-3,28	-5,54
Junio	0,54	0,39	0,79
Julio	0,26	-1,37	-2,24
Agosto	-0,72	-1,92	-5,69
Septiembre	0,14	-0,06	0,11
Octubre	0,79	1,80	5,99
Noviembre	-1,86	-2,97	-4,01
Diciembre	-1,71	-3,41	-3,81

TABLA 4.34. EXCESOS DE RENTABILIDAD SOBRE EL MERCADO. (%)

AÑO 96	ESTIMACIÓN DEL RATIO DE COBERTURA		
	<i>OLS</i>	<i>MCE</i>	<i>GARCH</i>
Vencimientos			
Enero	-1,60	-3,10	-3,97
Febrero	-0,20	0,36	0,94
Marzo	3,17	6,73	4,17
Abril	-4,04	-3,29	-6,00
Mayo	-1,25	-2,87	-2,09
Junio	-1,28	-1,95	-3,06
Julio	3,27	3,11	4,85
Agosto	1,18	1,23	1,55
Septiembre	-2,27	-0,69	-1,05
Octubre	-2,95	-0,34	-4,85
Noviembre	-1,90	-3,41	-4,18
Diciembre	-5,41	-3,90	-6,91

TABLA 4.35. EXCESOS DE VOLATILIDAD SOBRE EL MERCADO. (%)

AÑO 94	ESTIMACIÓN DEL RATIO DE COBERTURA		
	<i>OLS</i>	<i>MCE</i>	<i>GARCH</i>
Vencimientos			
Enero	230,87	172,67	65,55
Febrero	-50,8	-47,67	-45,22
Marzo	-211,76	-158,19	-81,88
Abril	-145,28	-97,31	-110,72
Mayo	78,74	38,85	-72,37
Junio	-320,87	-248,50	-143,61
Julio	-343,26	-338,10	-156,51
Agosto	-120,94	-37,35	-195,92
Septiembre	-155,24	-120,25	-46,79
Octubre	-255,15	-208,15	-32,92
Noviembre	48,53	17,89	-51,92
Diciembre	-262,59	-230,91	79,77

TABLA 4.36. EXCESOS DE VOLATILIDAD SOBRE EL MERCADO. (%)

AÑO 95	ESTIMACIÓN DEL RATIO DE COBERTURA		
	<i>OLS</i>	<i>MCE</i>	<i>GARCH</i>
Vencimientos			
Enero	-141,55	-60,98	-168,78
Febrero	-4,10	-9,42	-85,01
Marzo	-230,15	-58,40	-100,83
Abril	8,52	-32,78	-77,78
Mayo	43,14	26,60	-57,06
Junio	-199,31	-217,12	-168,72
Julio	50,65	-55,49	-112,02
Agosto	157,99	88,64	-130,25
Septiembre	-86,21	-94,48	-87,19
Octubre	-344,64	-305,35	-142,00
Noviembre	112,11	29,45	-45,63
Diciembre	167,70	43,24	14,04

TABLA 4.37. EXCESOS DE VOLATILIDAD SOBRE EL MERCADO. (%)

AÑO 96	ESTIMACIÓN DEL RATIO DE COBERTURA		
	<i>OLS</i>	MCE	<i>GARCH</i>
Vencimientos			
Enero	72,83	-23,44	-79,60
Febrero	104,30	168,30	232,39
Marzo	-33,72	134,84	13,80
Abril	97,86	142,17	-18,16
Mayo	-296,02	-505,17	-403,97
Junio	-42,59	-101,28	-198,22
Julio	-149,59	-156,66	-79,58
Agosto	27,19	30,54	52,28
Septiembre	-101,28	-98,42	-99,07
Octubre	-1,32	198,69	-146,73
Noviembre	31,56	-100,73	-167,67
Diciembre	81,37	146,41	16,67

GRAFICO 4.1.
Residuos Tipificados. Mercado de Contado

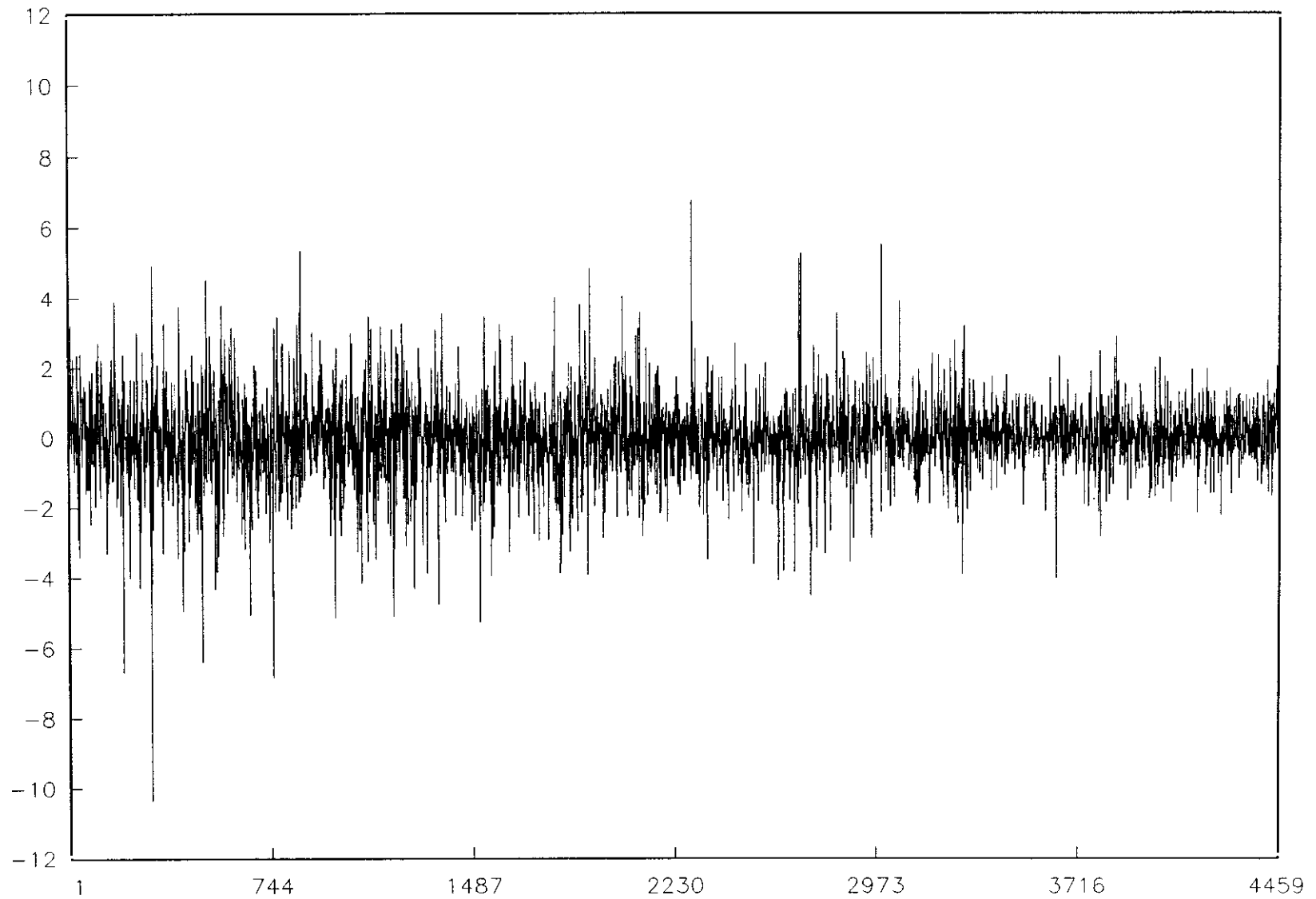
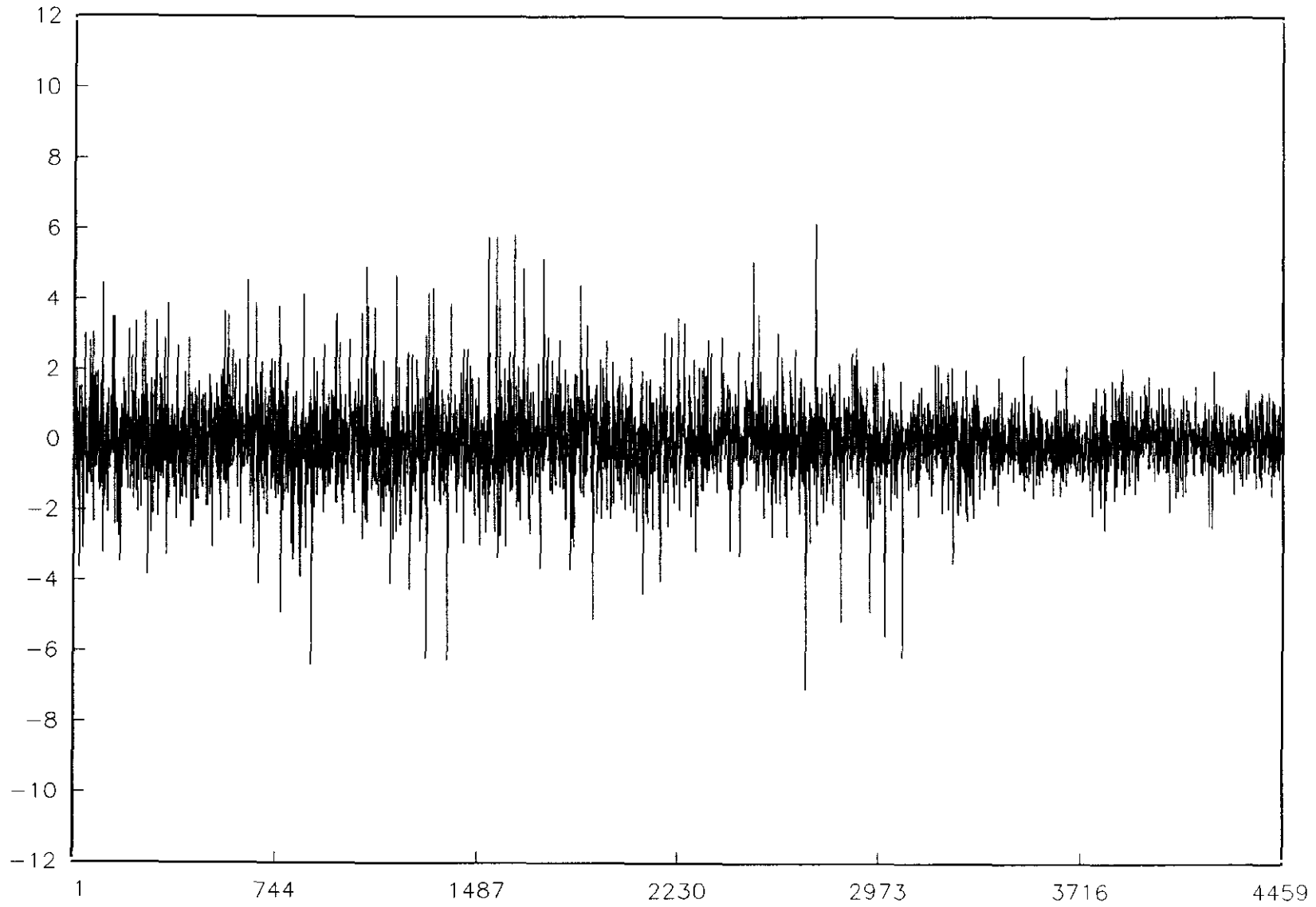
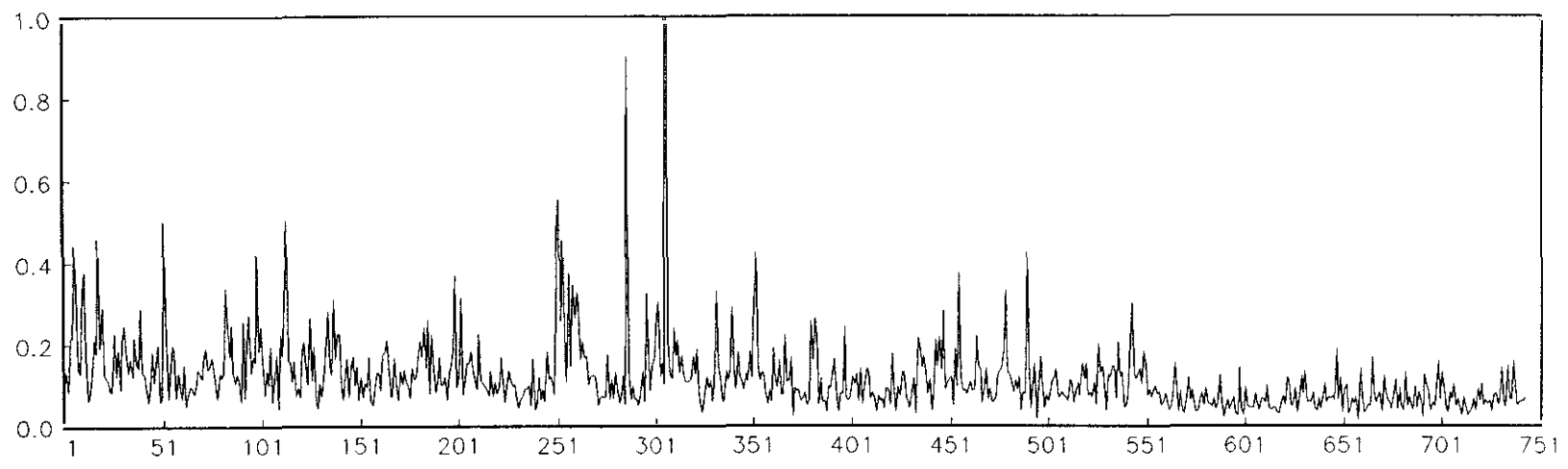


GRAFICO 4.2.
Residuos Tipificados. Mercado de Futuros



Volatilidad Futuro
Tramo 1: 11-12 horas



Volatilidad Contado
Tramo 1: 11-12 horas

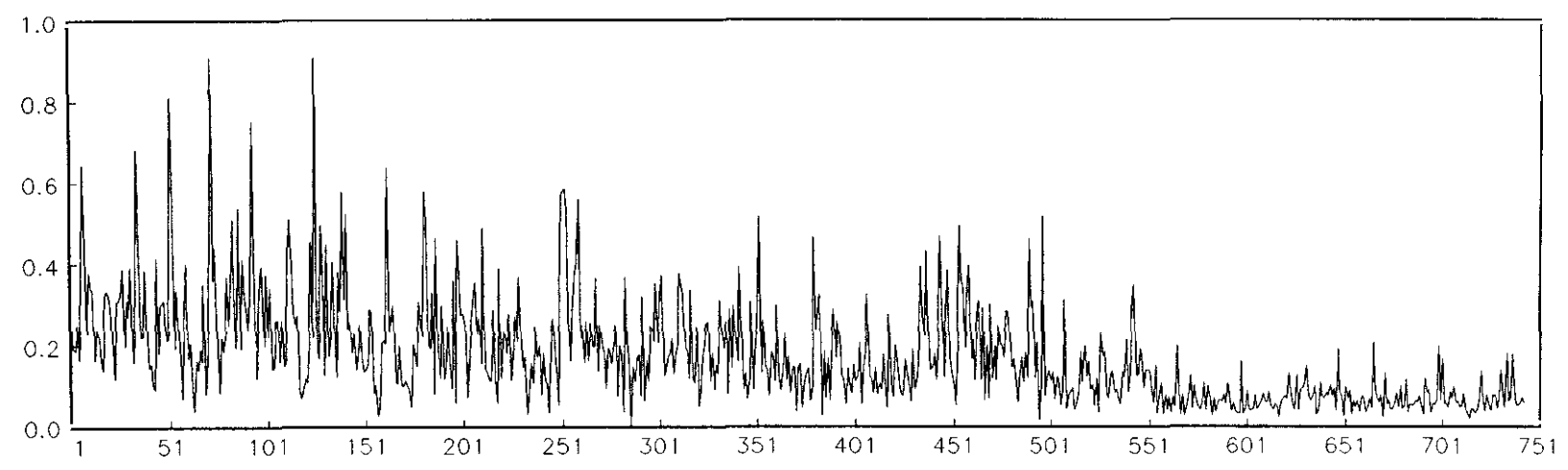
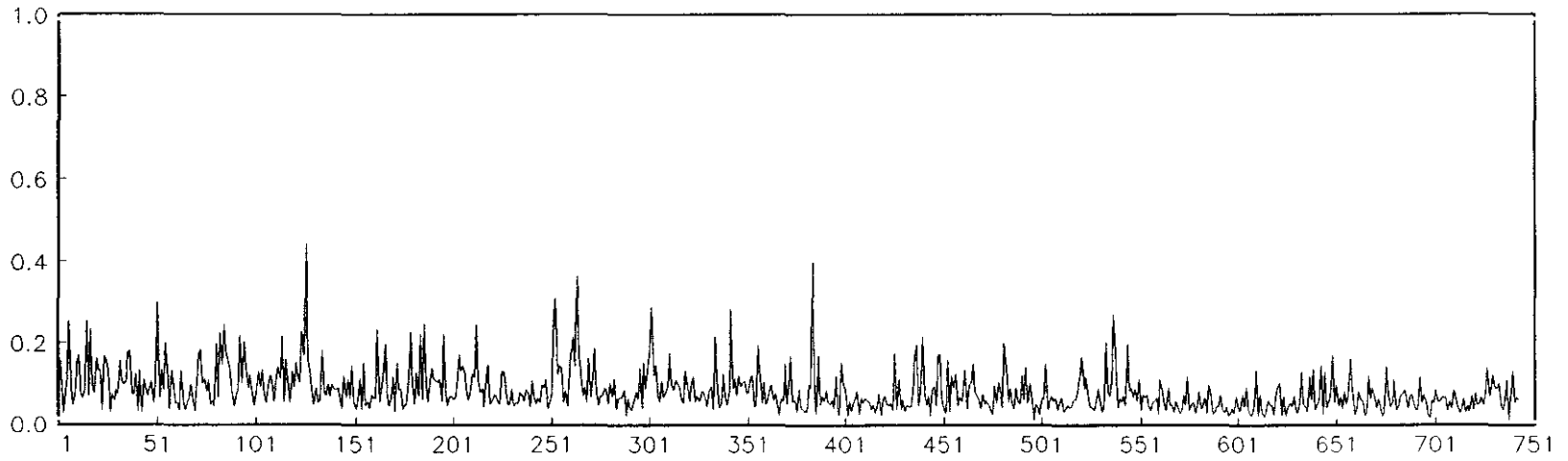


Ilustración 4.3. Volatilidad Tramo 1. Coeficientes de Variación.

Volatilidad Futuro
Tramo 2: 12-13 horas



Volatilidad Contado
Tramo 2: 12-13 horas

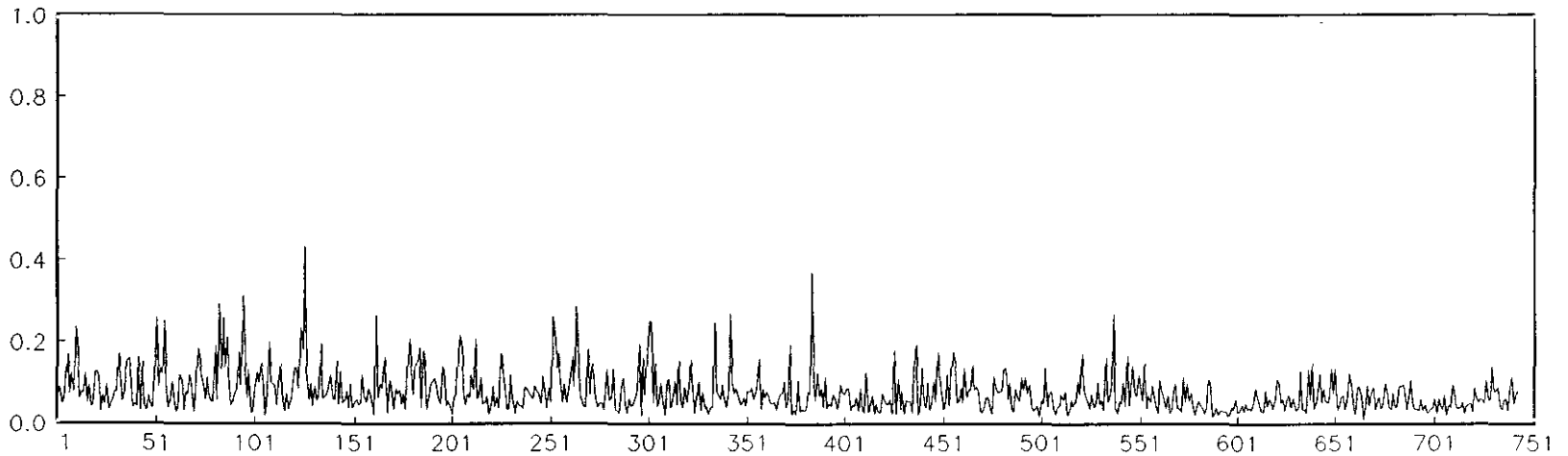
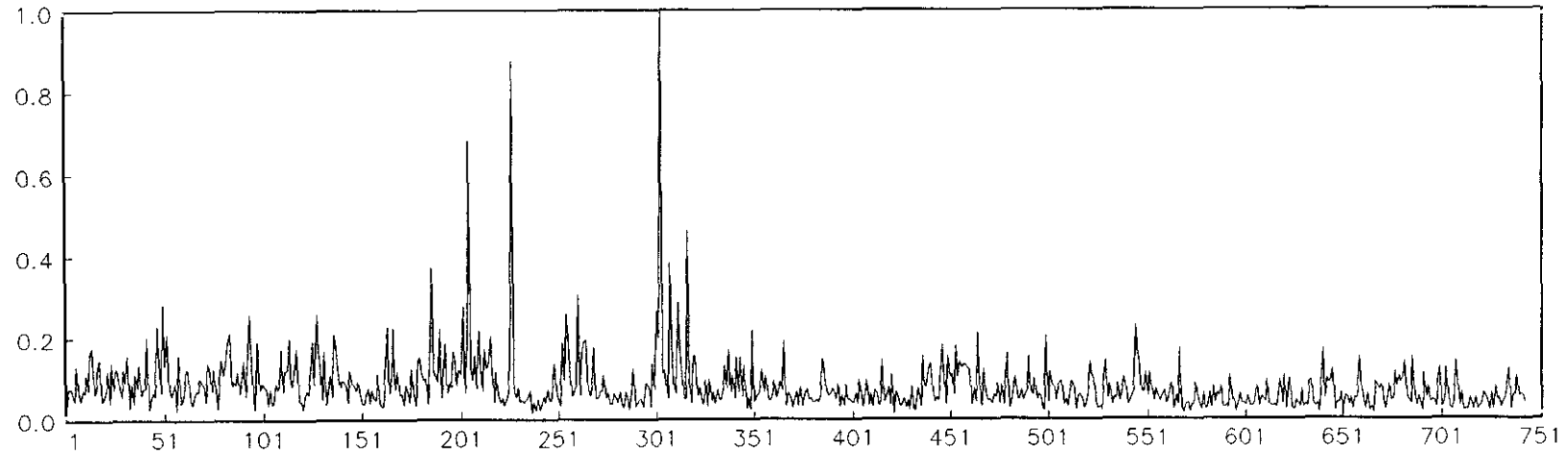


Ilustración 4.4. Volatilidad Tramo 2. Coeficientes de Variación.

Volatilidad Futuro
Tramo 3: 13-14 horas



Volatilidad Contado
Tramo 3: 13-14 horas

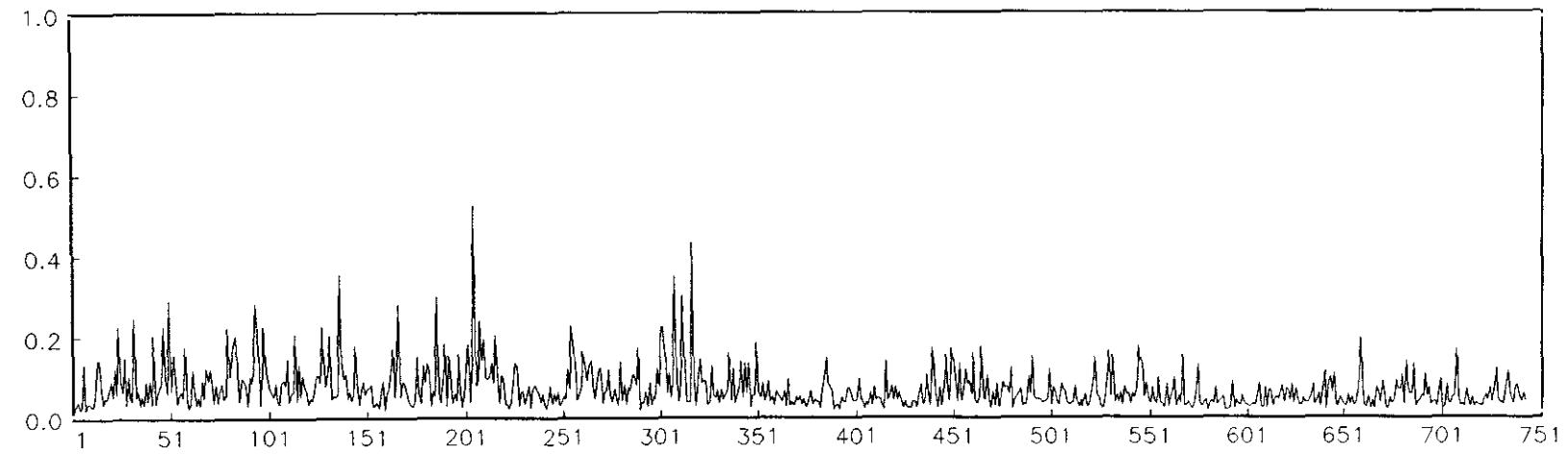
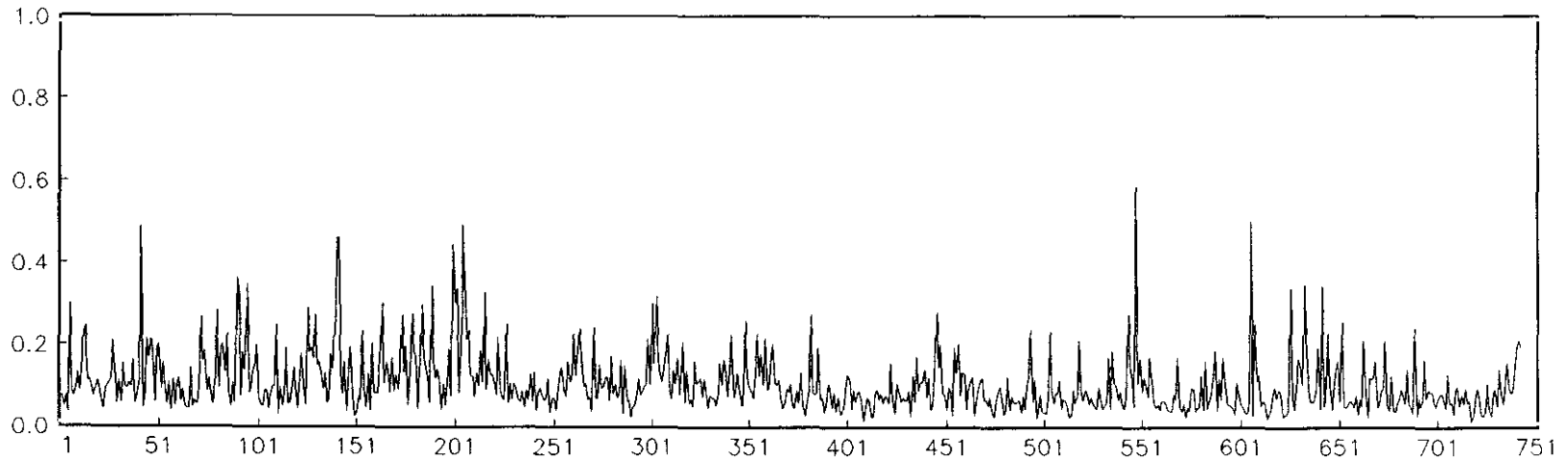


Ilustración 4.5. Volatilidad Tramo 3. Coeficientes de Variación.

Volatilidad Futuro
Tramo 4: 14-15 horas



Volatilidad Contado
Tramo 4: 14-15 horas

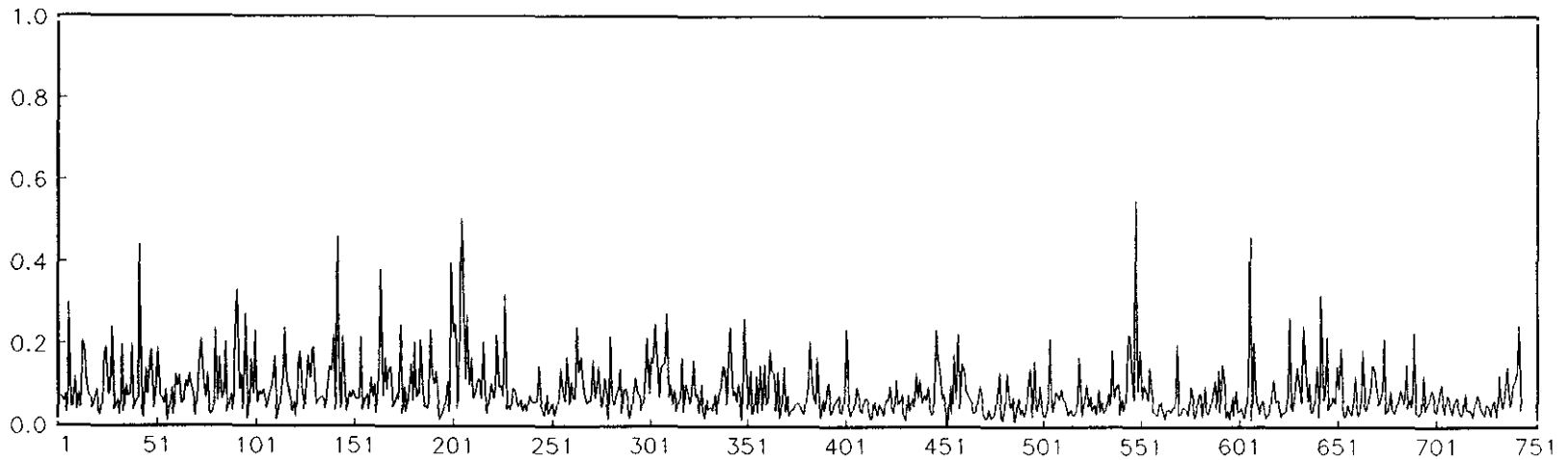
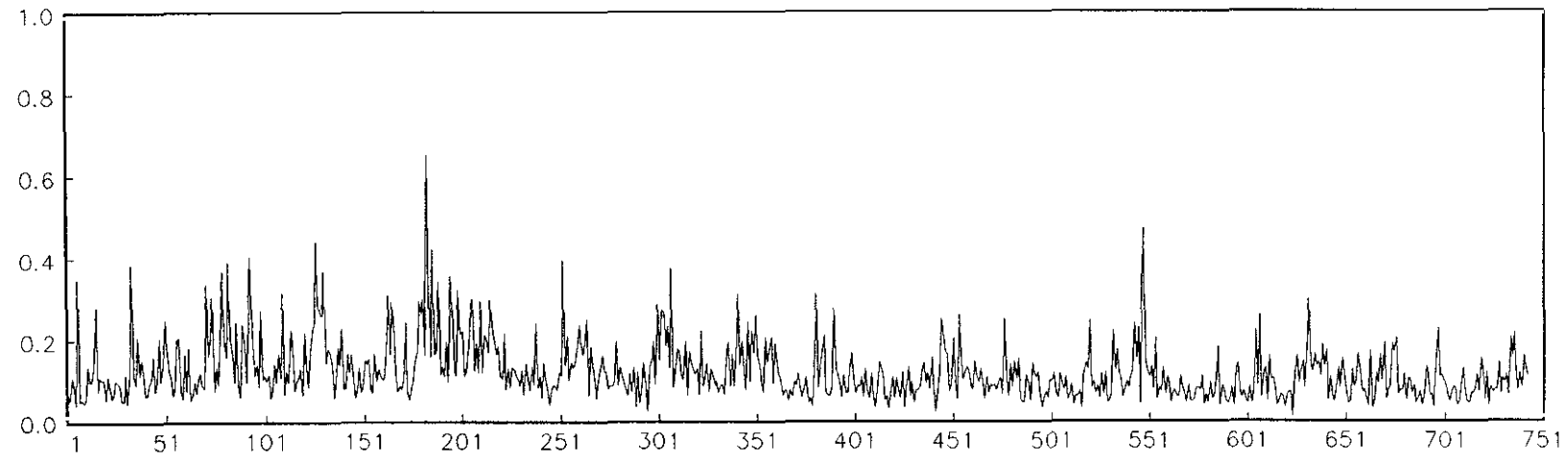


Ilustración 4.6. Volatilidad Tramo 4. Coeficientes de Variación.

Volatilidad Futuro
Tramo 5: 15-16 horas



Volatilidad Contado
Tramo 5: 15-16 horas

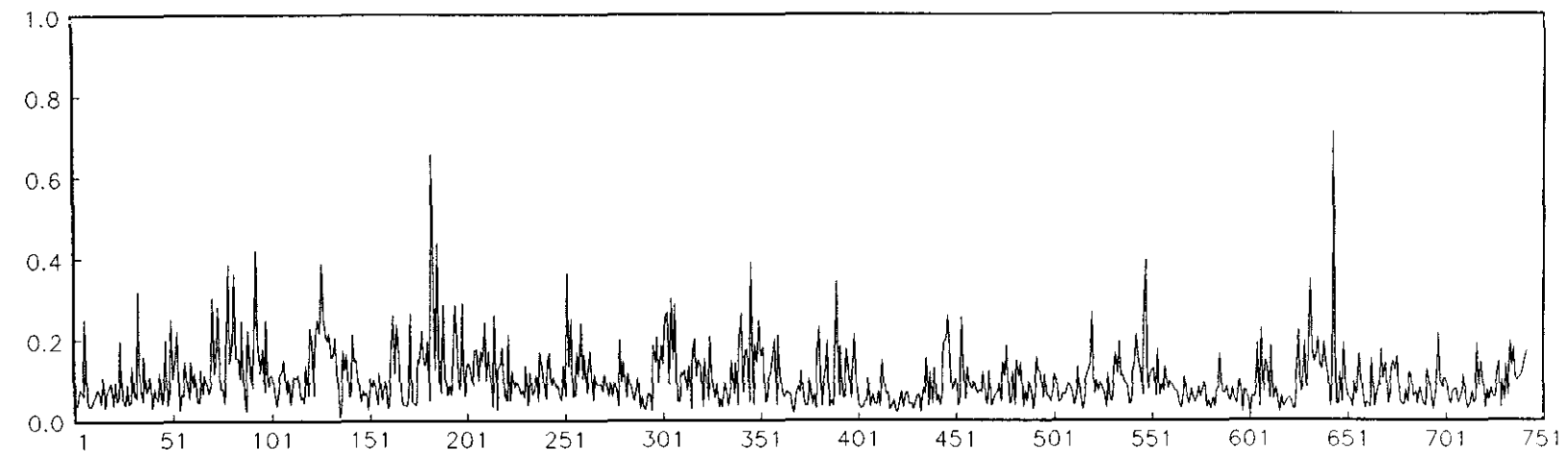
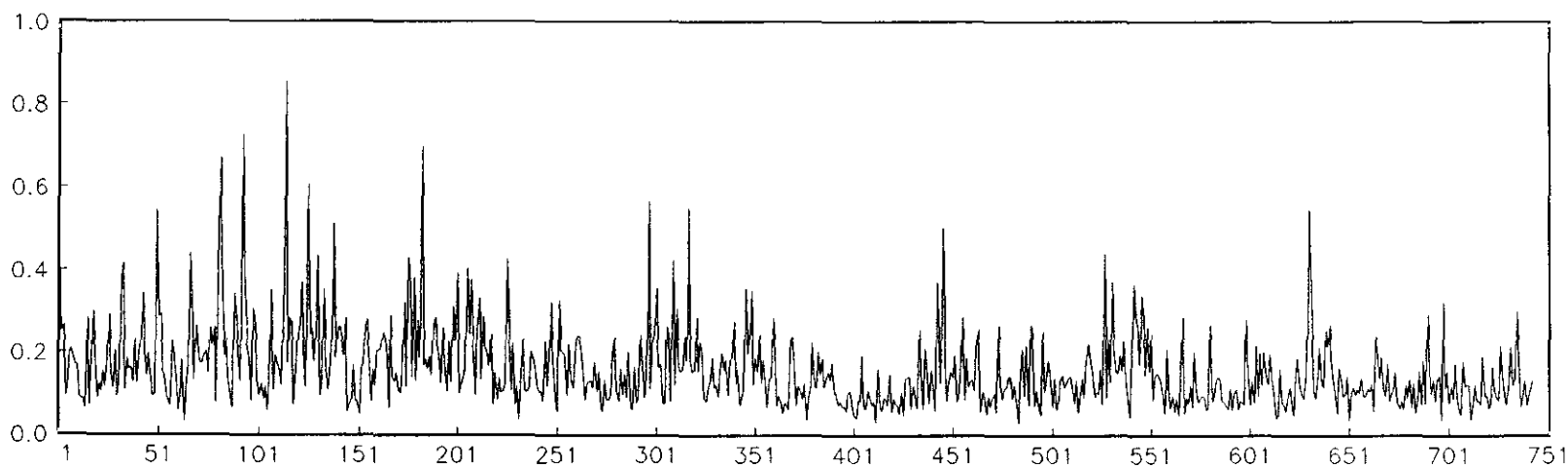


Ilustración 4.7. Volatilidad Tramo 5. Coeficientes de Variación.

Volatilidad Futuro
Tramo 6: 16-17 horas



Volatilidad Contado
Tramo 6: 16-17 horas

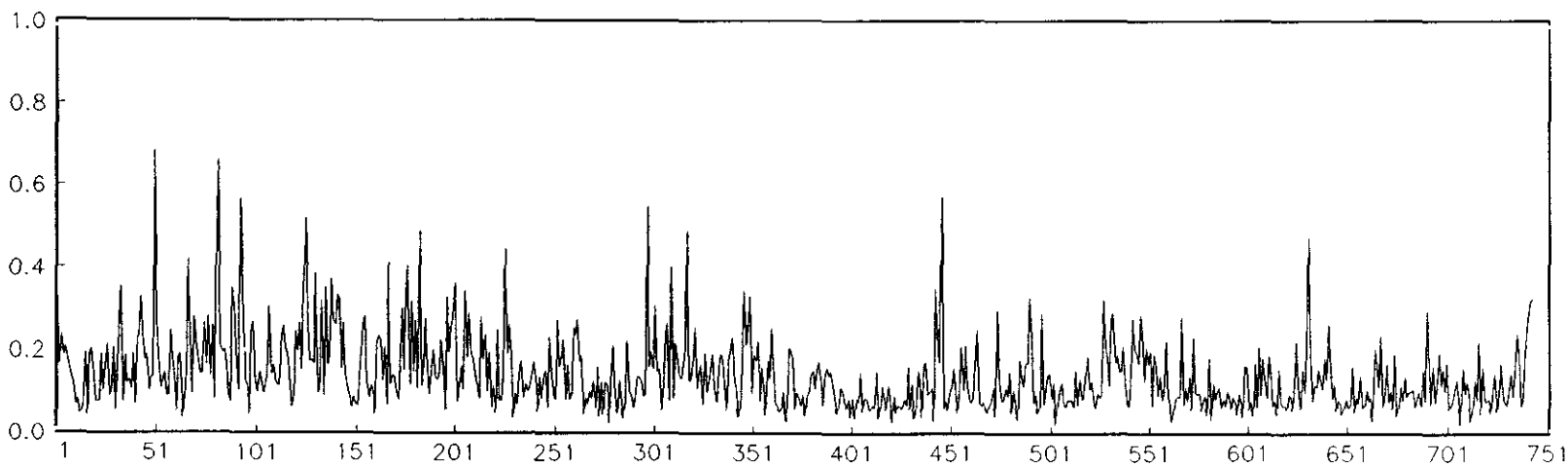


Ilustración 4.8. Volatilidad Tramo 6. Coeficientes de Variación.

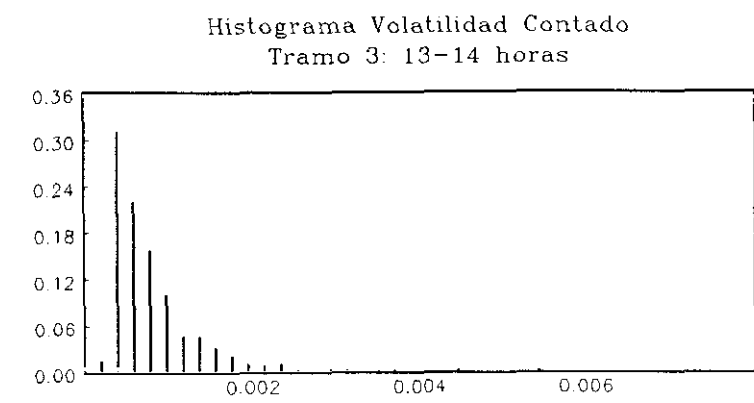
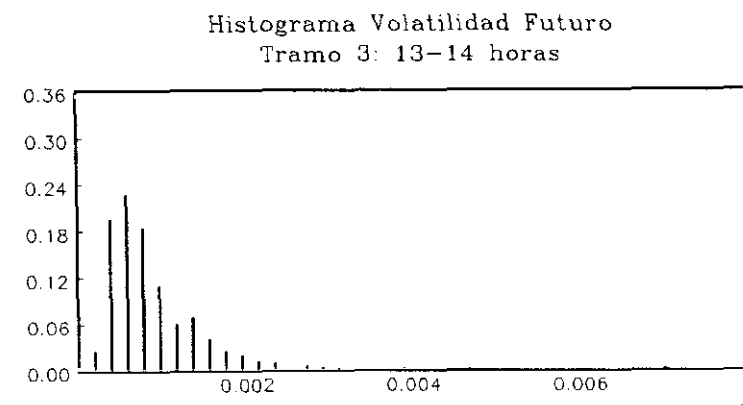
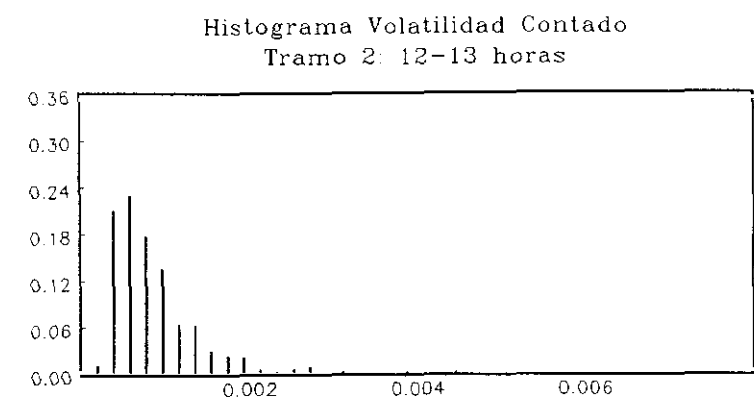
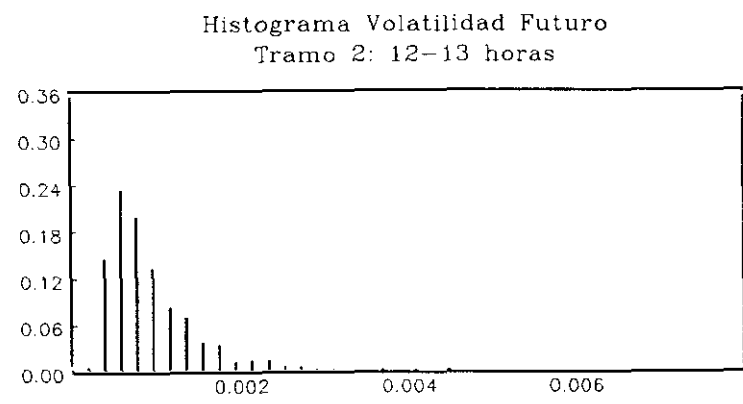
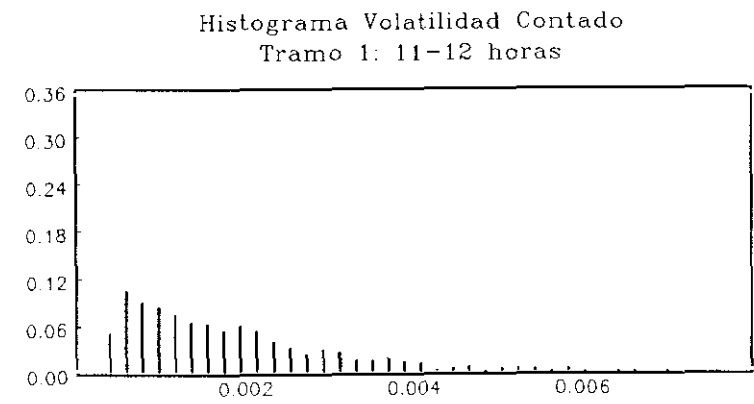
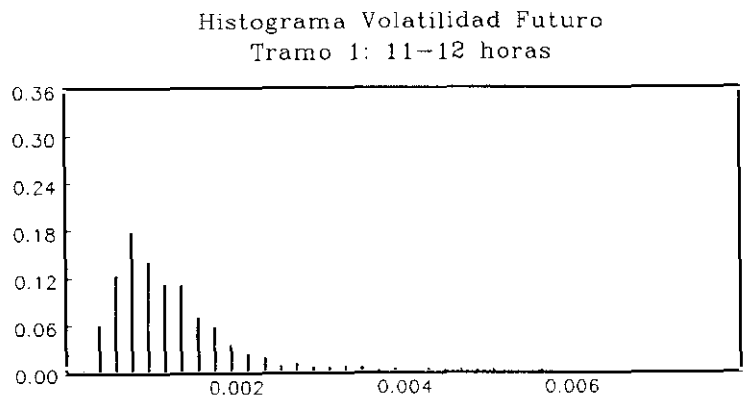


Ilustración 4.9. Histogramas de Volatilidad. Tramos 1, 2 y 3. Coeficientes de Variación.

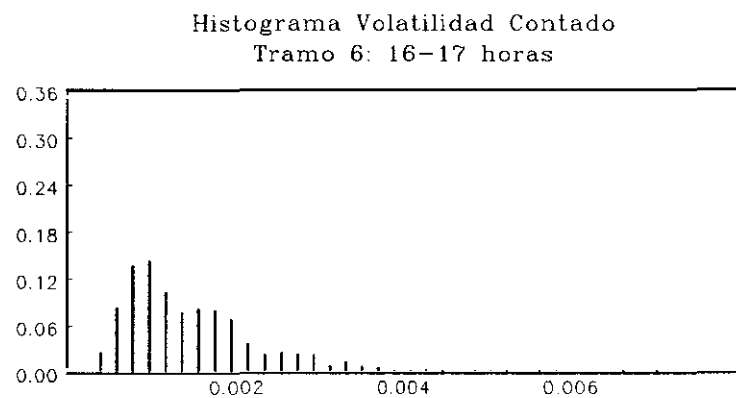
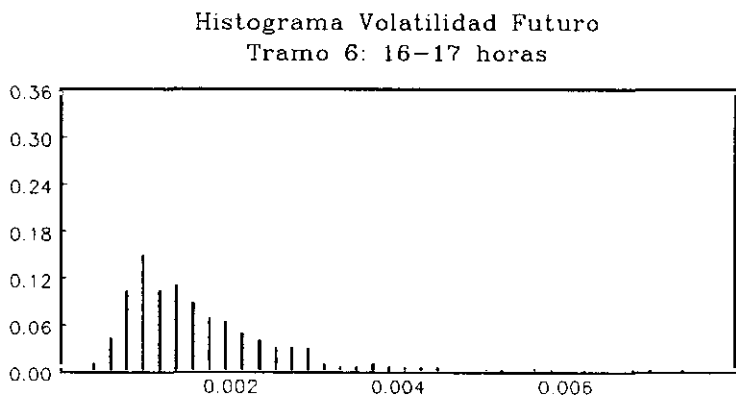
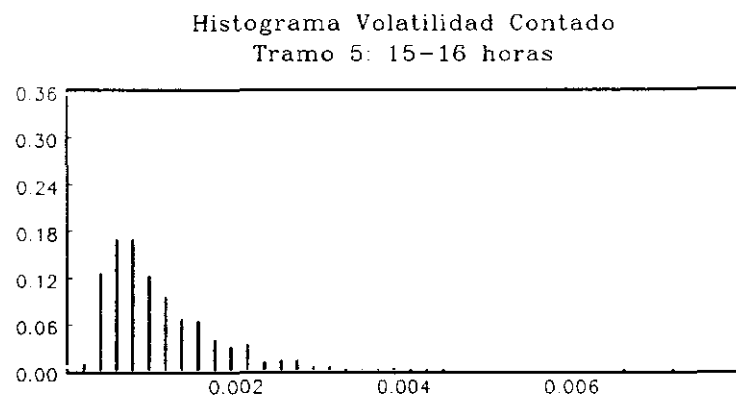
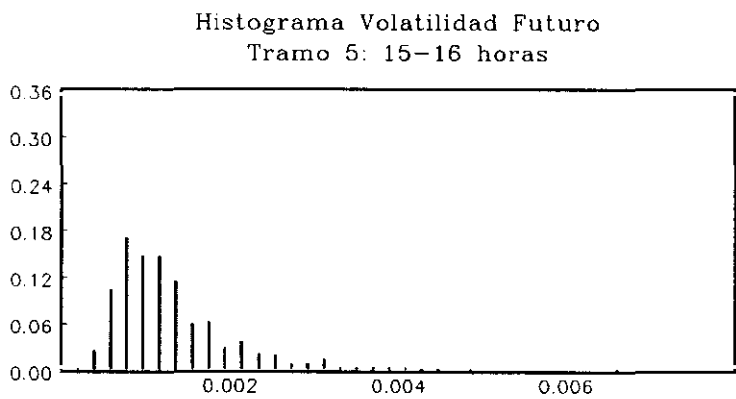
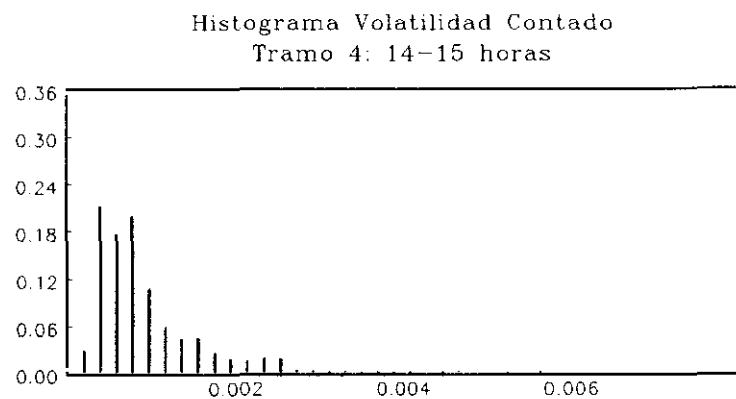
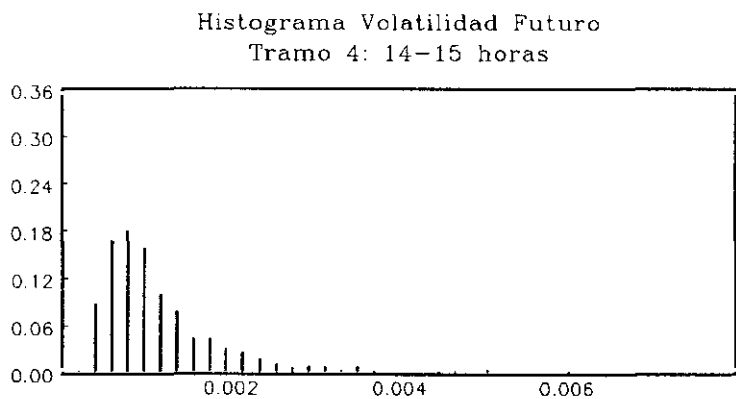
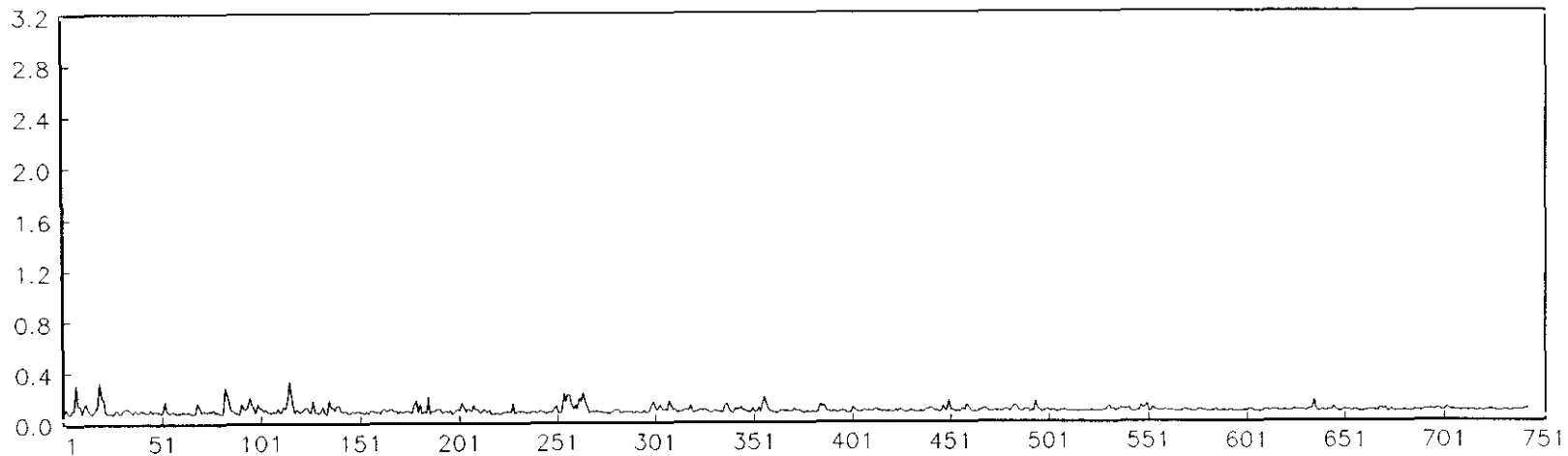


Ilustración 4.10. Histogramas de Volatilidad. Tramos 4, 5 y 6. Coeficientes de Variación.

Volatilidad Futuro
Tramo 1: 11-12 horas



Volatilidad Contado
Tramo 1: 11-12 horas

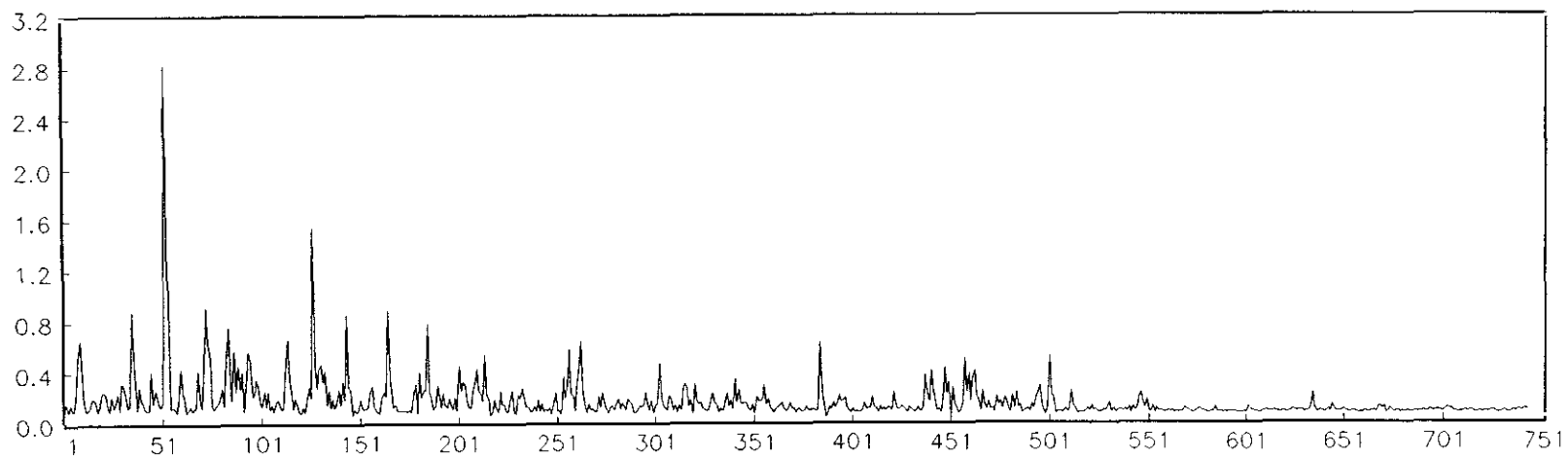
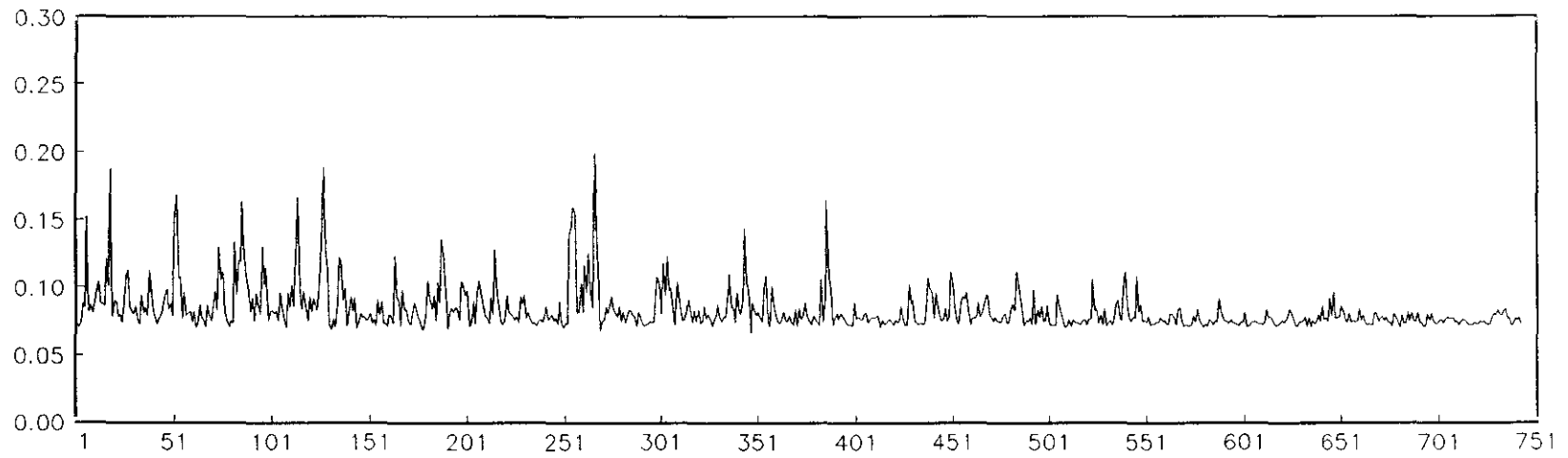


Ilustración 4.11. Volatilidad Tramo 1. Modelo GARCH.

Volatilidad Futuro
Tramo 2: 12-13 horas



Volatilidad Contado
Tramo 2: 12-13 horas

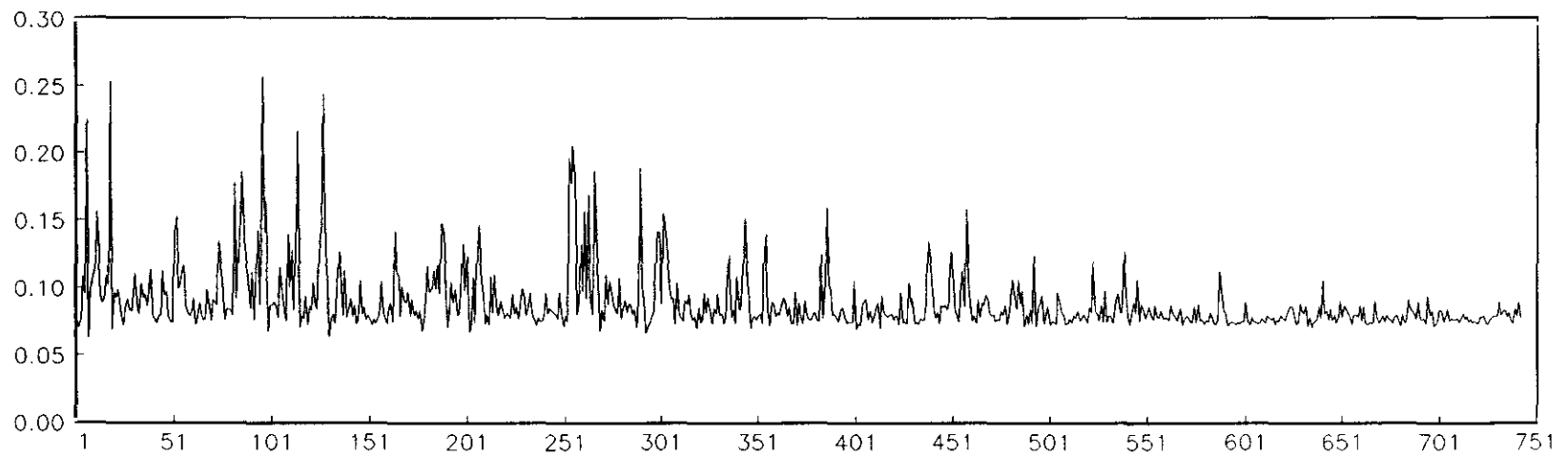
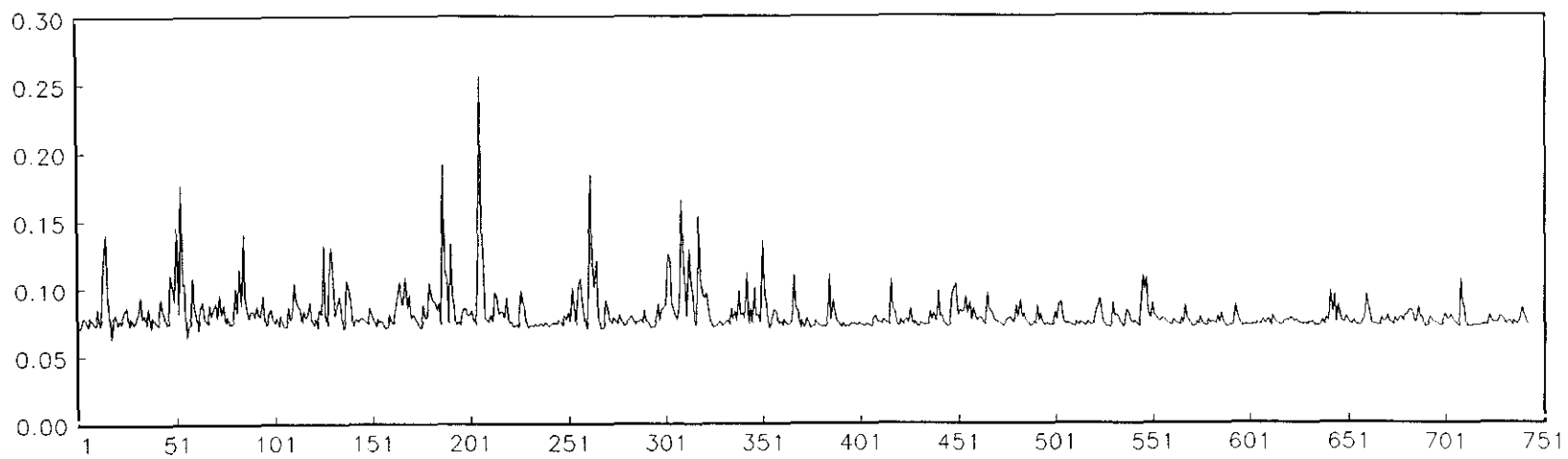


Ilustración 4.12. Volatilidad Tramo 2. Modelo GARCH.

Volatilidad Futuro
Tramo 3: 13-14 horas



Volatilidad Contado
Tramo 3: 13-14 horas

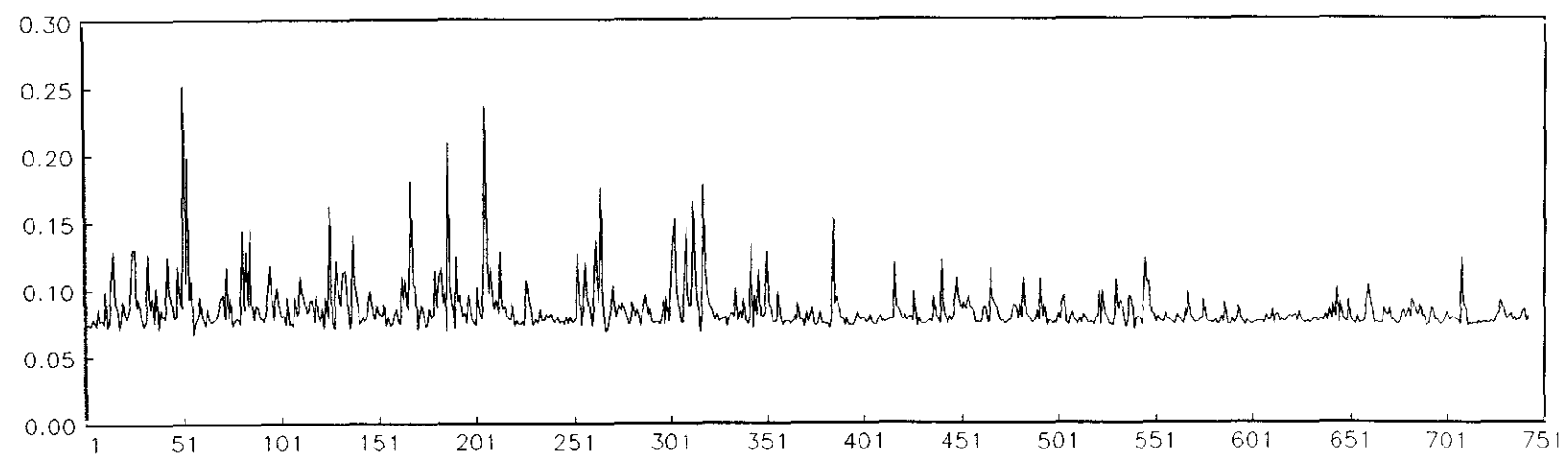
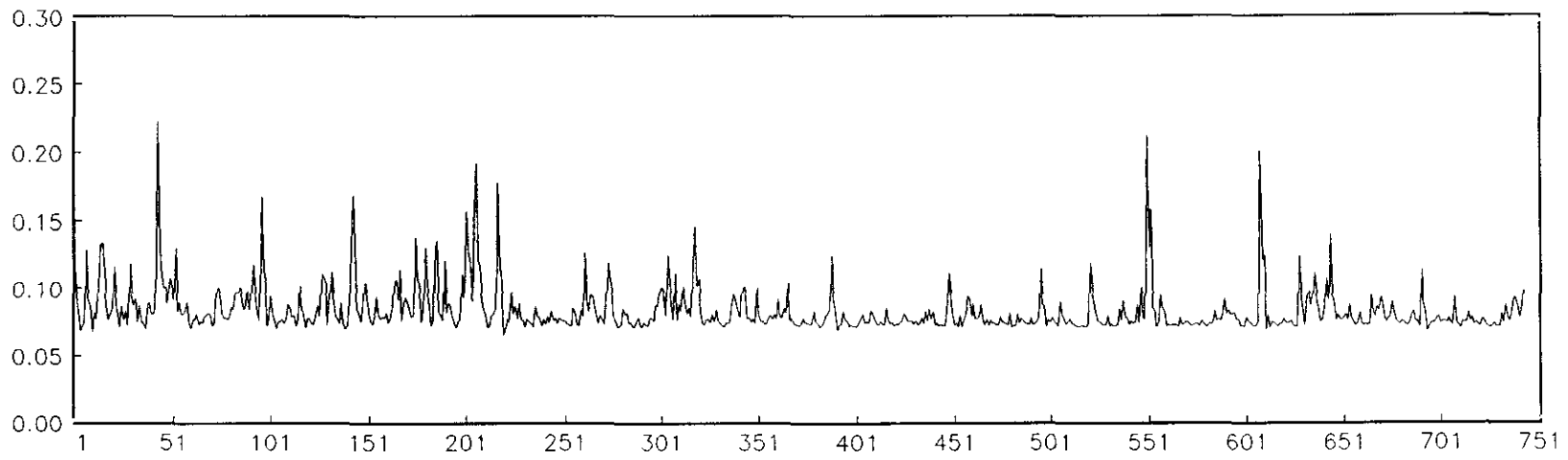


Ilustración 4.13. Volatilidad Tramo 3. Modelo GARCH.

Volatilidad Futuro
Tramo 4: 14-15 horas



Volatilidad Contado
Tramo 4: 14-15 horas

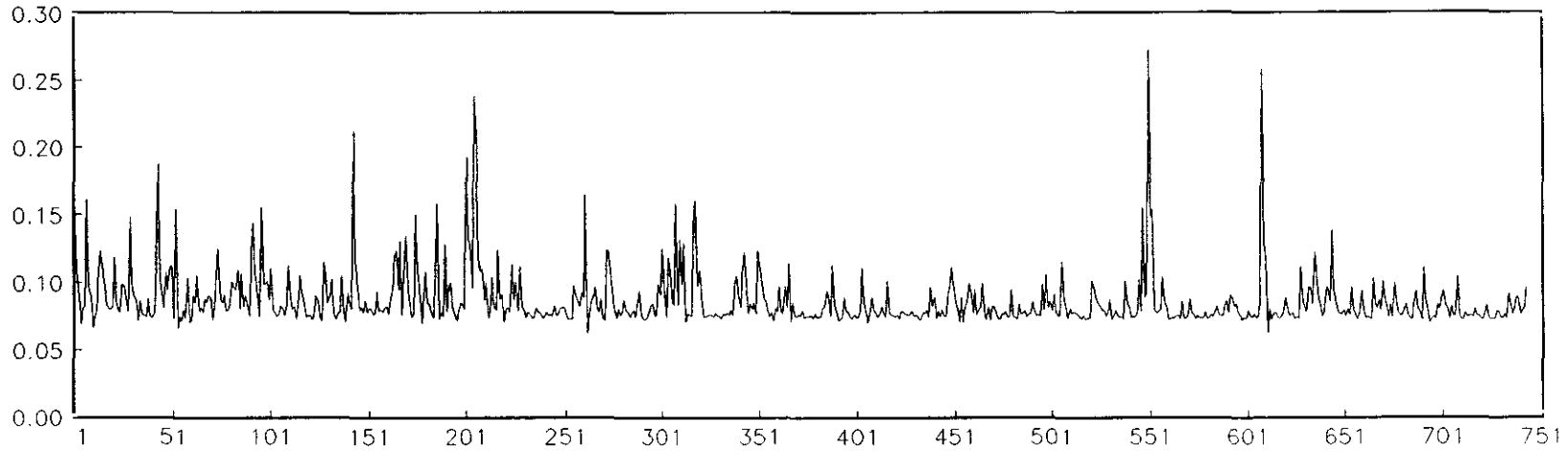
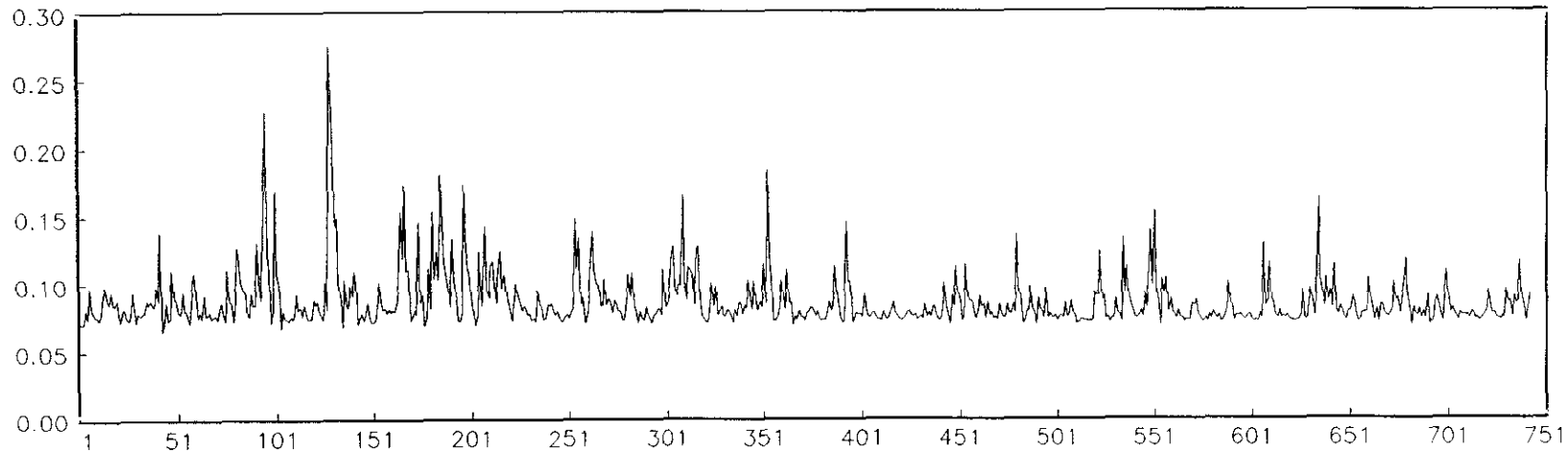


Ilustración 4.14. Volatilidad Tramo 4. Modelo GARCH.

Volatilidad Futuro
Tramo 5: 15-16 horas



Volatilidad Contado
Tramo 5: 15-16 horas

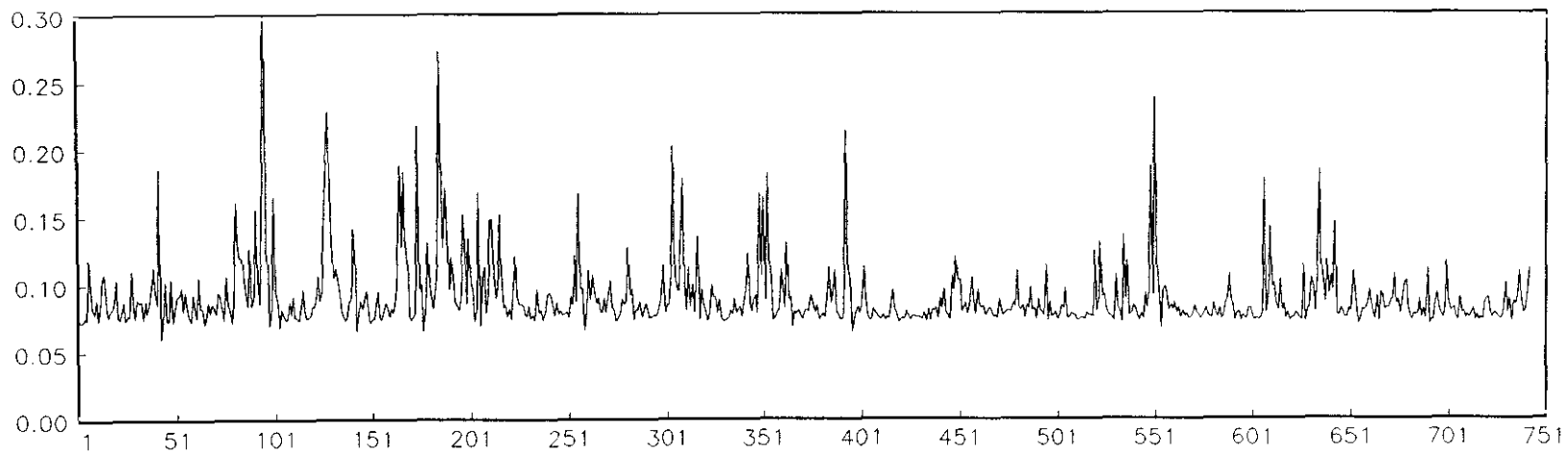
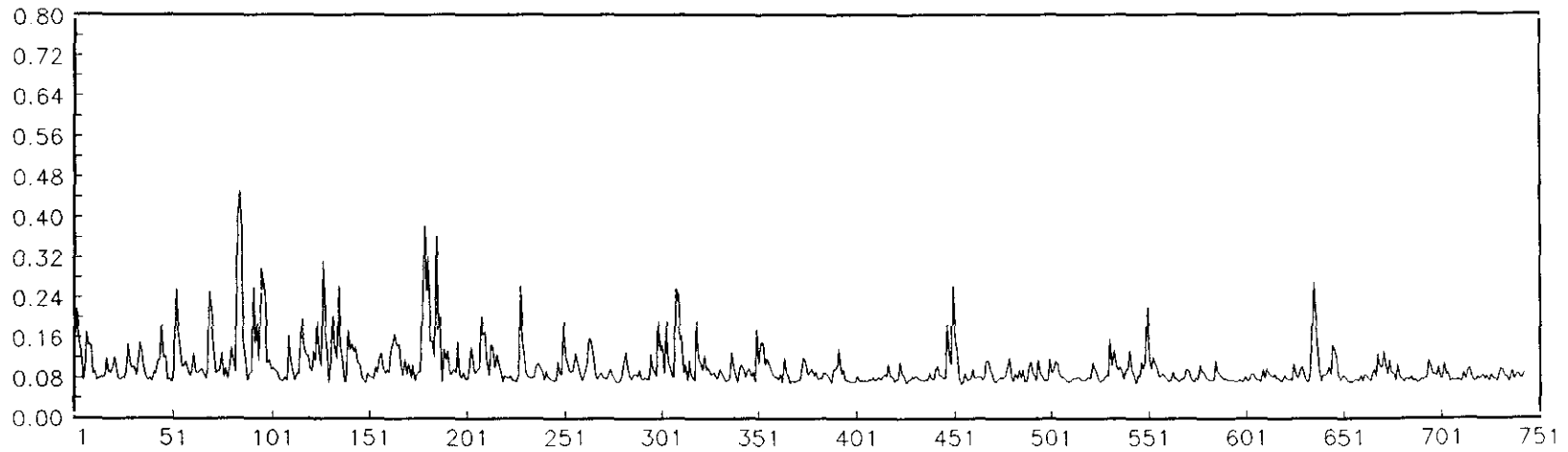


Ilustración 4.15. Volatilidad Tramo 5. Modelo GARCH.

Volatilidad Futuro
Tramo 6: 16-17 horas



Volatilidad Contado
Tramo 6: 16-17 horas

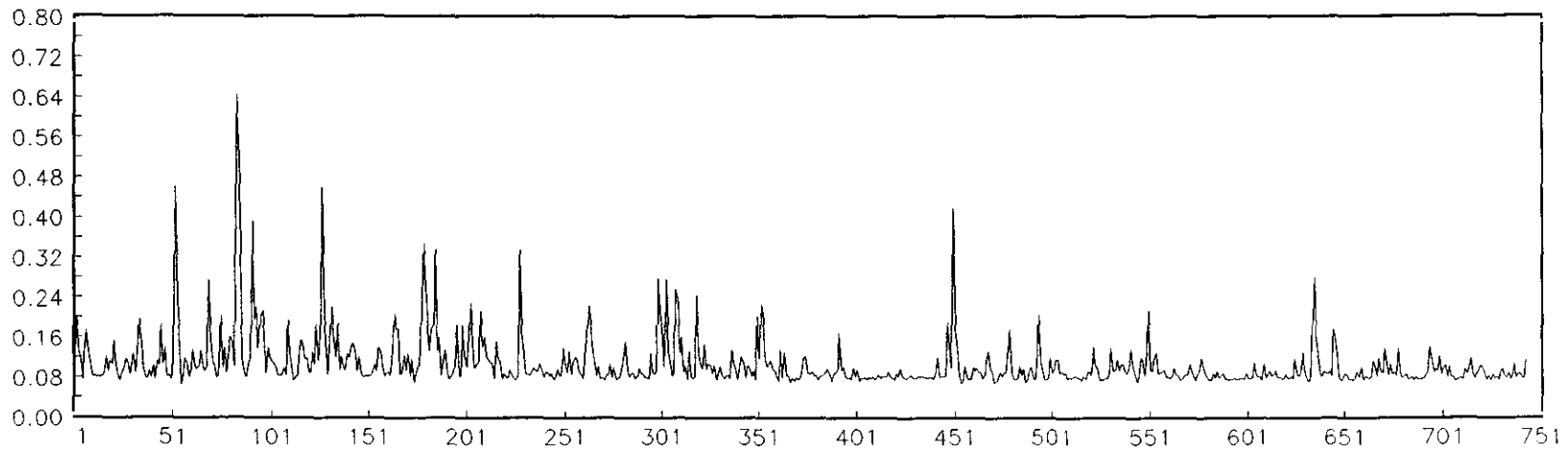


Ilustración 4.16. Volatilidad Tramo 6. Modelo *GARCH*.

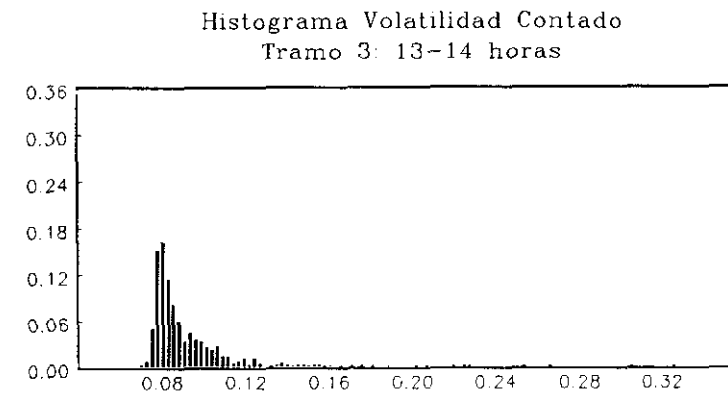
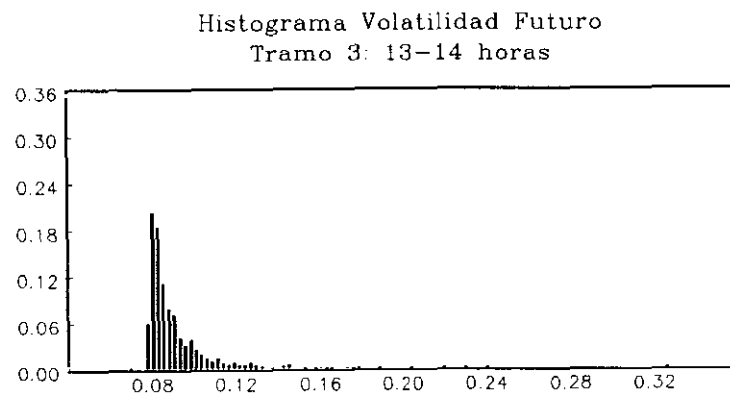
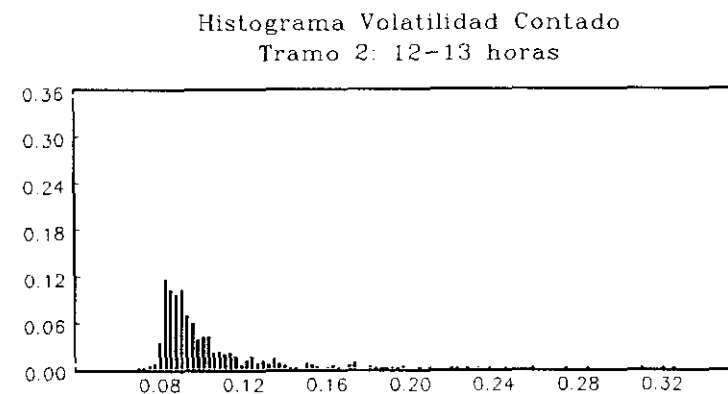
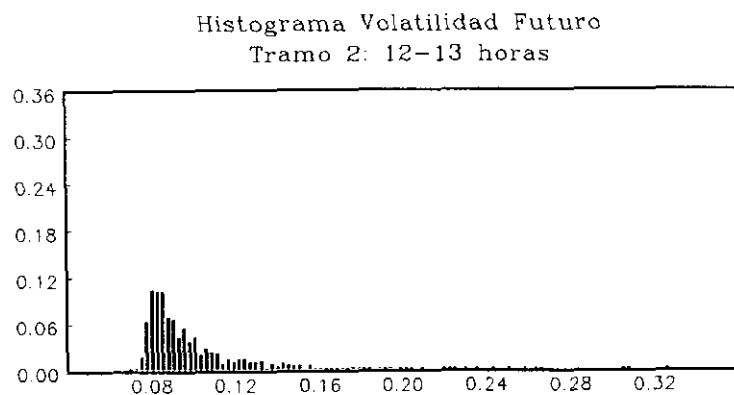
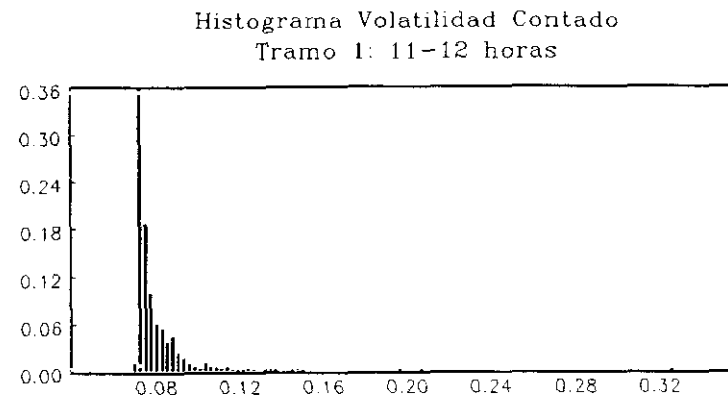
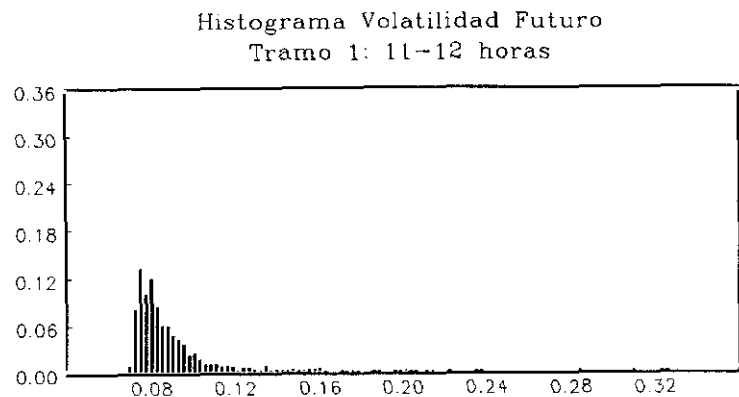


Ilustración 4.17. Histogramas de Volatilidad. Tramos 1, 2 y 3. Modelo GARCH.

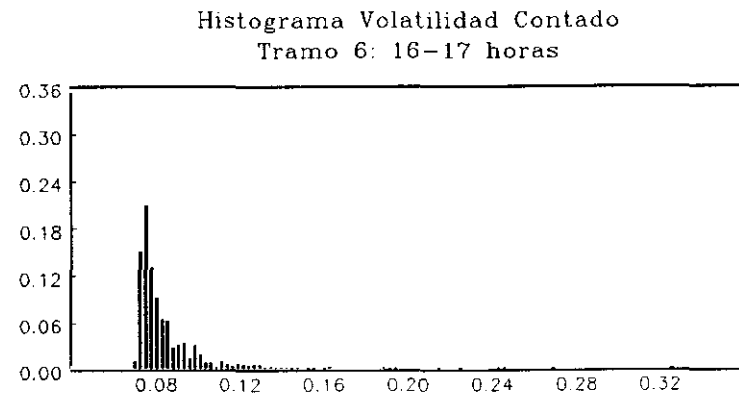
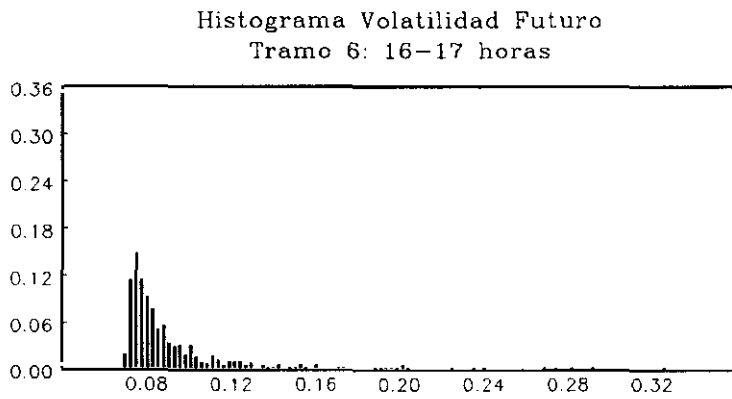
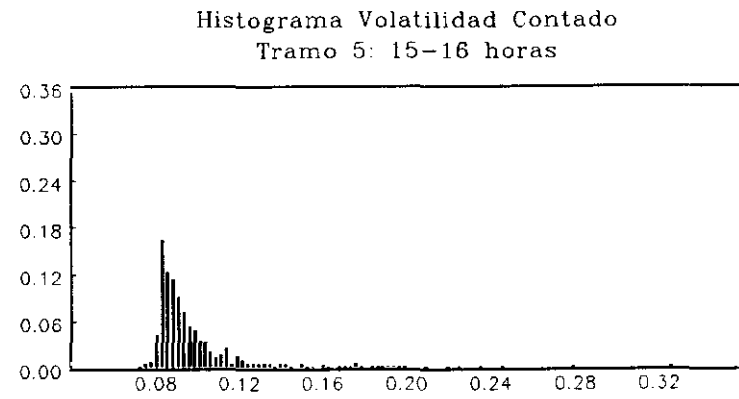
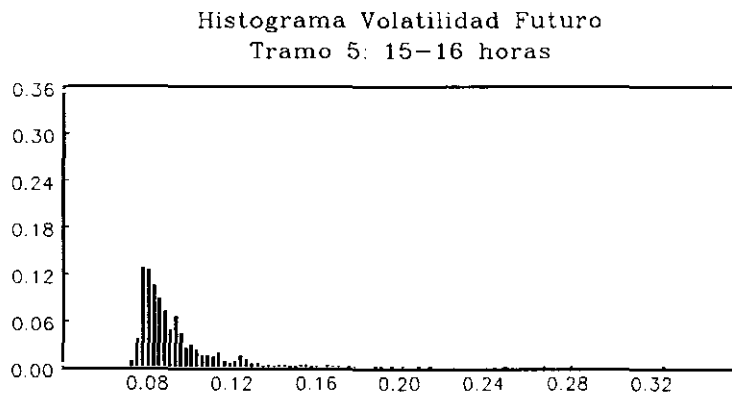
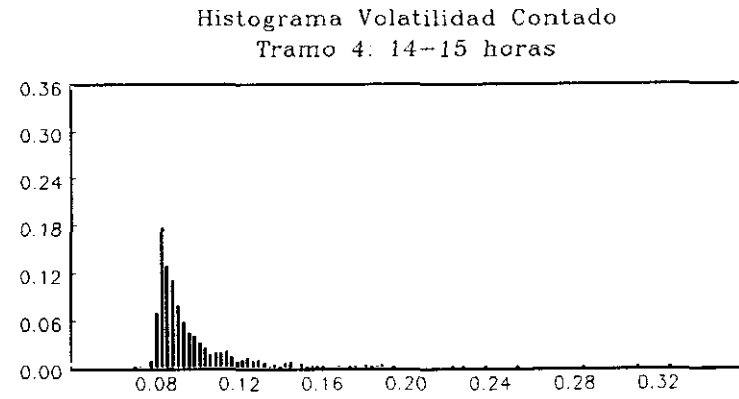
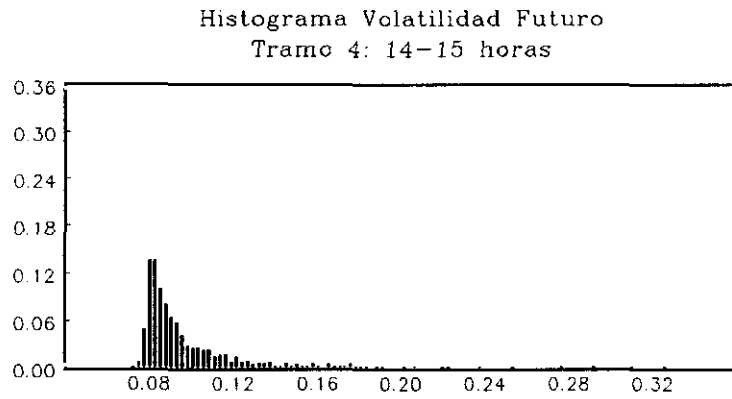
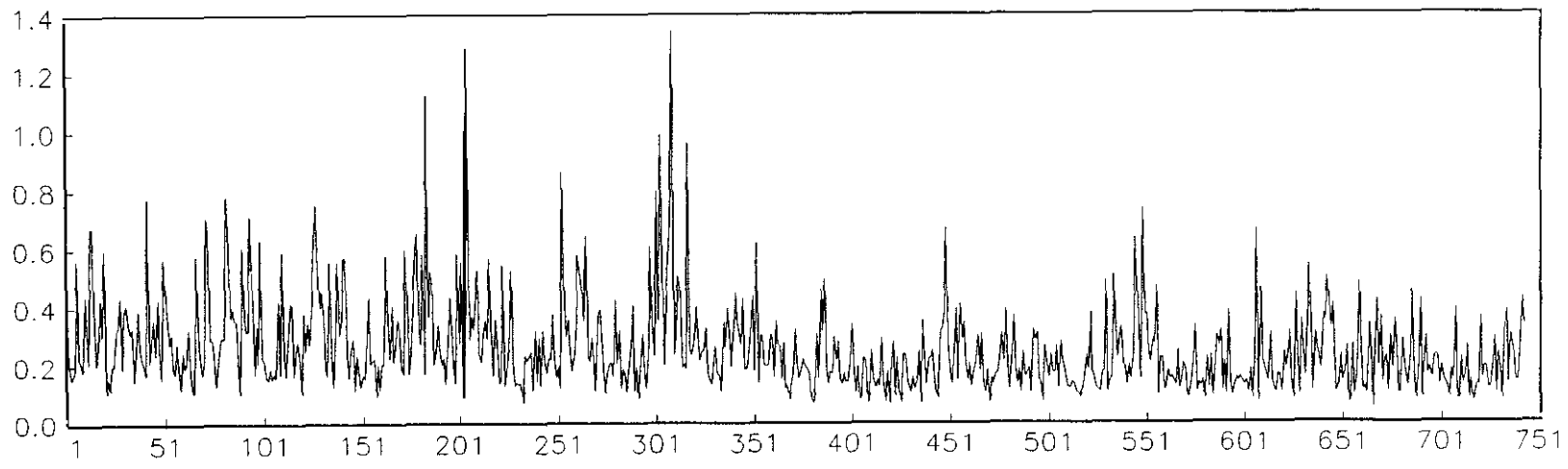


Ilustración 4.18. Histogramas de Volatilidad. Tramos 4, 5 y 6. Modelo GARCH.

Volatilidad diaria Mercado de Futuros
Muestra Global



Volatilidad diaria Mercado de Contado
Muestra Global

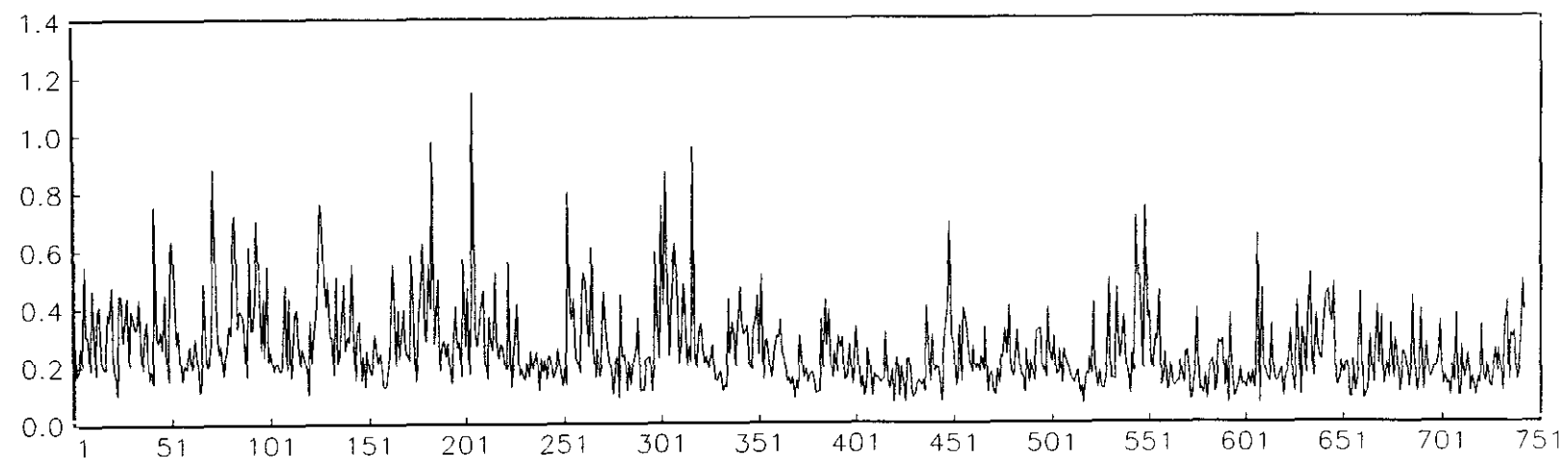
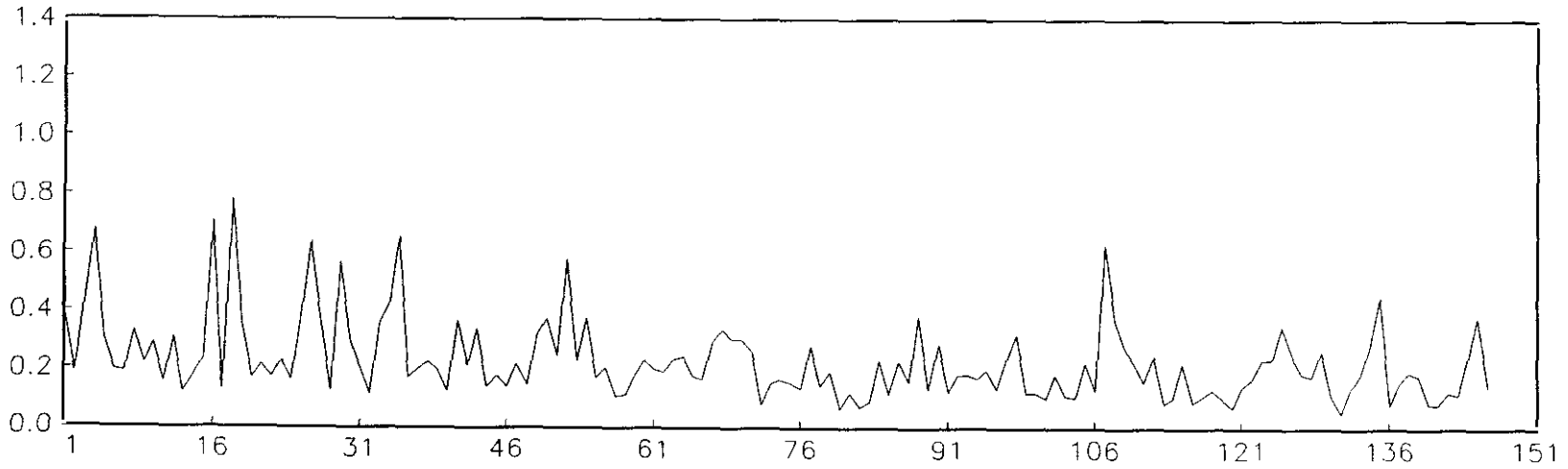


Ilustración 4.19. Volatilidades Diarias. Coeficientes de Variación. Muestra Global.

Volatilidad Futuro
Da: Lunes



Volatilidad Contado
Dia: Lunes

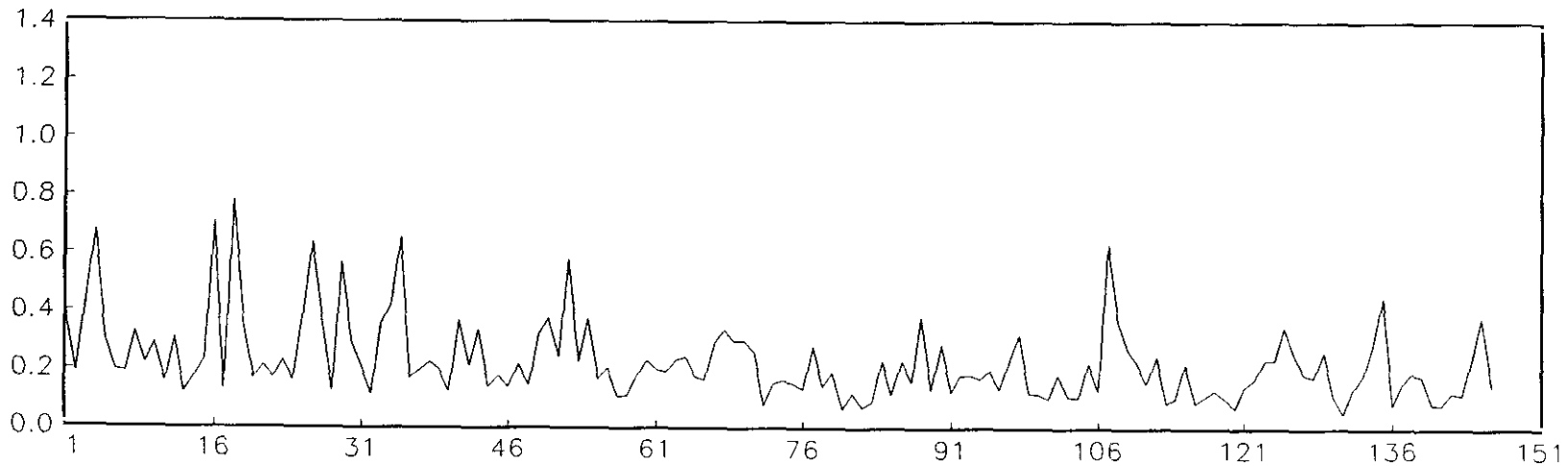
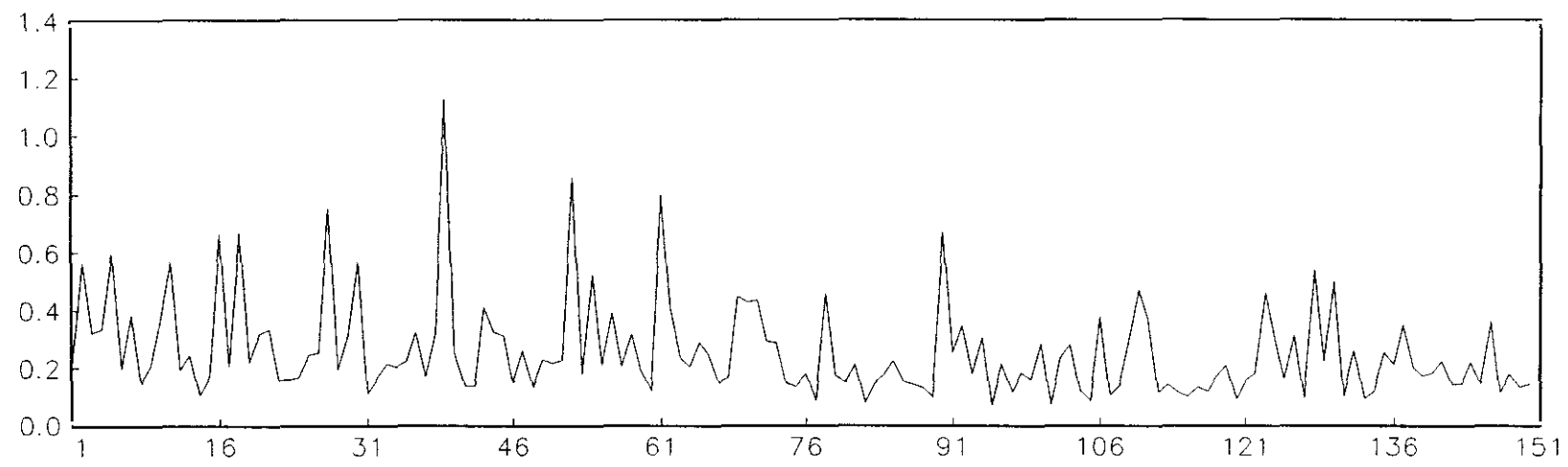


Ilustración 4.20. Volatilidades Diarias. Coeficientes de Variación. Día: Lunes.

Volatilidad Futuro
Dia: Martes



Volatilidad Contado
Dia: Martes

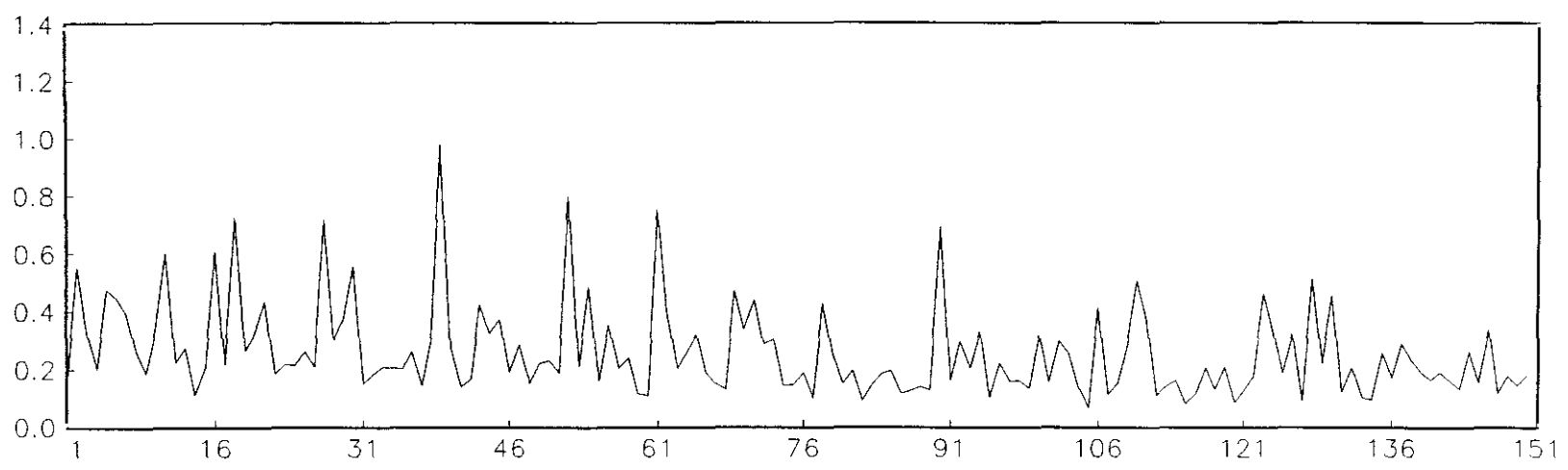
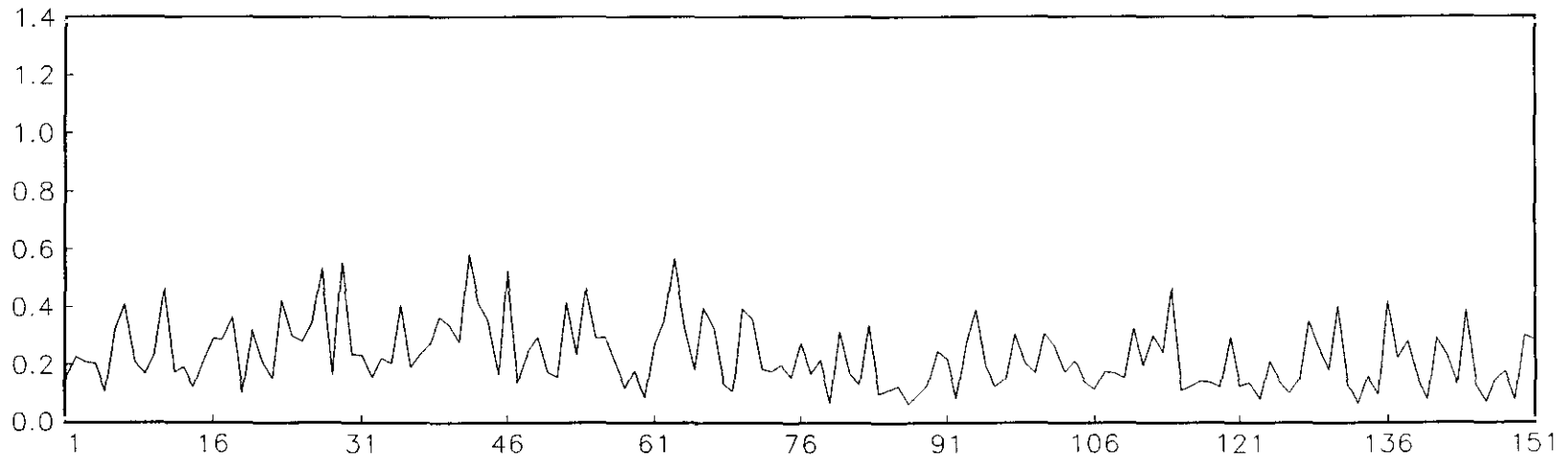


Ilustración 4.21. Volatilidades Diarias. Coeficientes de Variación. Día: Martes.

Volatilidad Futuro
Dia: Miercoles



Volatilidad Contado
Dia: Miercoles

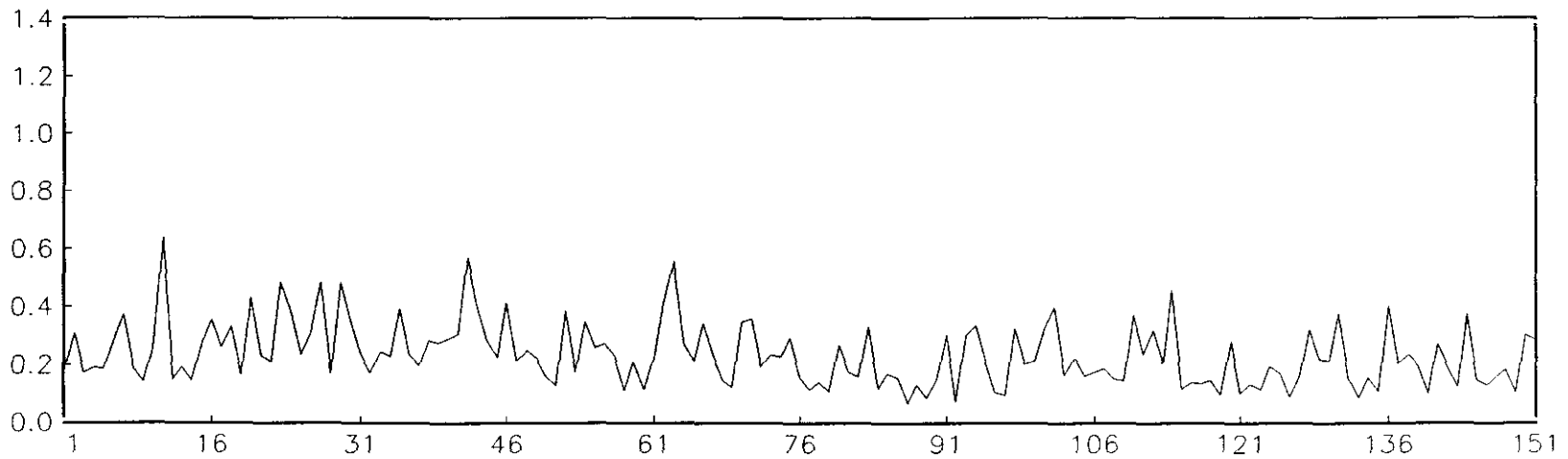
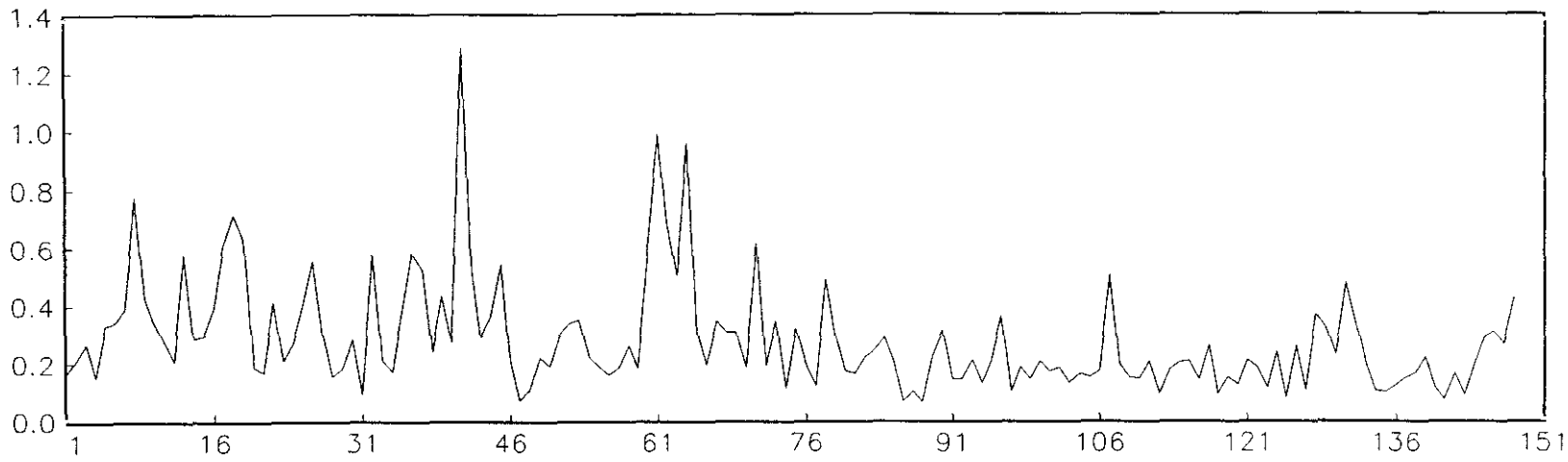


Ilustración 4.22. Volatilidades Diarias. Coeficientes de Variación. Día: Miércoles.

Volatilidad Futuro
Dia: Jueves



Volatilidad Contado
Dia: Jueves

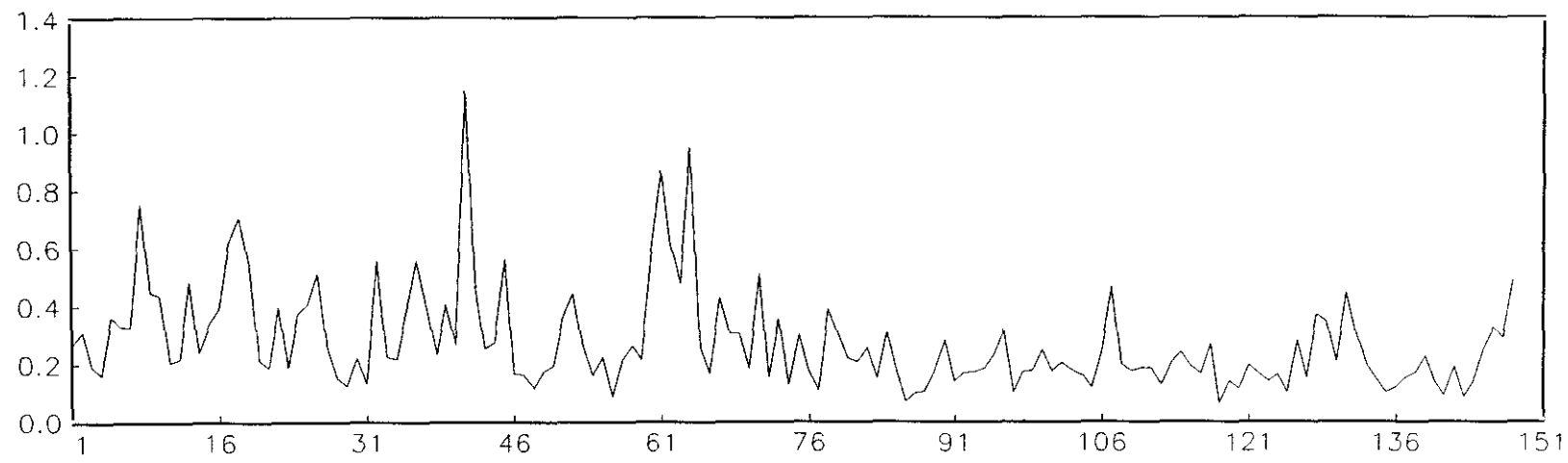


Ilustración 4.23. Volatilidades Diarias. Coeficientes de Variación. Día: Jueves.

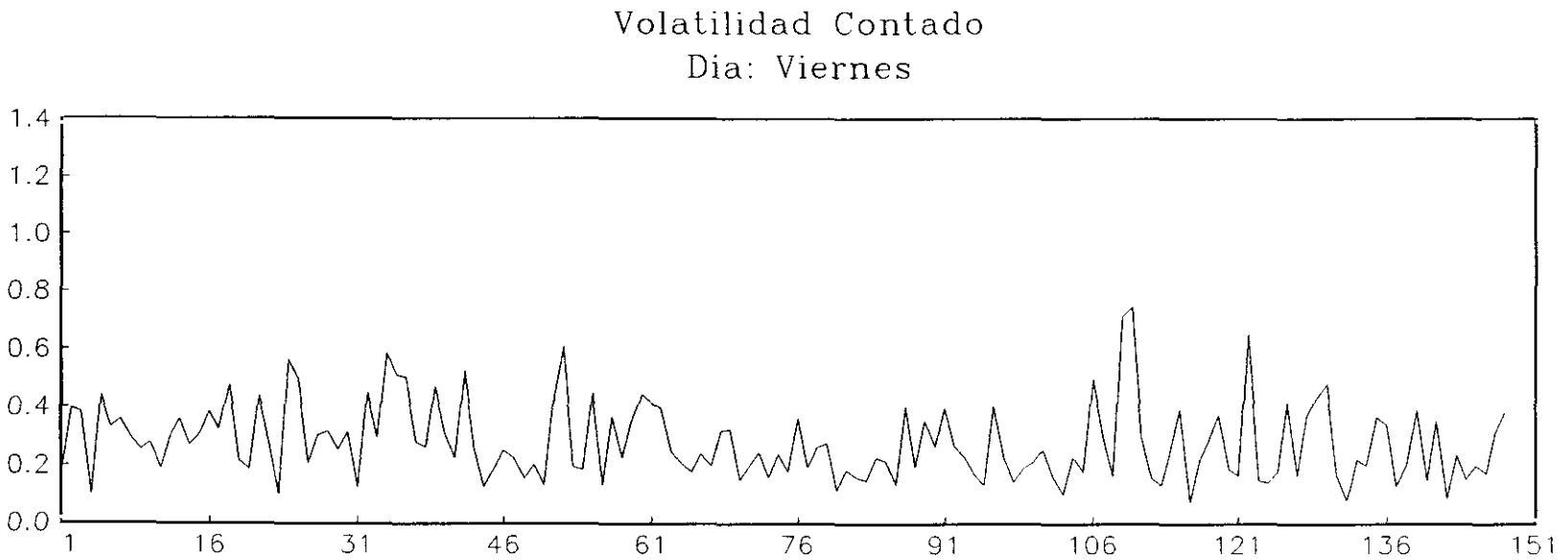
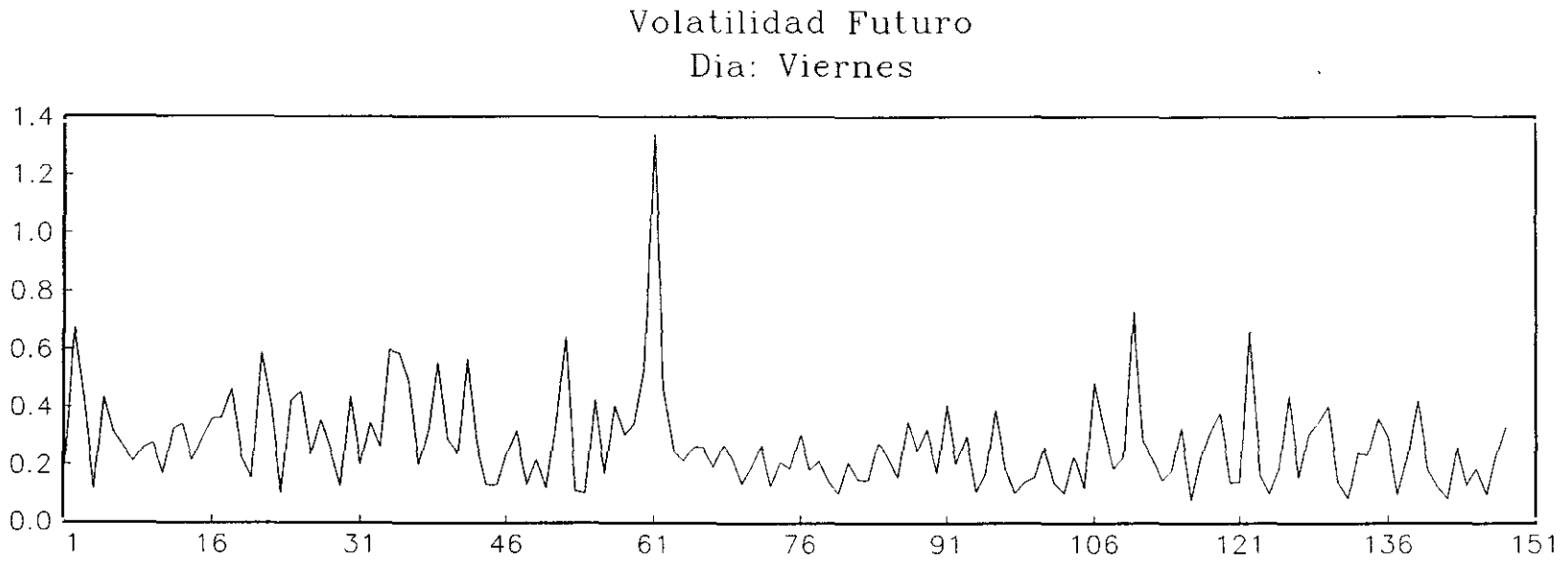


Ilustración 4.24. Volatilidades Diarias. Coeficientes de Variación. Día: Viernes.

GRAFICO 4.25. VOLATILIDAD DIARIA.(C.V.)
DIA: LUNES

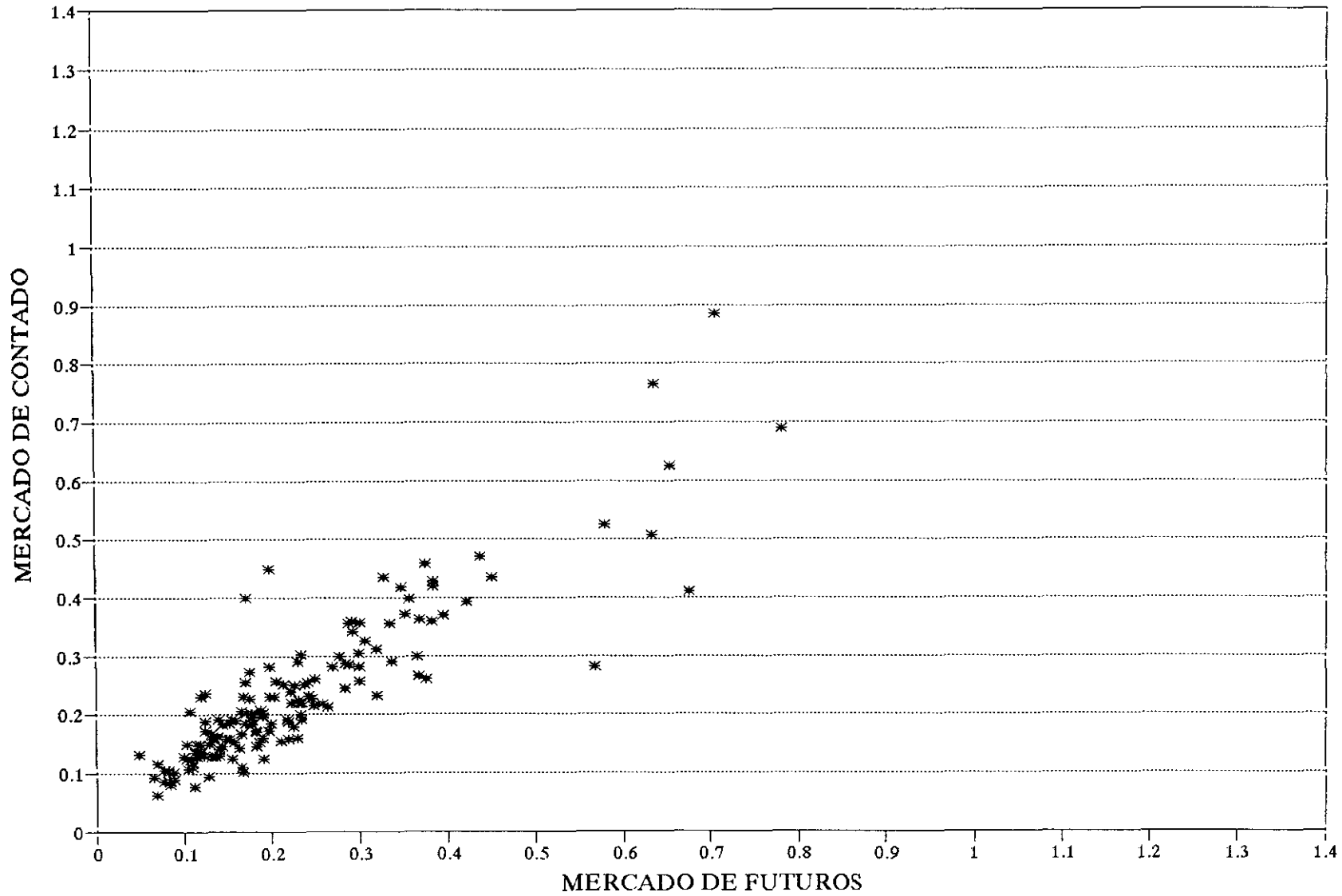


GRAFICO 4.26. VOLATILIDAD DIARIA.(C.V.)
DIA: MARTES

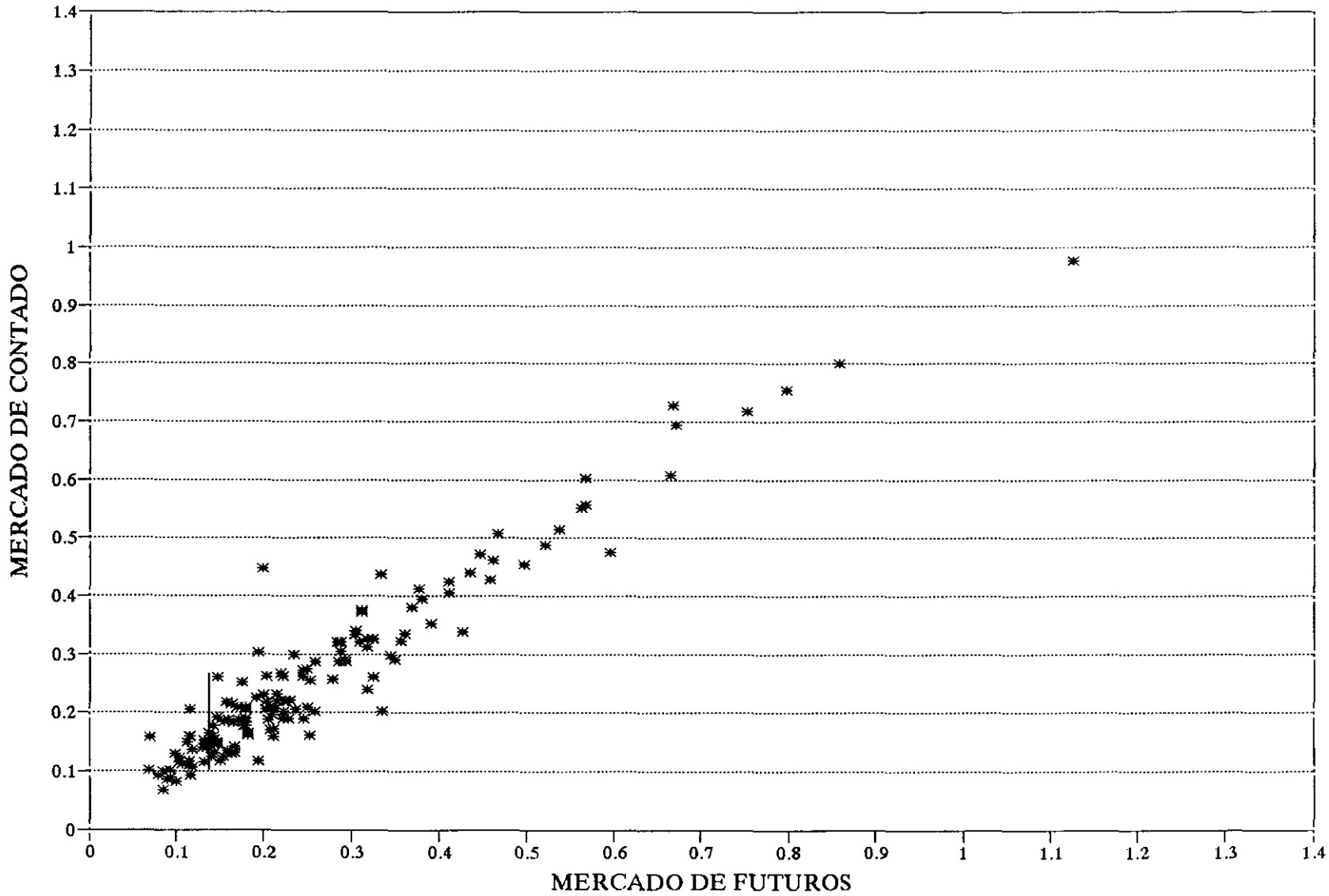


GRAFICO 4.27. VOLATILIDAD DIARIA.(C.V.)
DIA: MIERCOLES

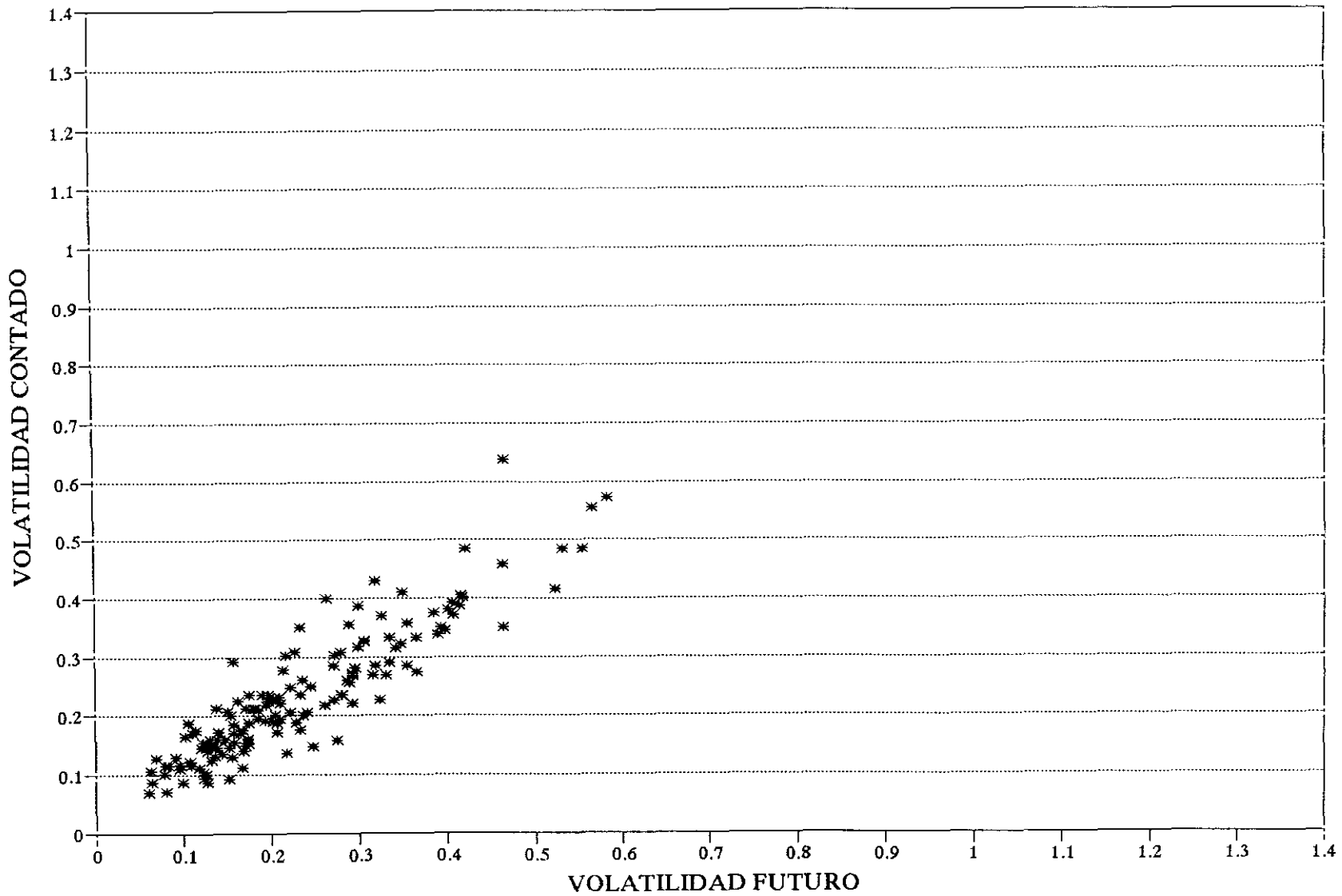


GRAFICO 4.28. VOLATILIDAD DIARIA.(C.V.)
DIA: JUEVES

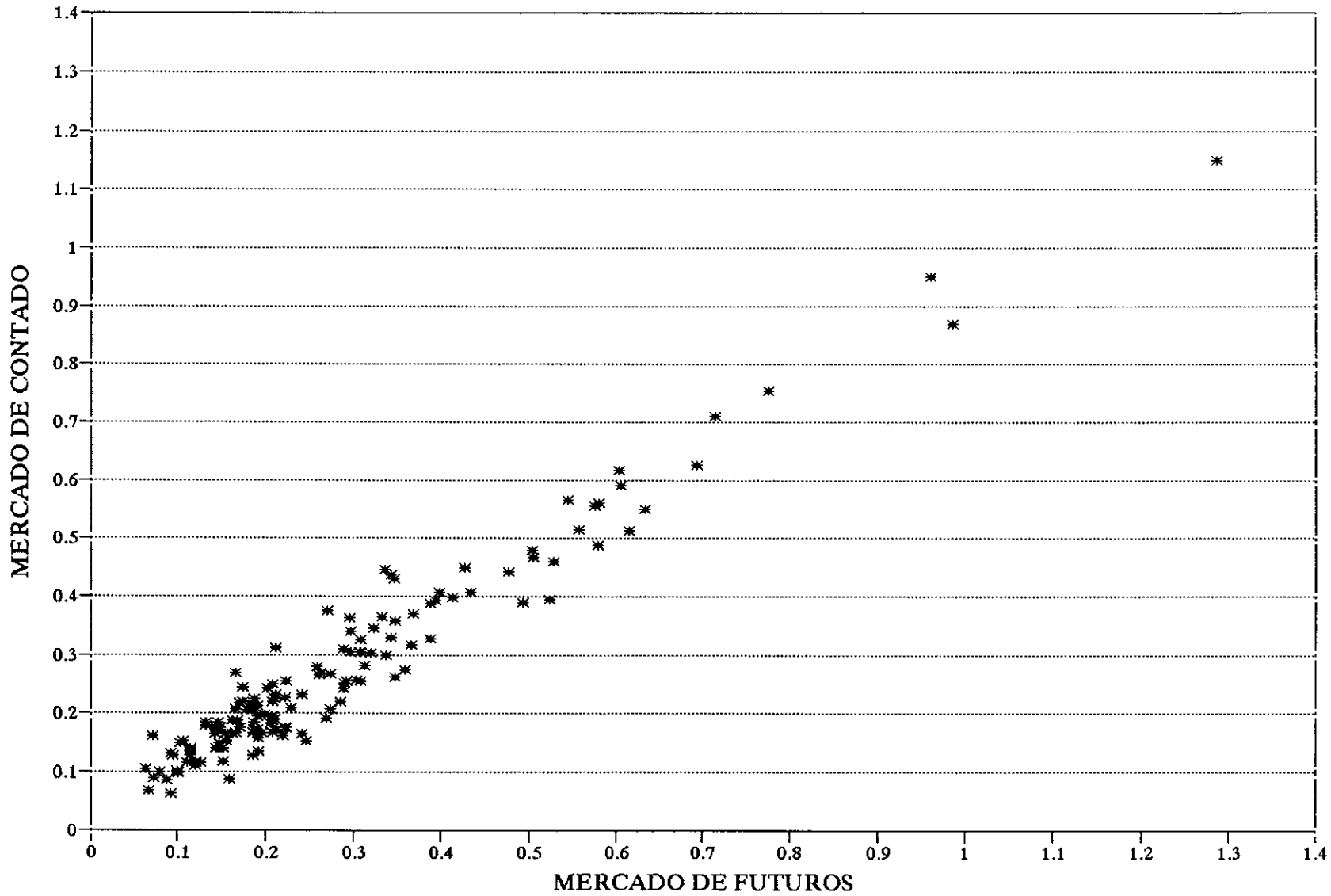
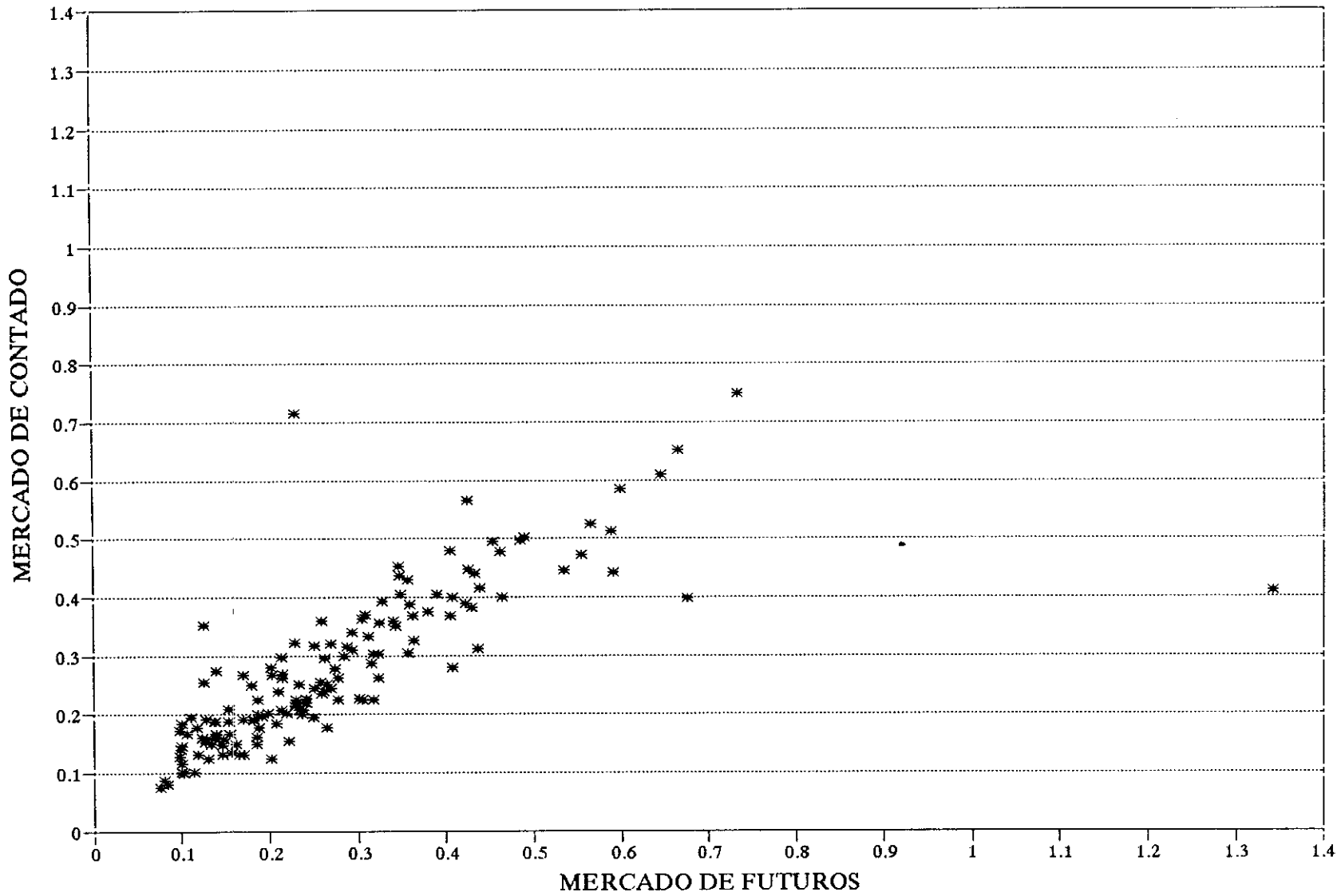


GRAFICO 4.29. VOLATILIDAD DIARIA.(C.V.)
DIA: VIERNES



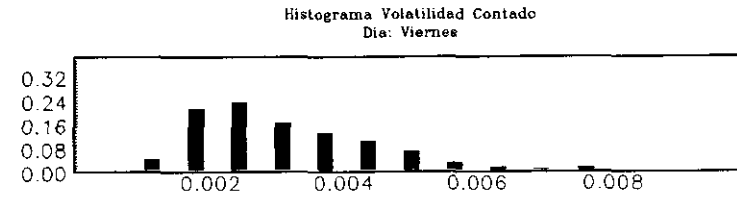
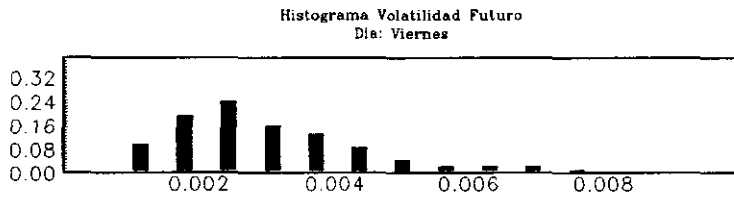
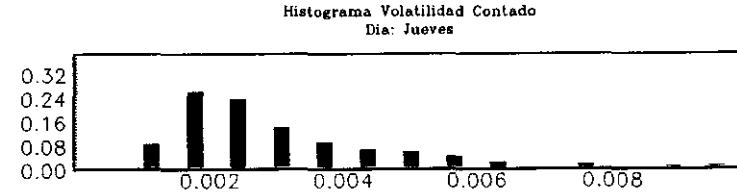
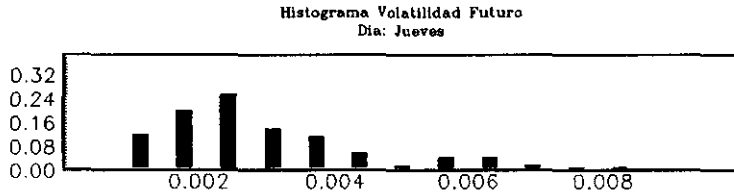
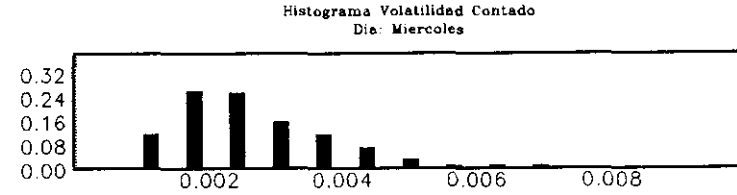
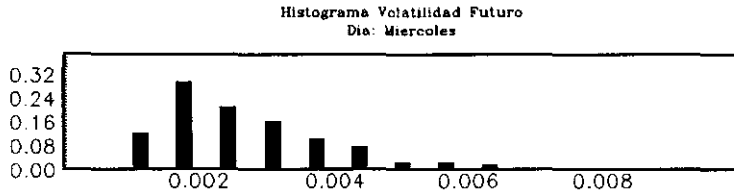
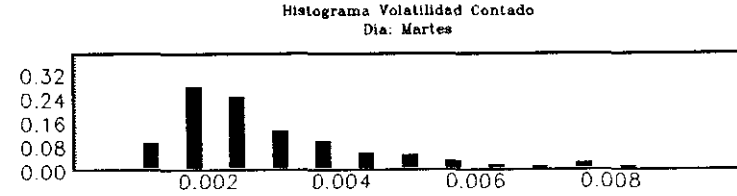
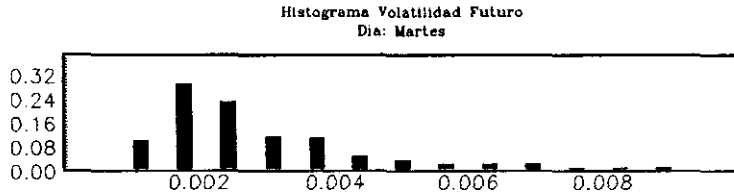
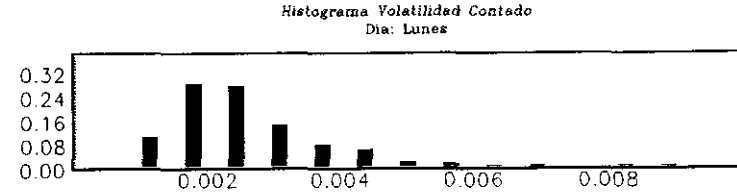
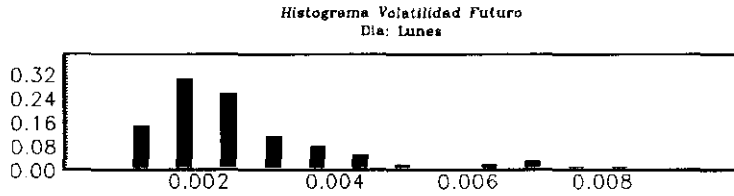
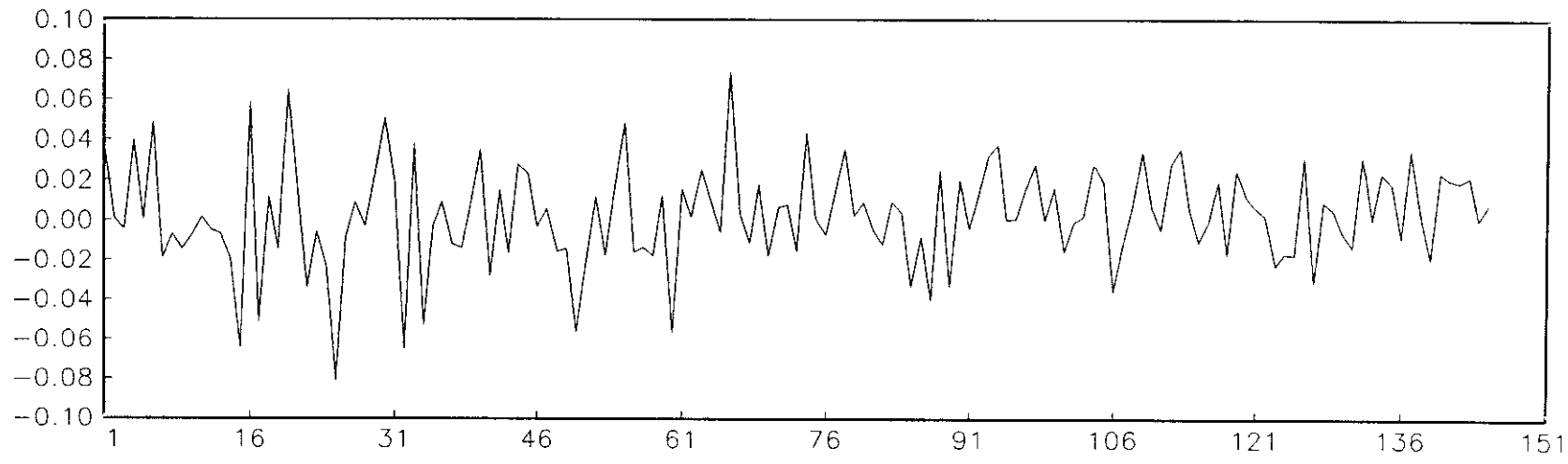


Ilustración 4.30. Histogramas de Volatilidad por Día de la Semana. Coeficientes de Variación.

Rentabilidad Futuro
Dia: Lunes



Rentabilidad Contado
Dia: Lunes

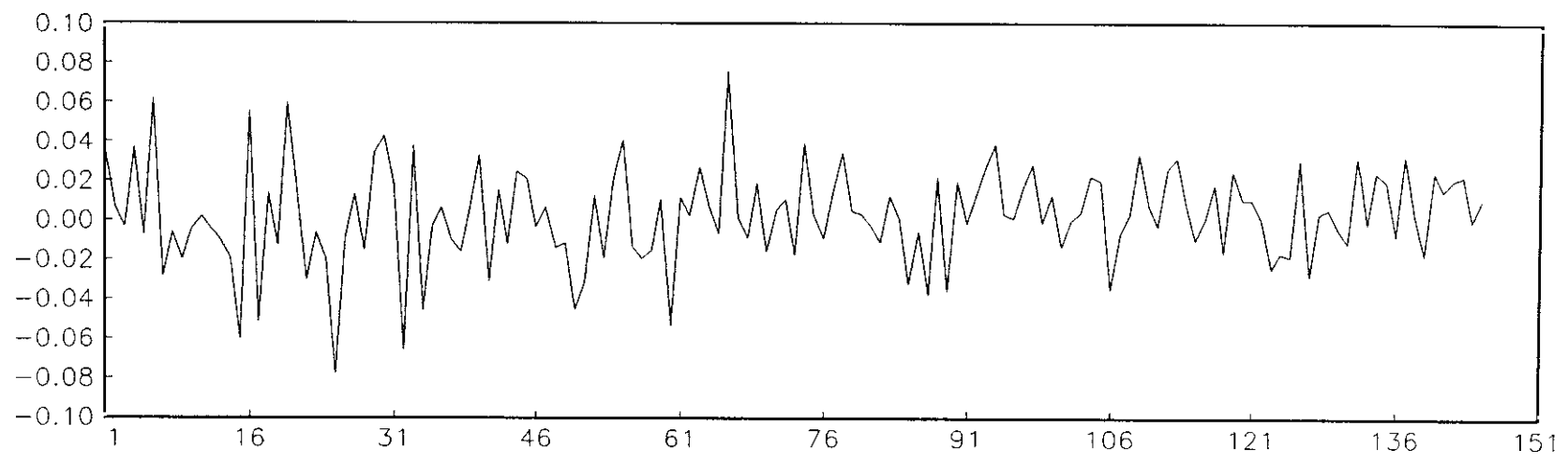


Ilustración 4.31. Rentabilidades Semanales. Día: Lunes.

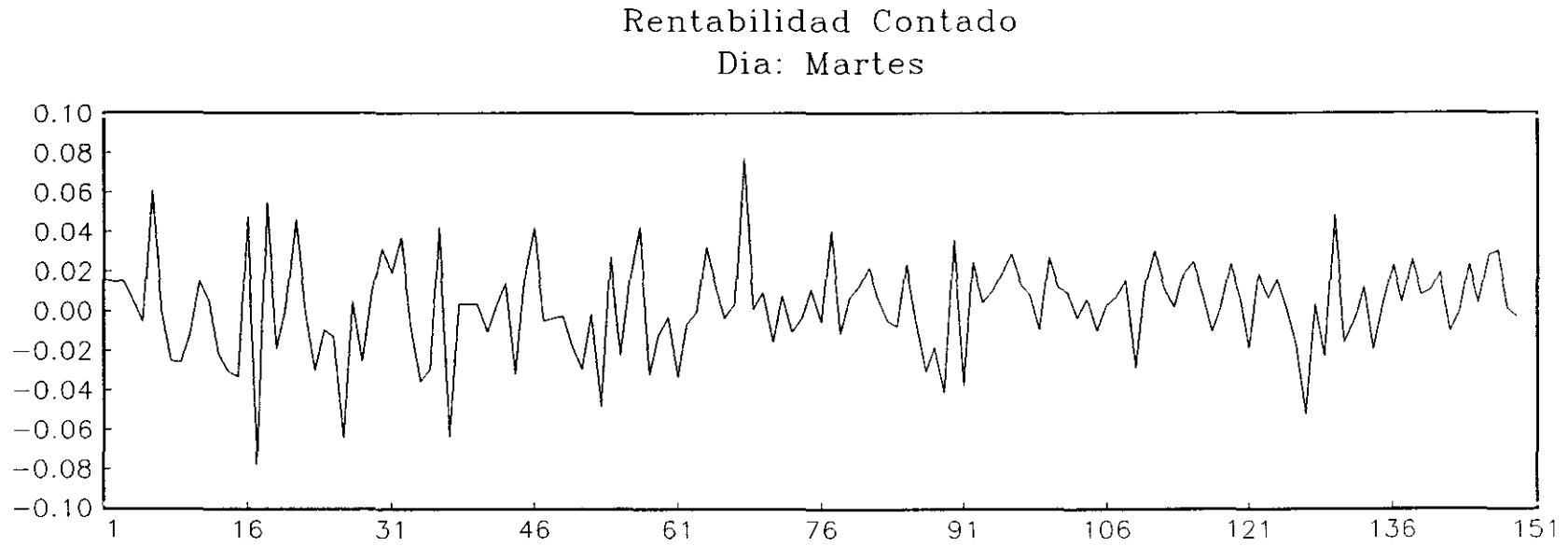
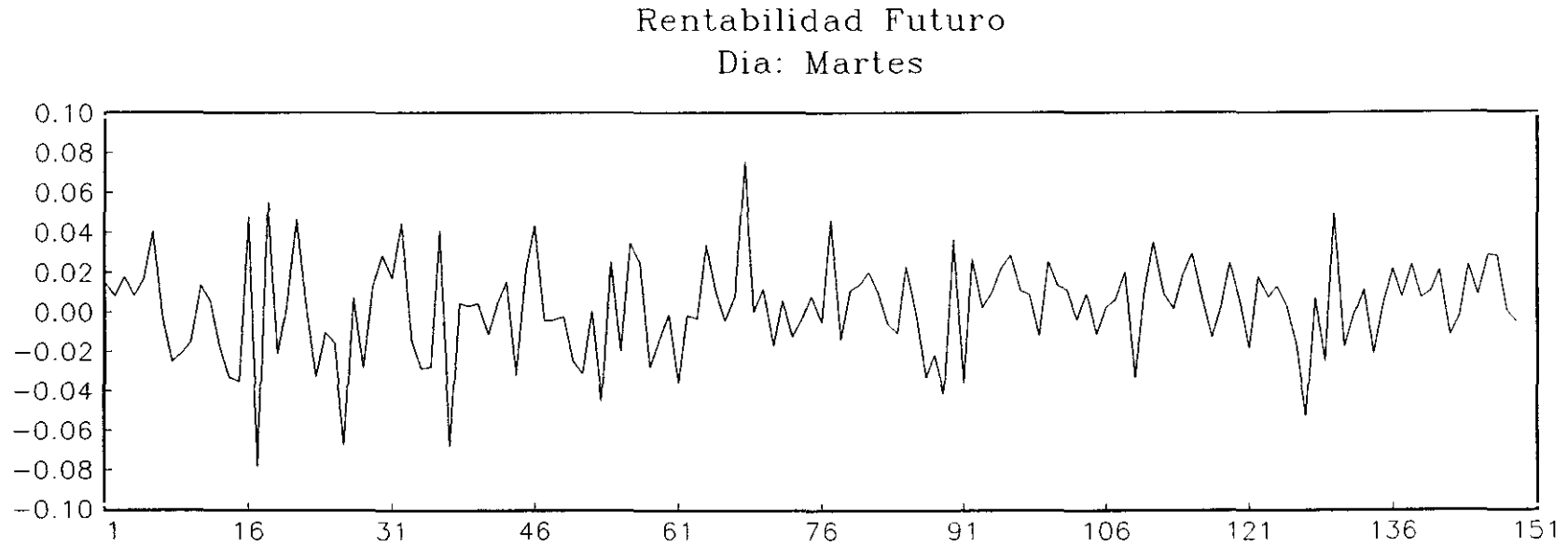
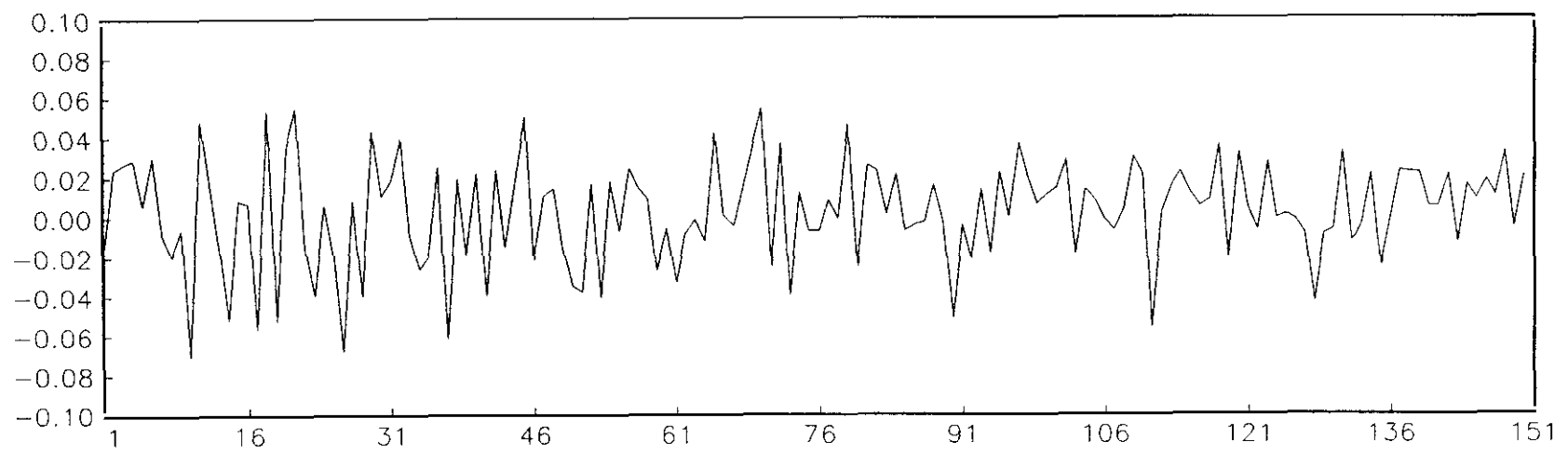


Ilustración 4.32. Rentabilidades Semanales. Día: Martes.

Rentabilidad Futuro
Dia: Miercoles



Rentabilidad Contado
Dia: Miercoles

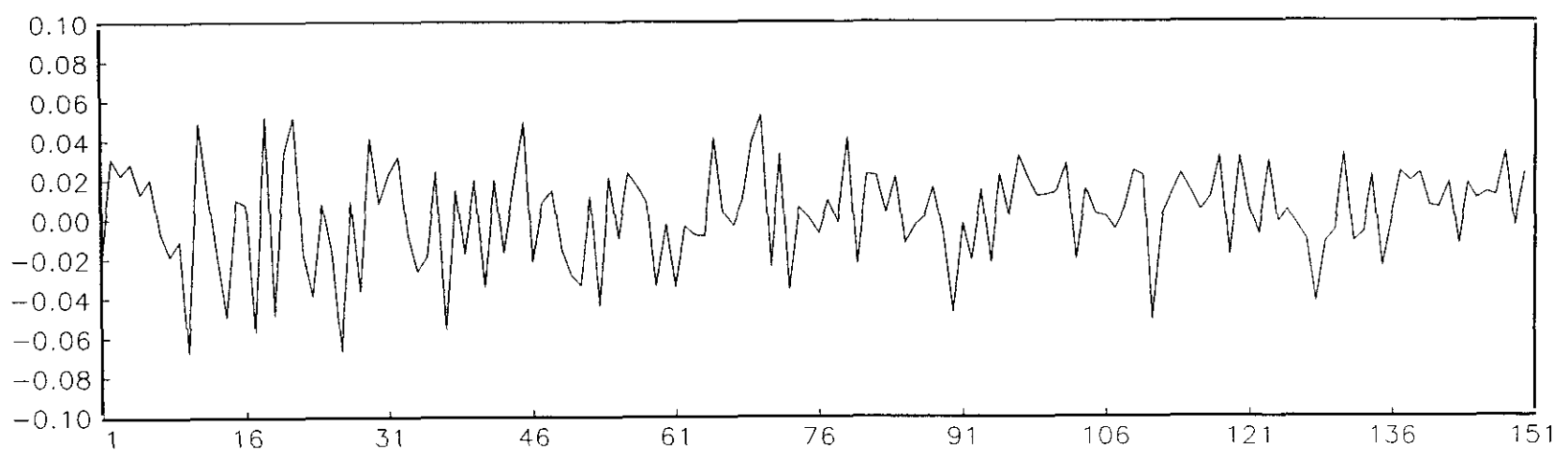


Ilustración 4.33. Rentabilidades Semanales. Día: Miércoles.

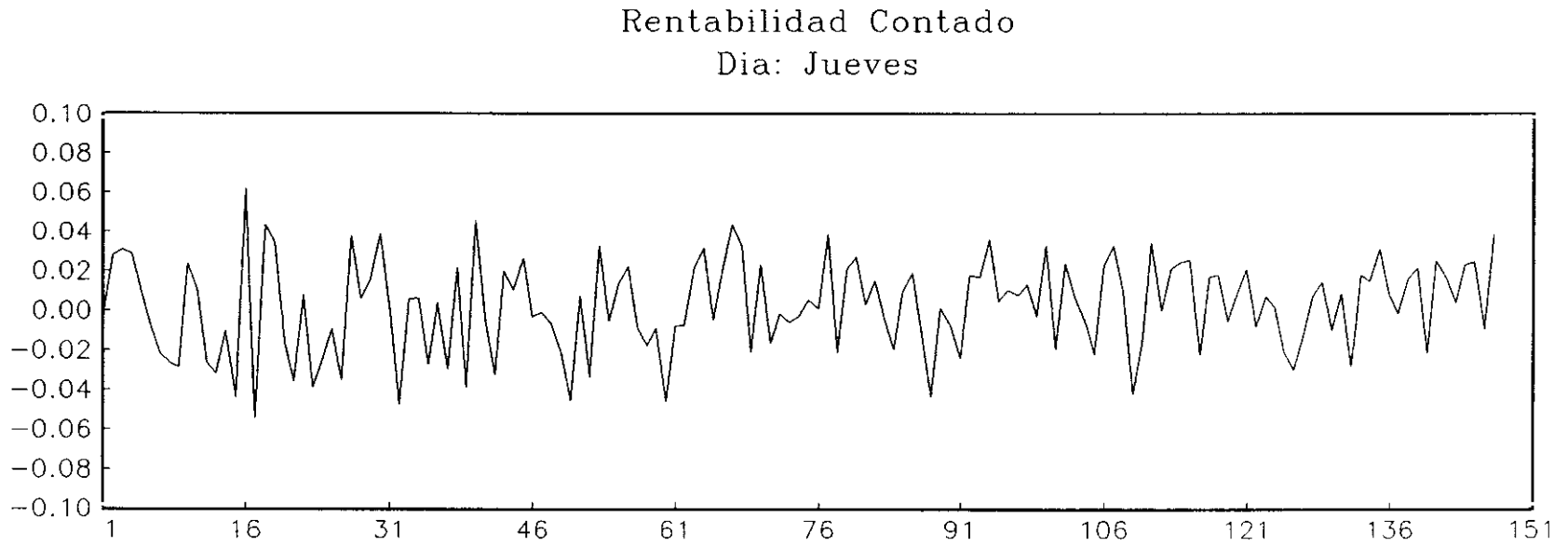
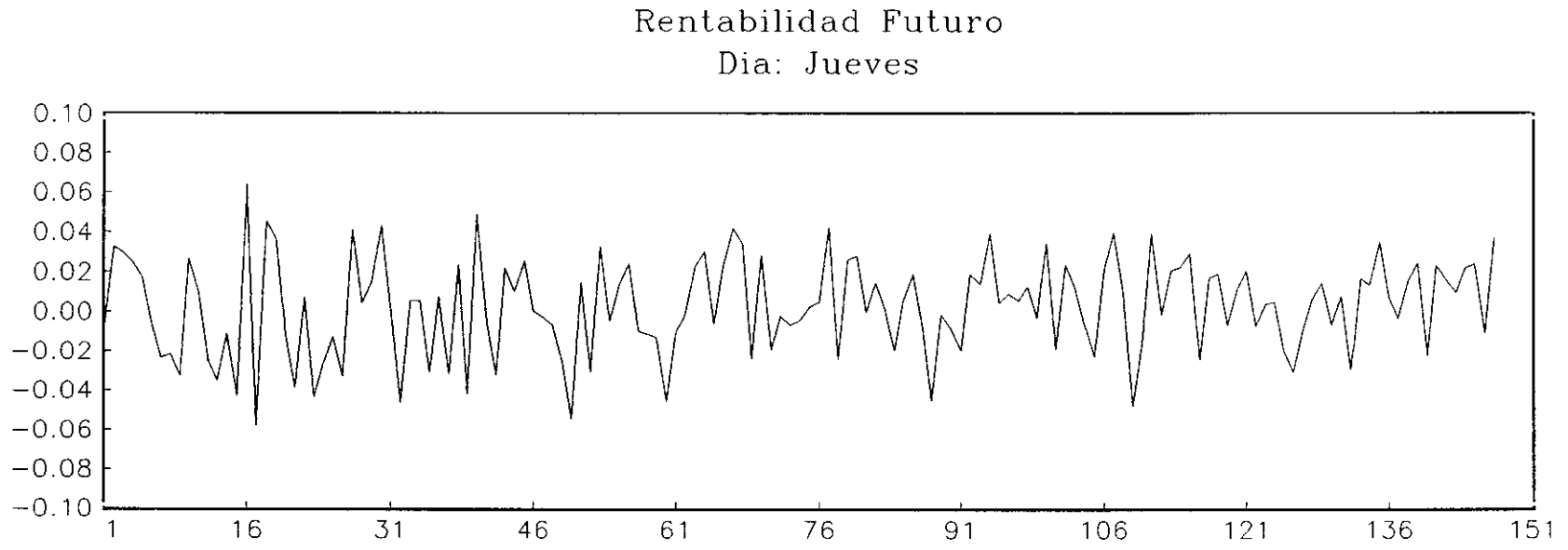
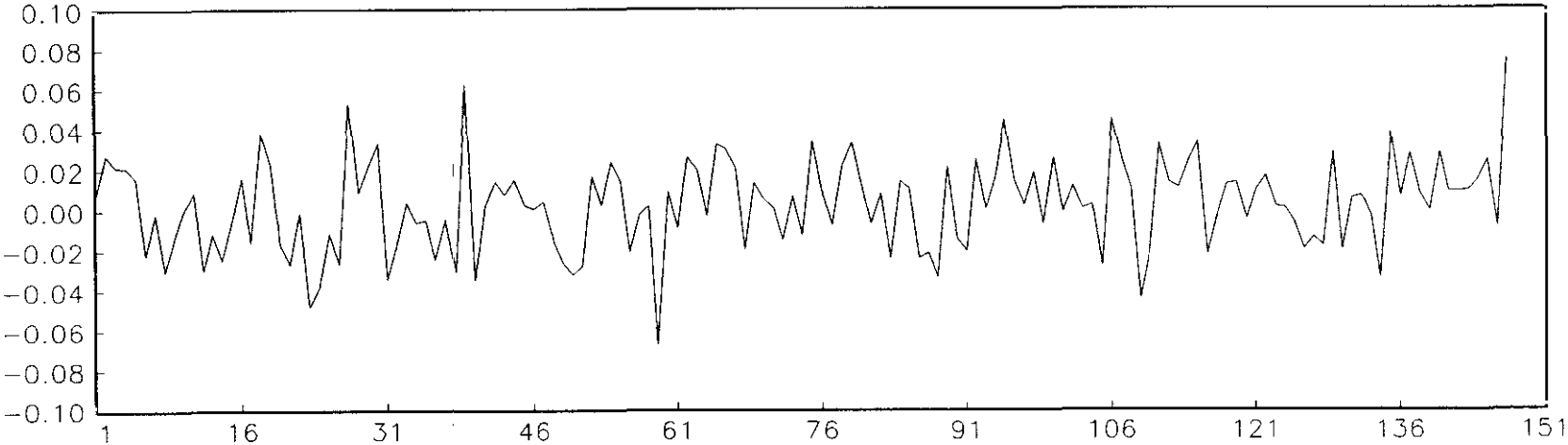


Ilustración 4.34. Rentabilidades Semanales. Día: Jueves.

Rentabilidad Futuro
Dia: Viernes



Rentabilidad Contado
Dia: Viernes

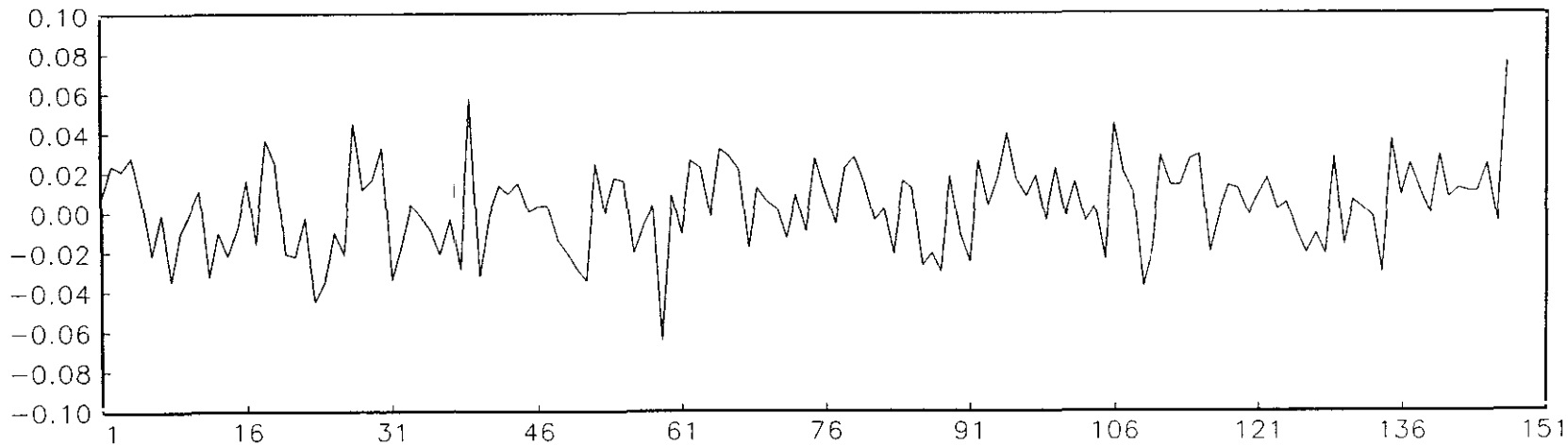


Ilustración 4.35. Rentabilidades Semanales. Día: Viernes.

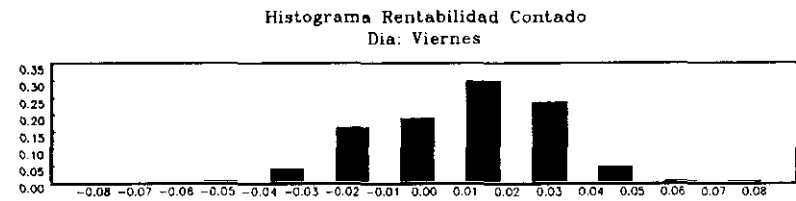
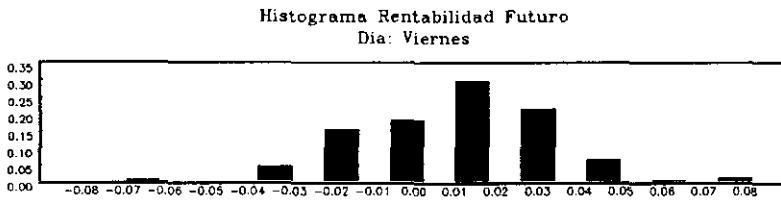
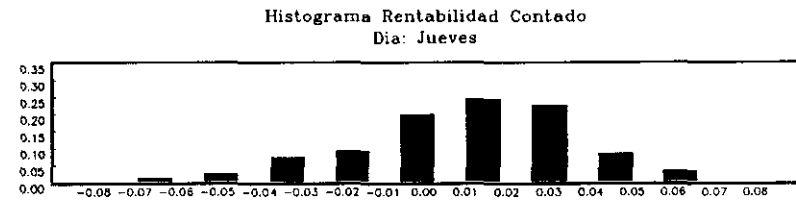
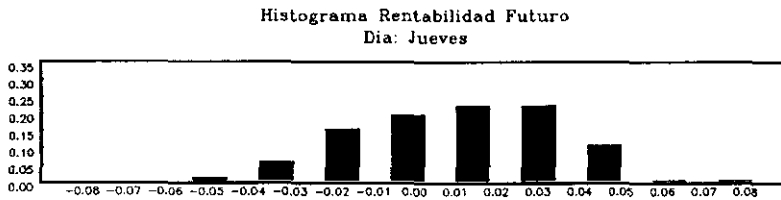
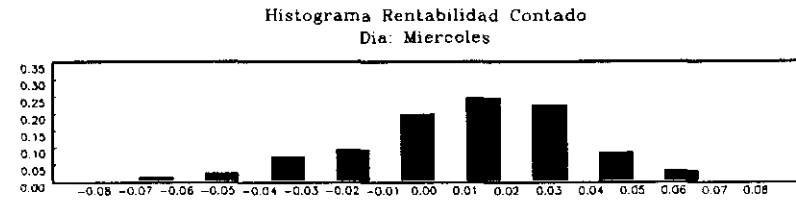
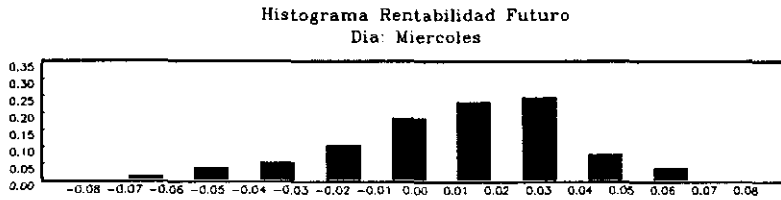
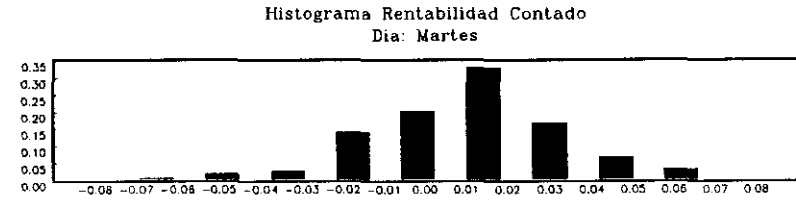
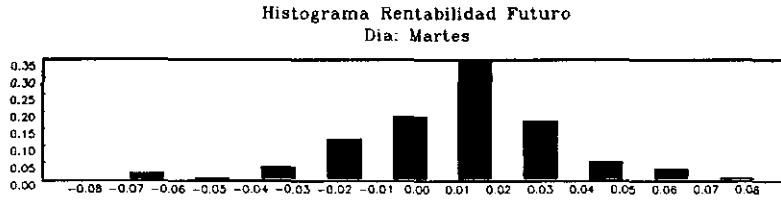
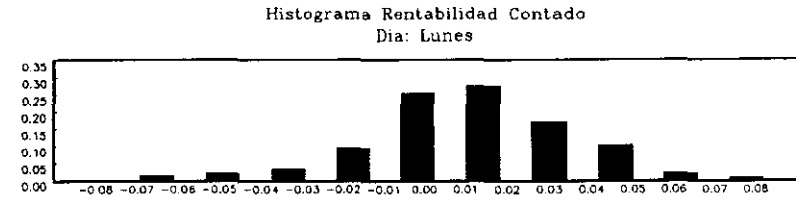
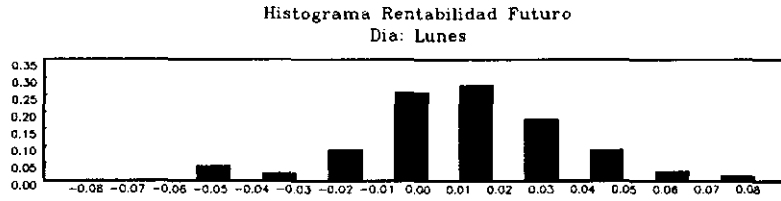
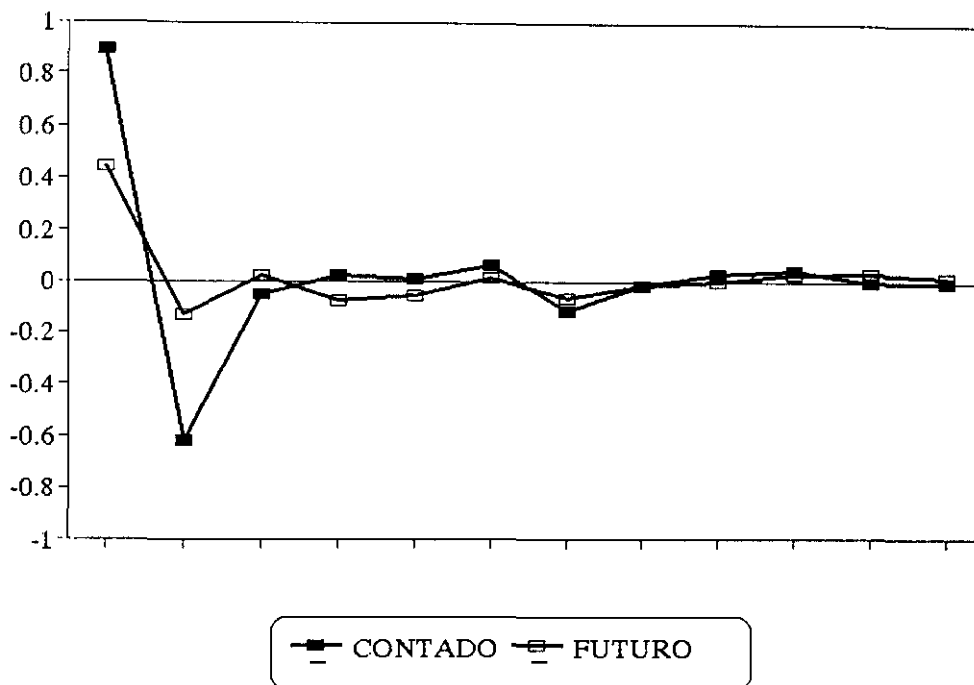


Ilustración 4.36. Histogramas de Rentabilidades Semanales.

F. DE RESPUESTA A UN IMPULSO
RESPUESTAS A FUTURO



F. DE RESPUESTA A UN IMPULSO
RESPUESTAS A CONTADO

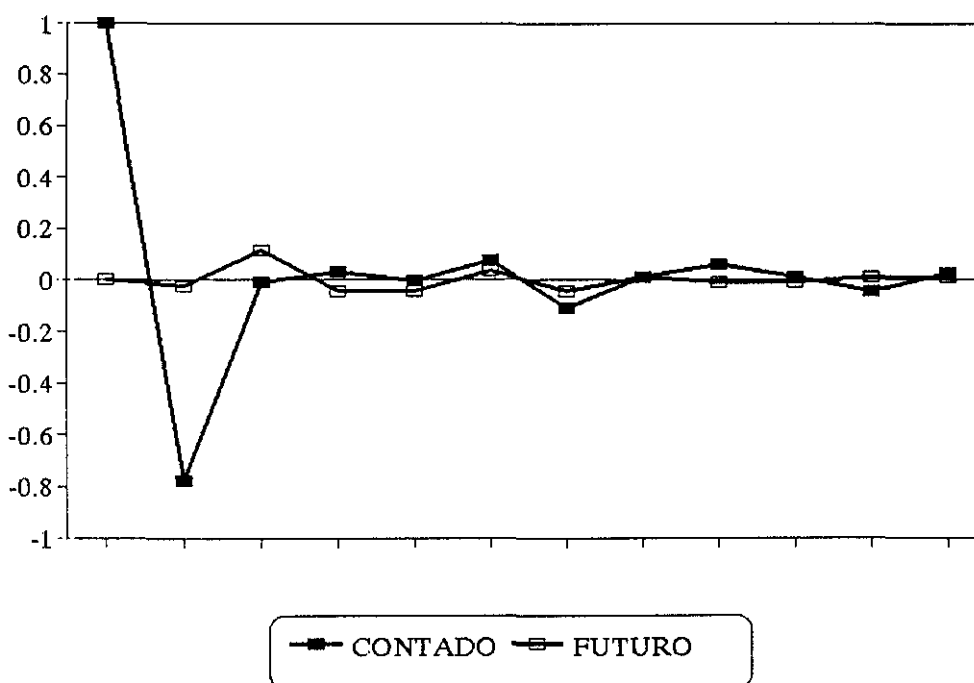


Ilustración 4.37. Funciones de Respuesta a un Impulso.

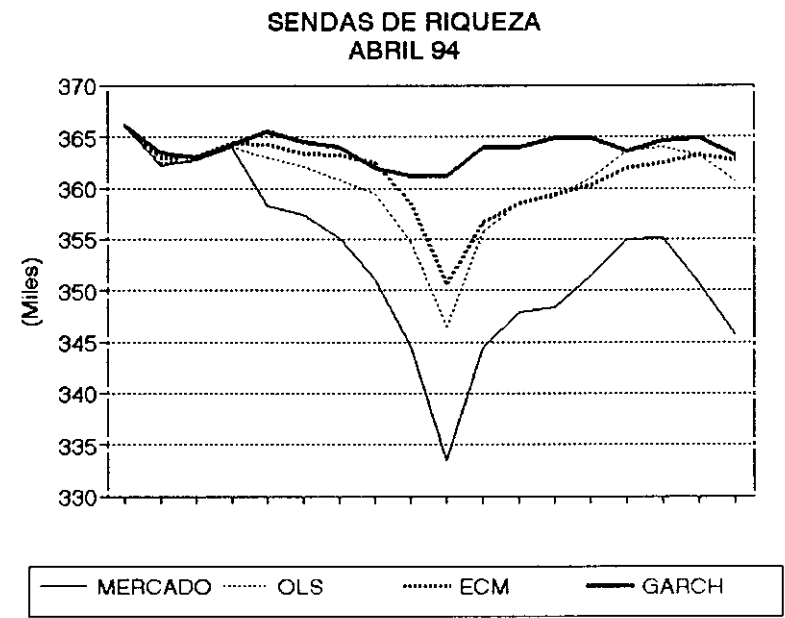
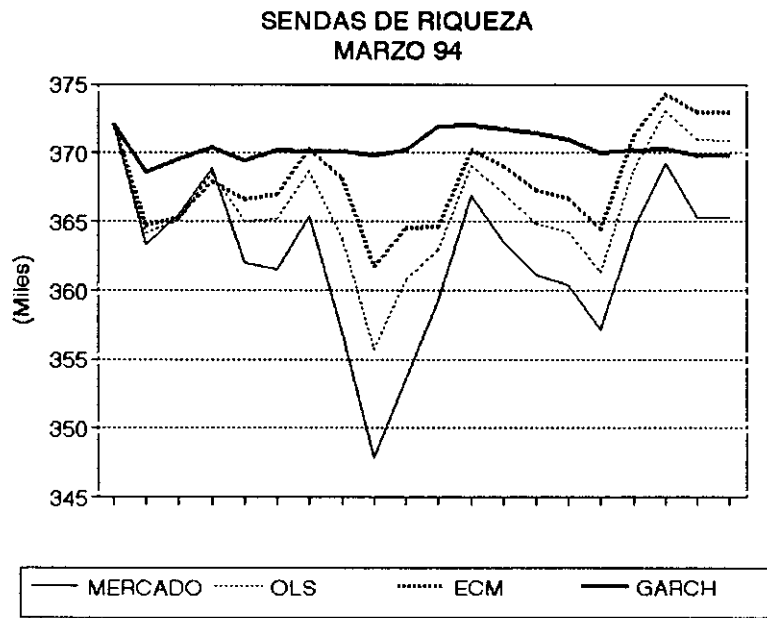
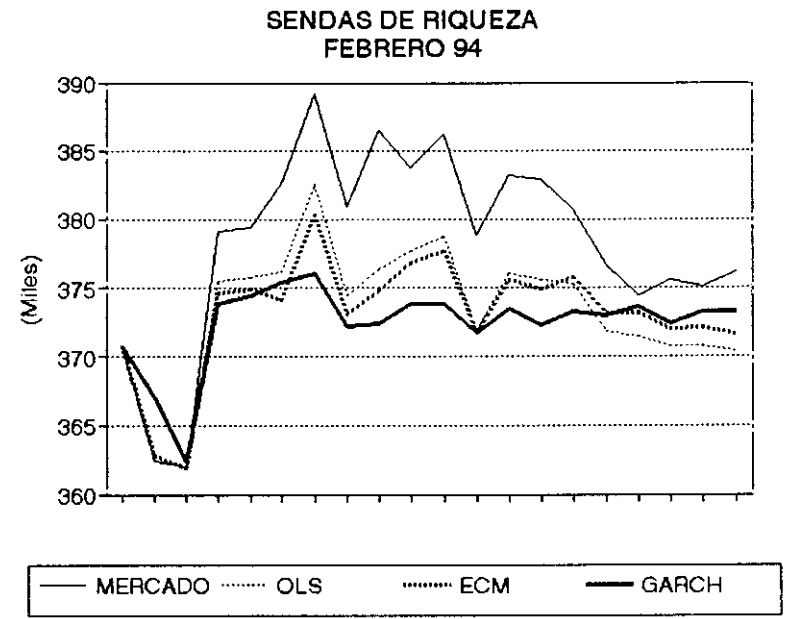
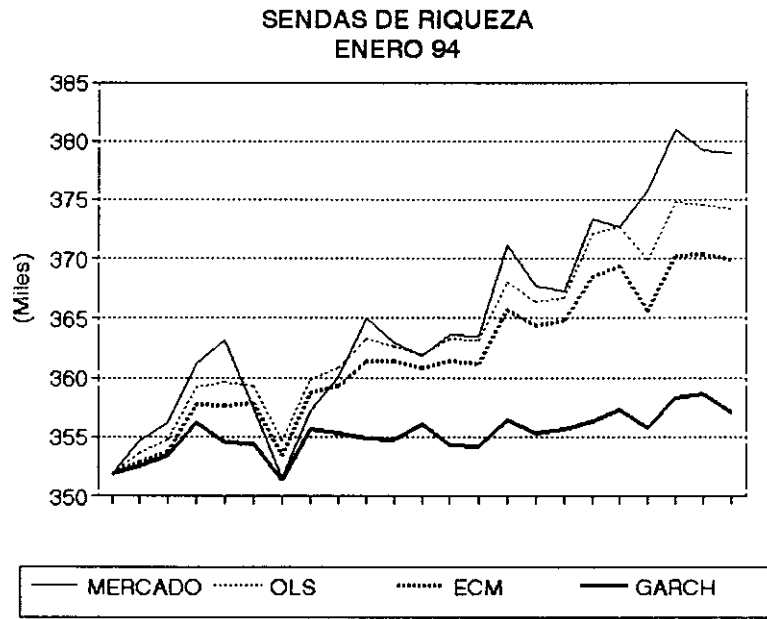


Ilustración 4.38.

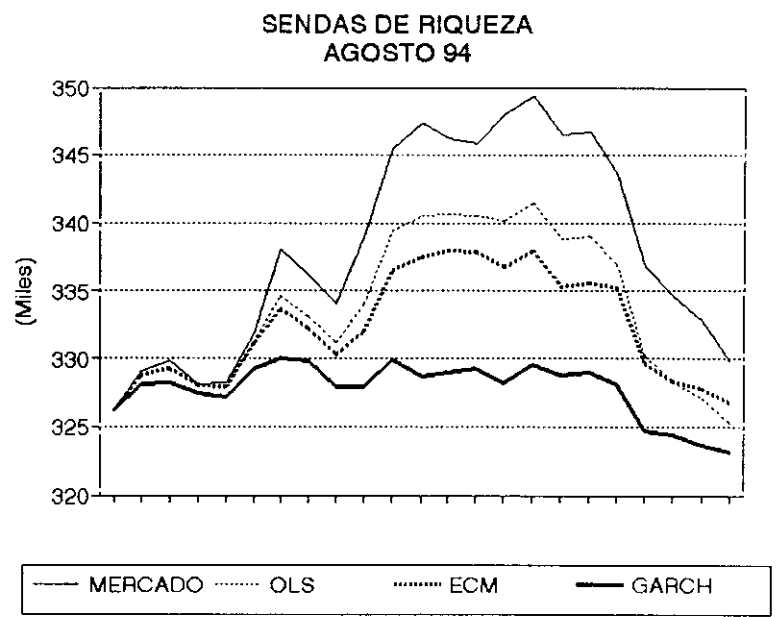
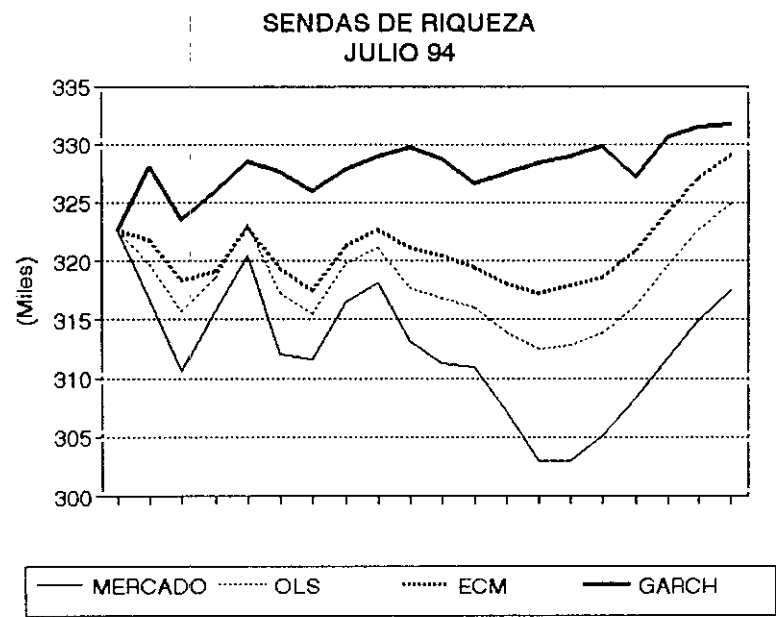
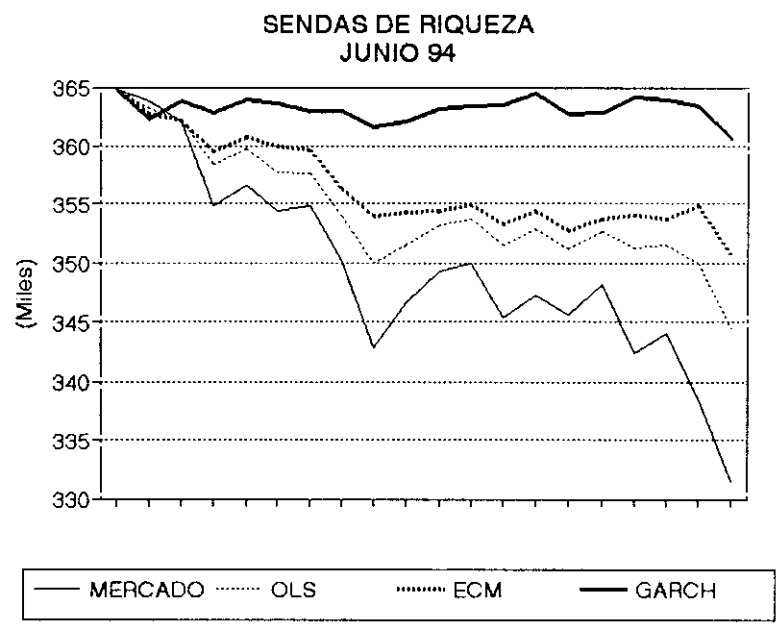
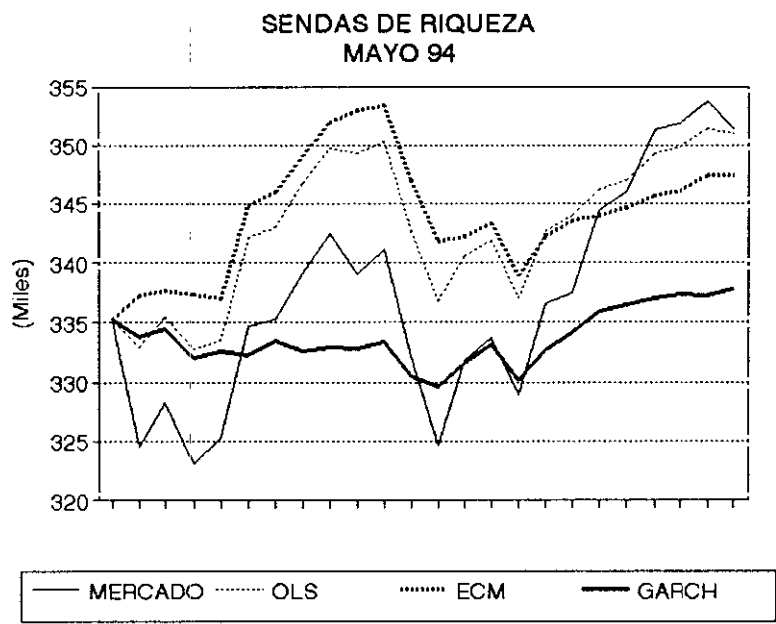


Ilustración 4.39.

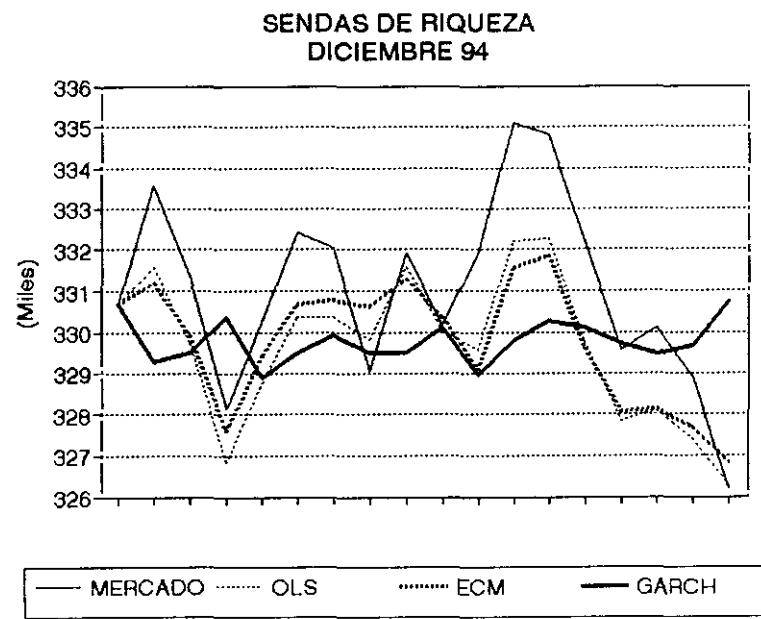
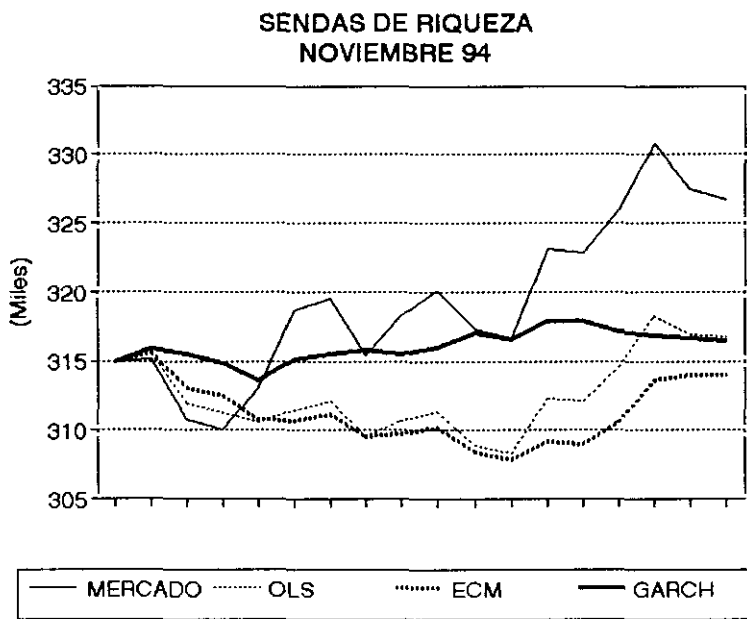
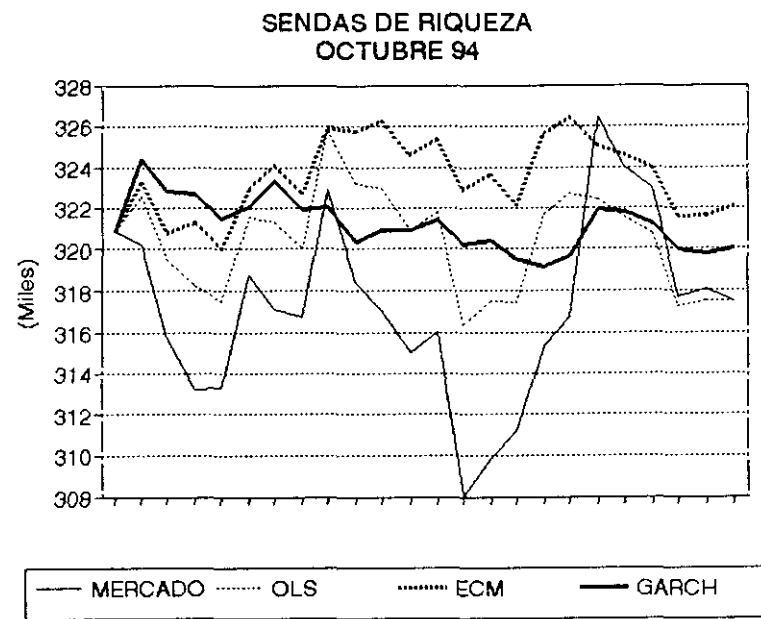
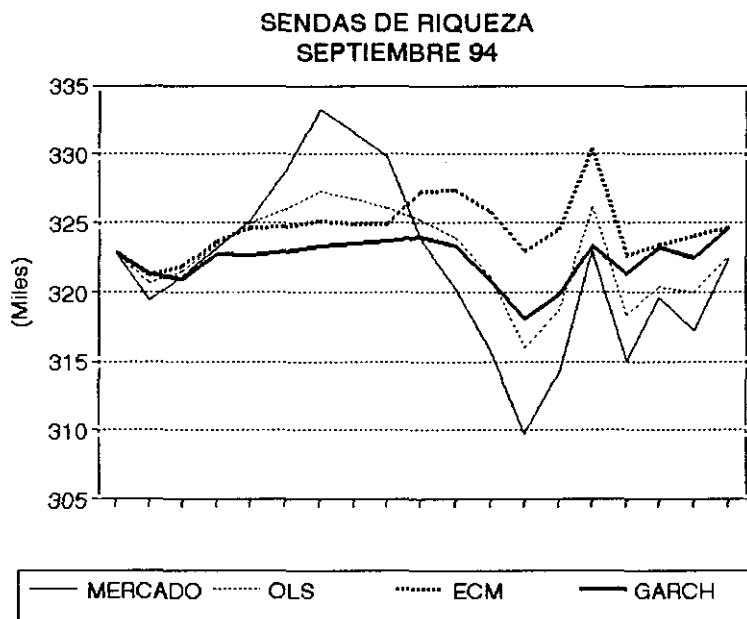
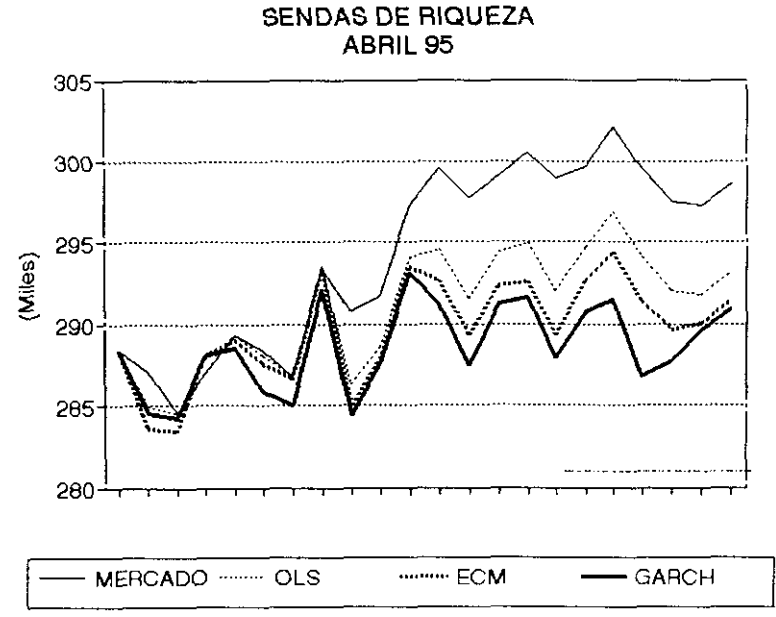
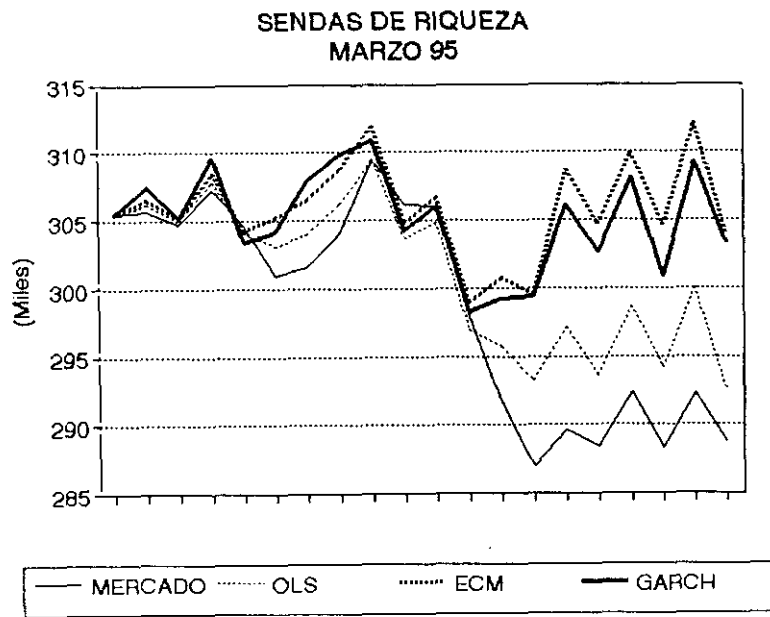
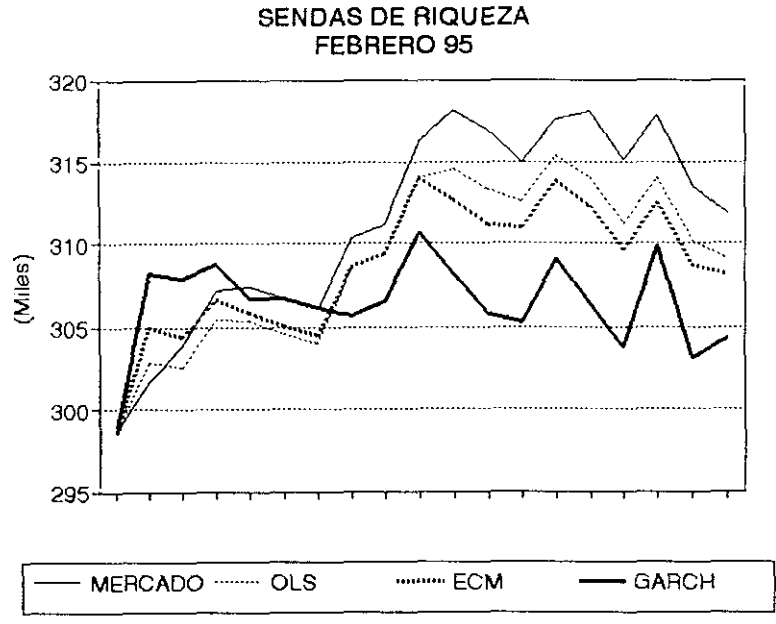
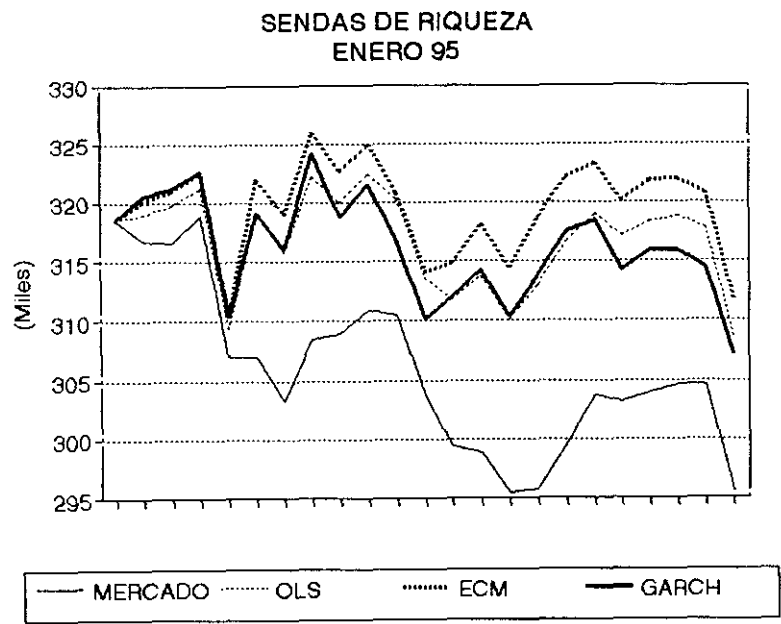


Ilustración 4.40.



Ilustracion 4.41.

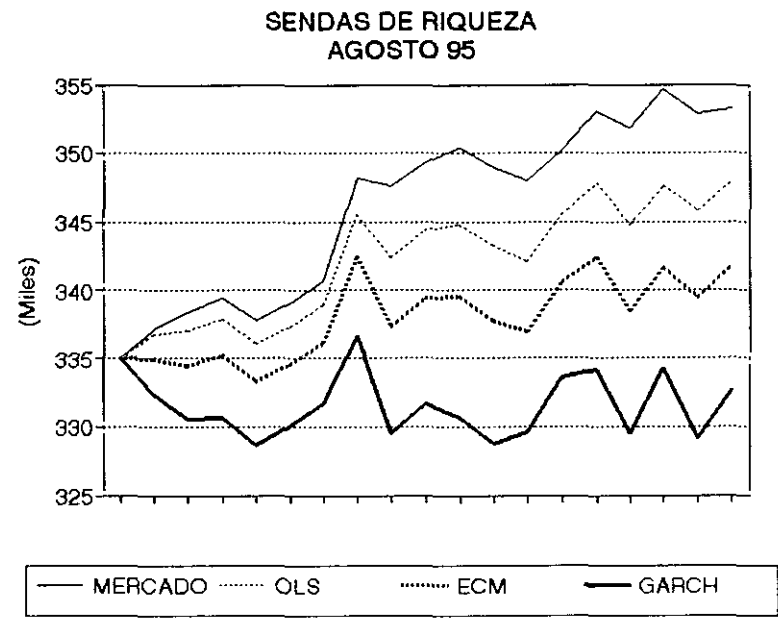
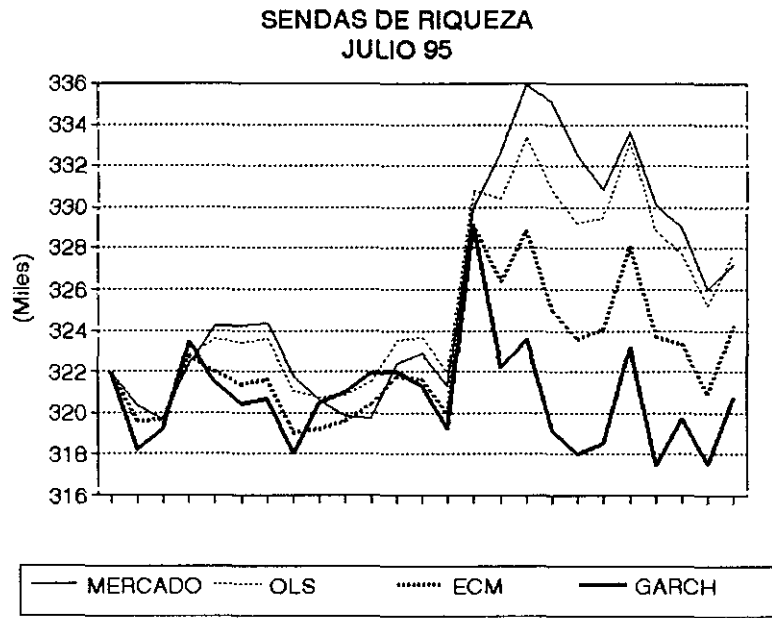
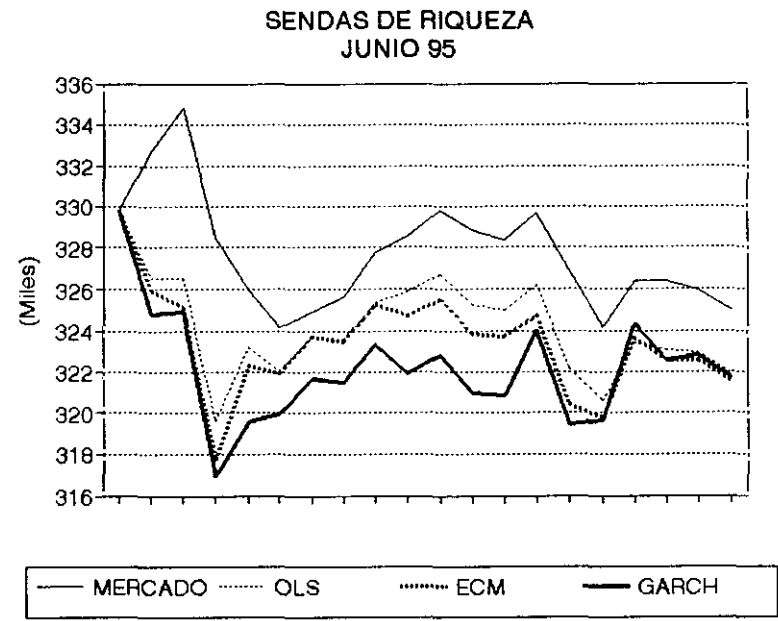
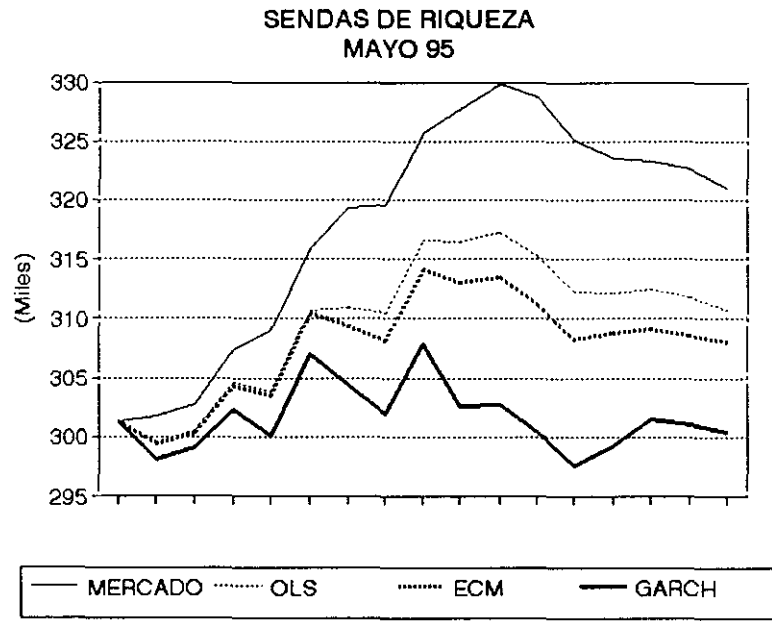


Ilustración 4.42.

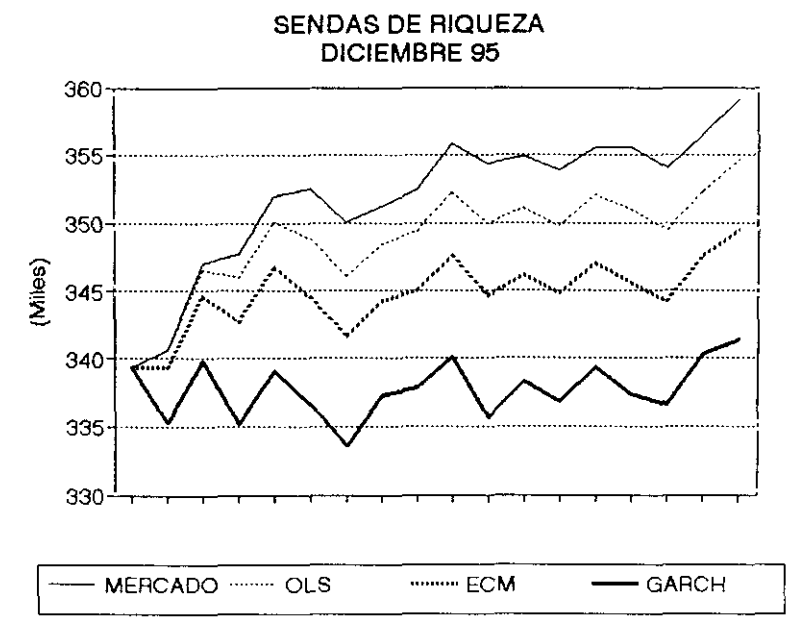
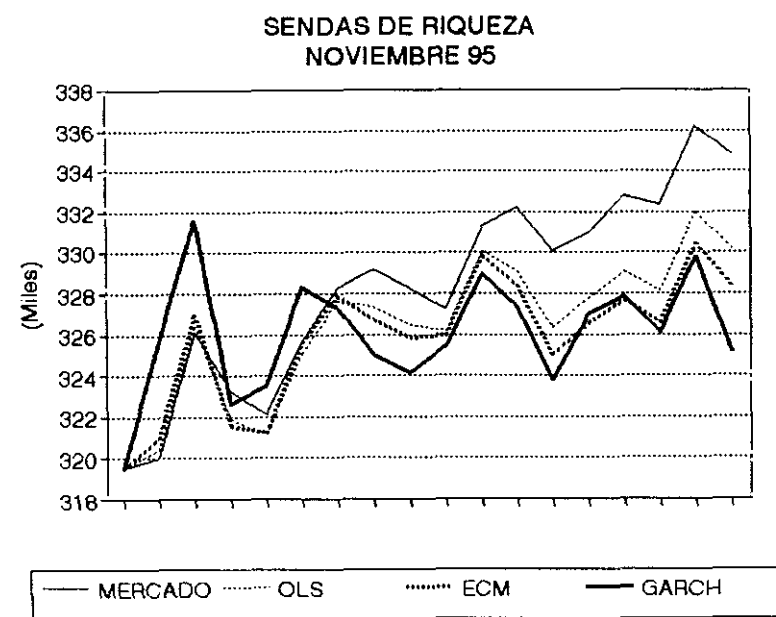
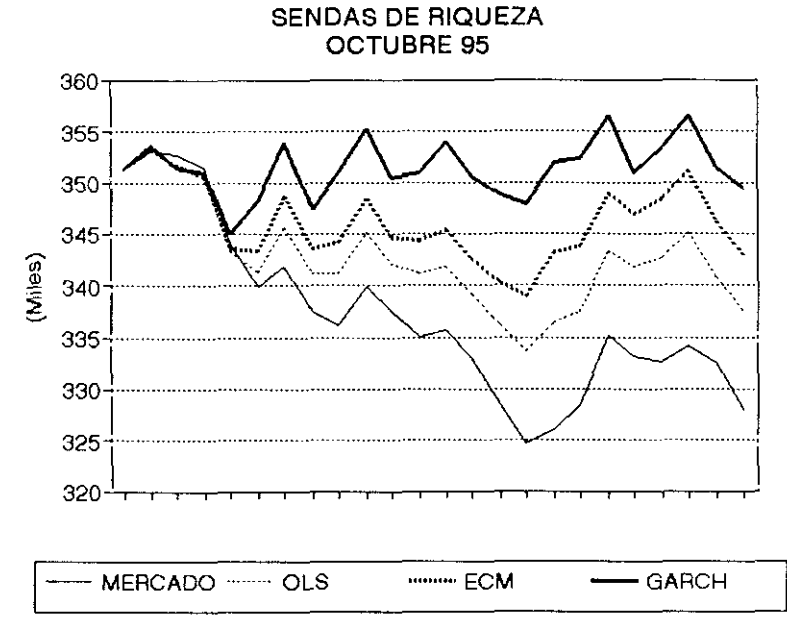
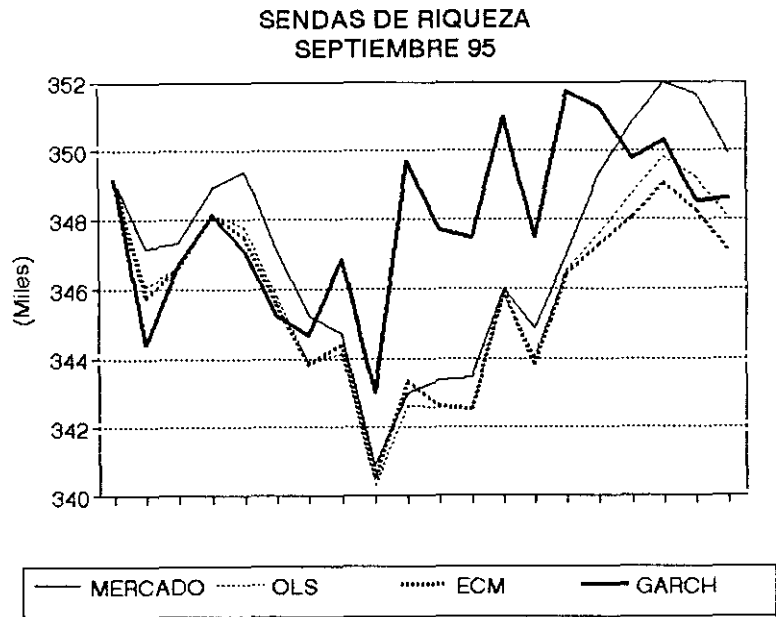
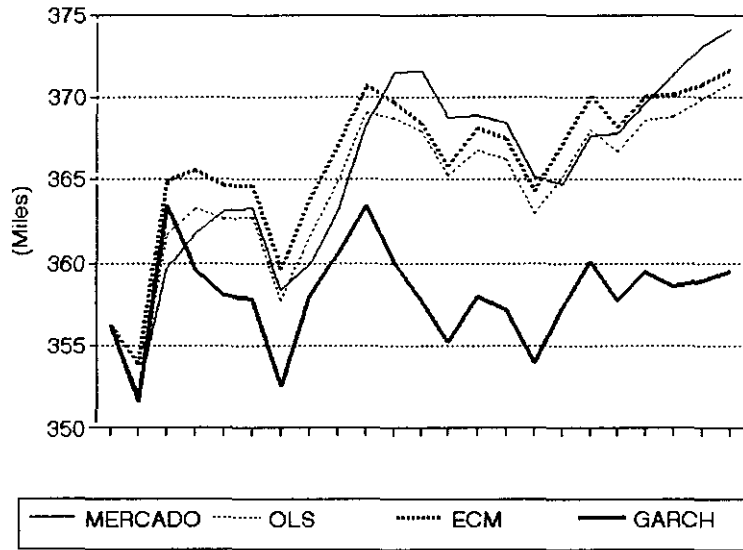
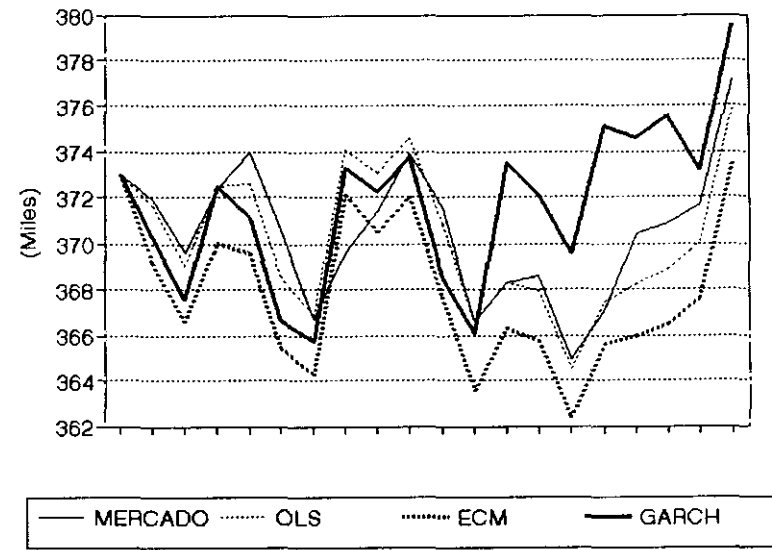


Ilustración 4.43.

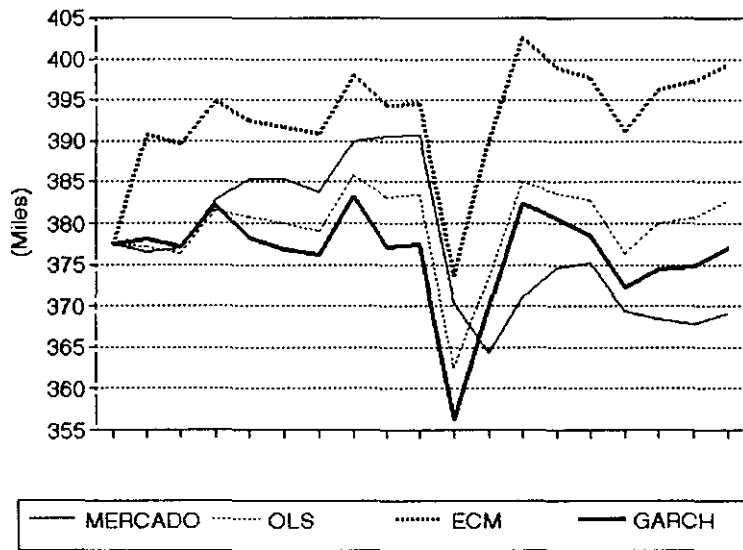
SENDAS DE RIQUEZA.
ENERO 96



SENDAS DE RIQUEZA.
FEBRERO 96



SENDAS DE RIQUEZA.
MARZO 96



SENDAS DE RIQUEZA.
ABRIL 96

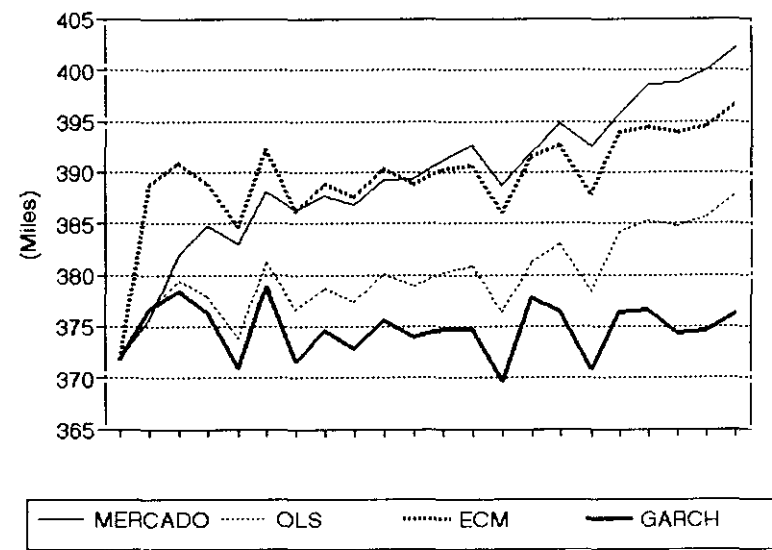
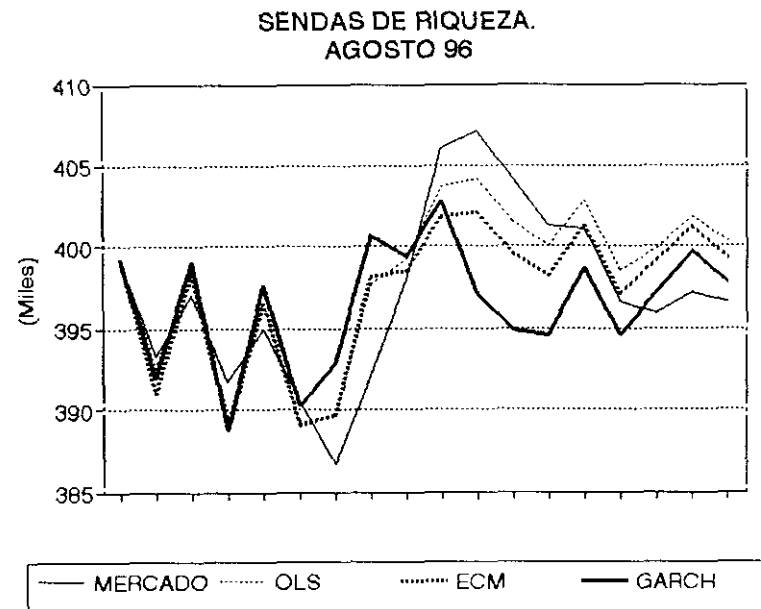
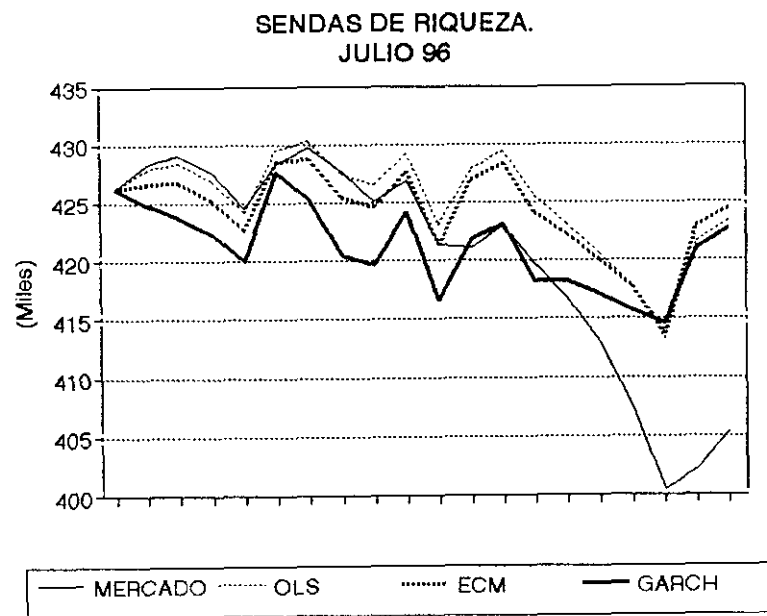
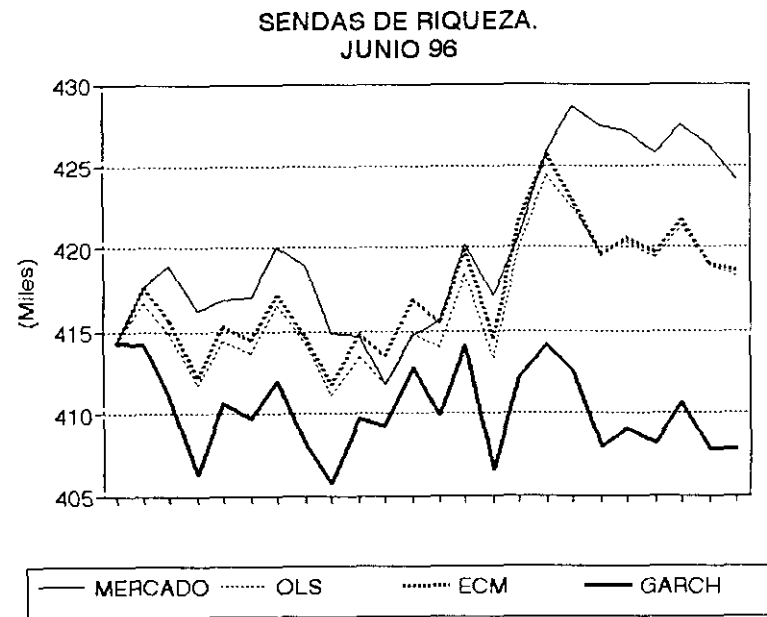
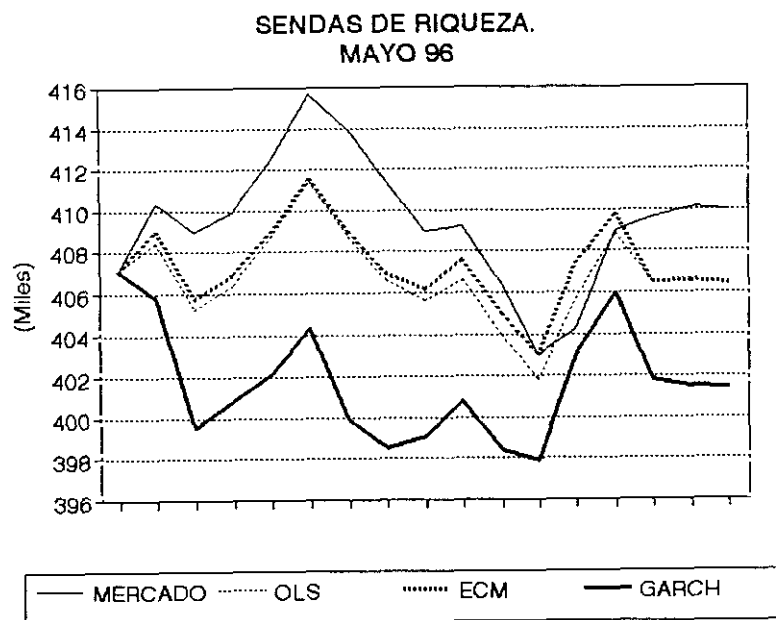
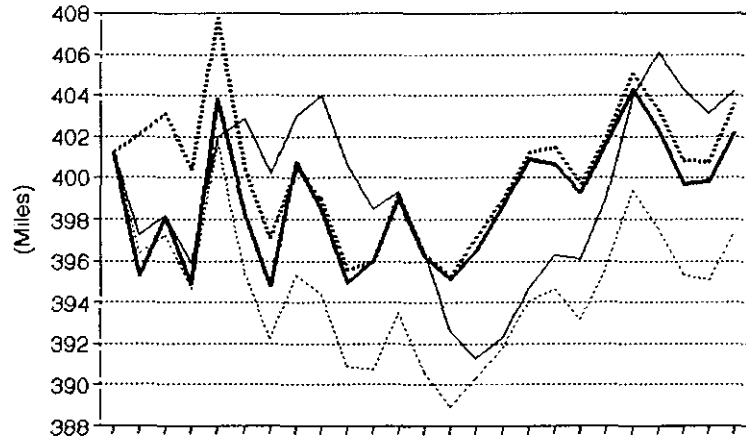


Ilustración 4.44.



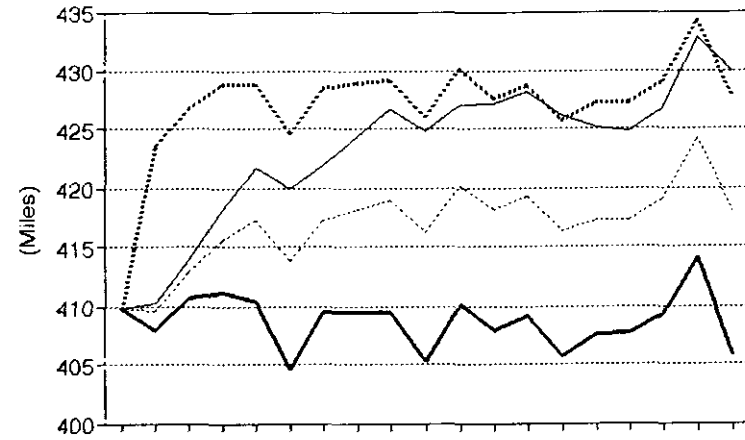
Ilustracion 4.45.

SENDAS DE RIQUEZA.
SEPTIEMBRE 96



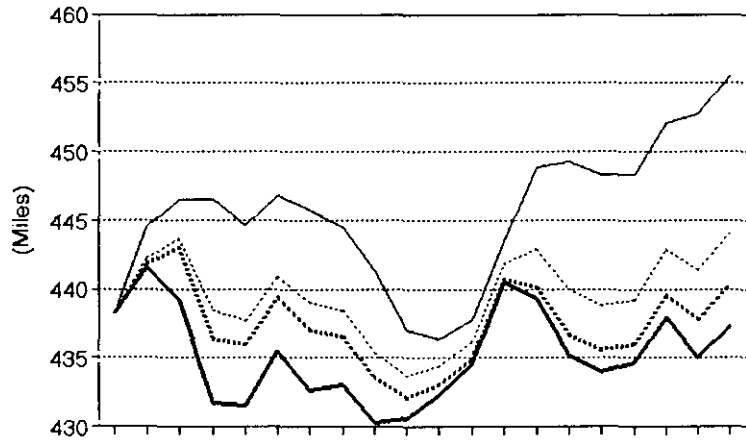
— MERCADO OLS - - - - - ECM - . - . - . GARCH

SENDAS DE RIQUEZA.
OCTUBRE 96



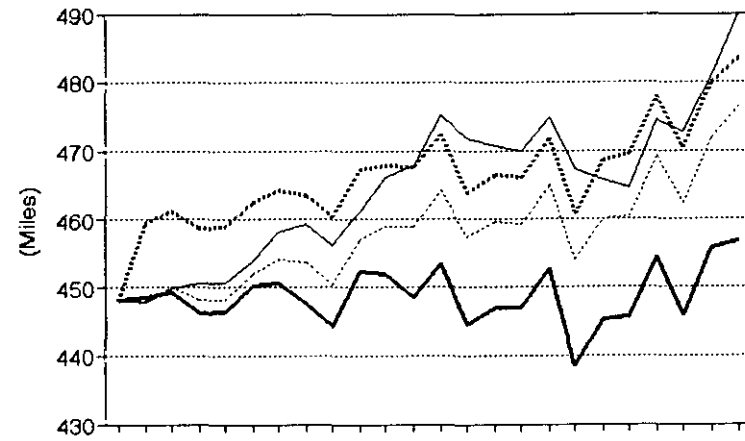
— MERCADO OLS - - - - - ECM - . - . - . GARCH

SENDAS DE RIQUEZA.
NOVIEMBRE 96



— MERCADO OLS - - - - - ECM - . - . - . GARCH

SENDAS DE RIQUEZA.
DICIEMBRE 96



— MERCADO OLS - - - - - ECM - . - . - . GARCH

Ilustración 4.46.

GRAFICO 4.47.
Cobertura OLS

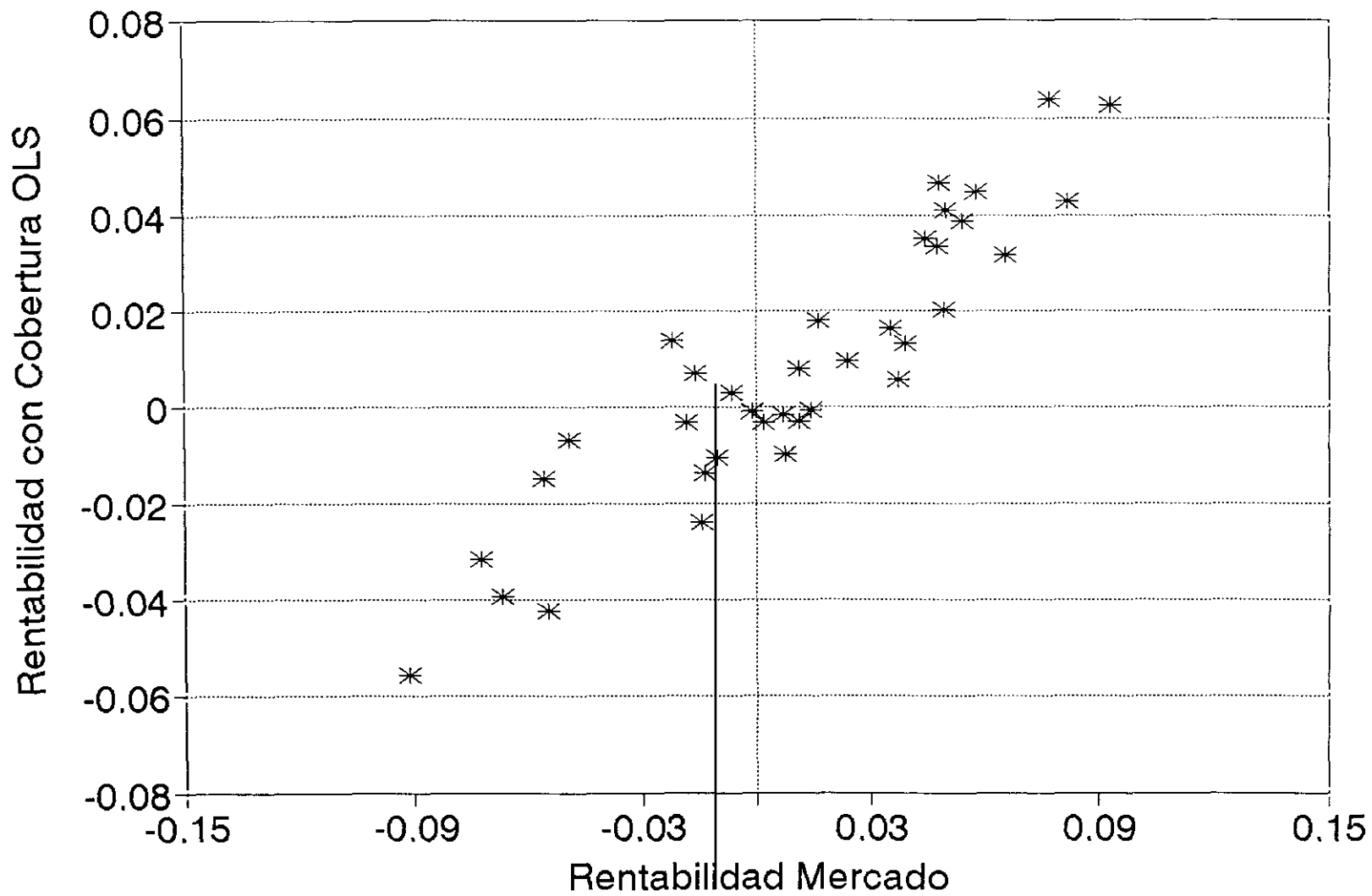


GRAFICO 4.48.
Cobertura ECM

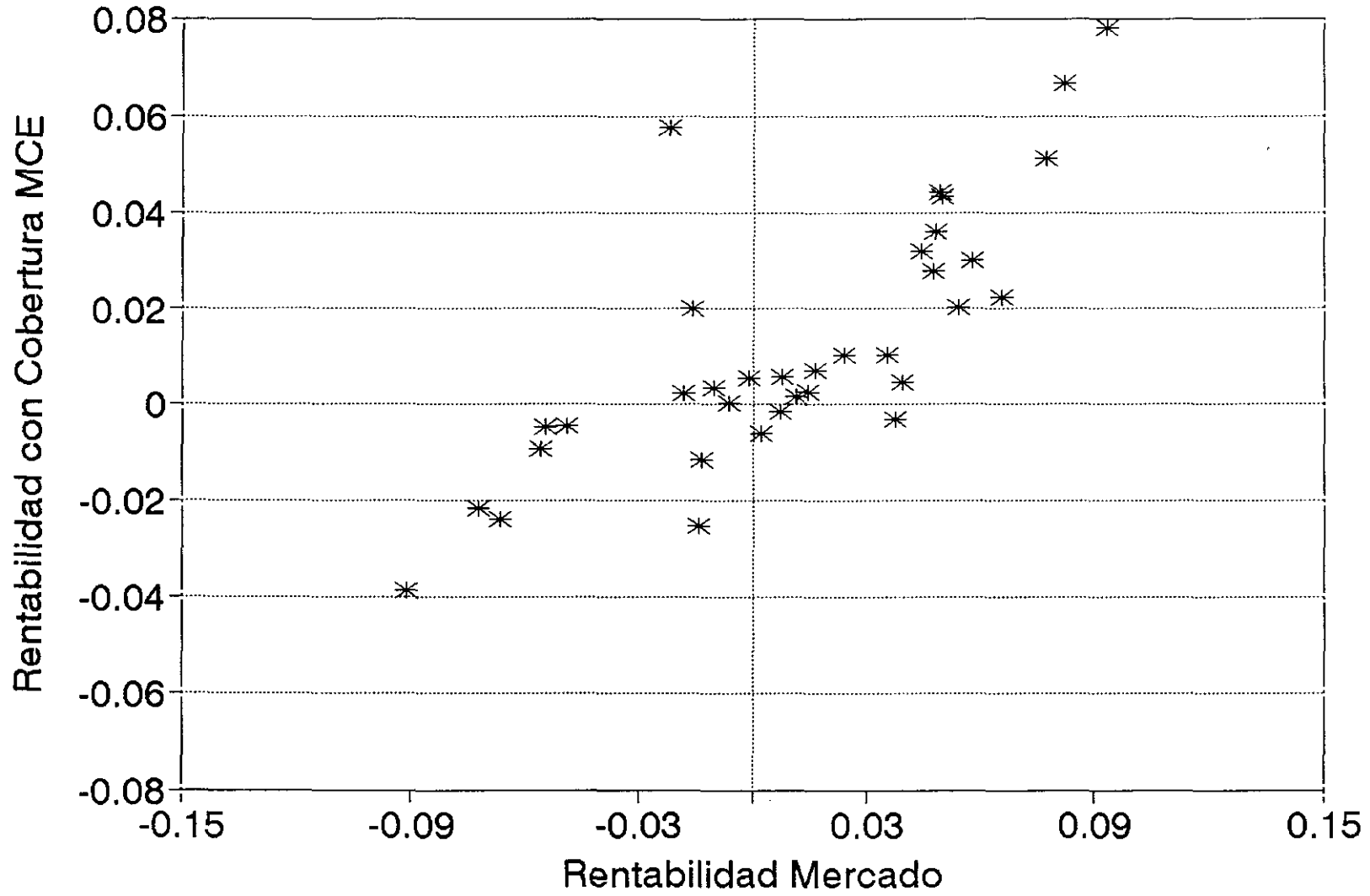


GRAFICO 4.49.
Cobertura GARCH

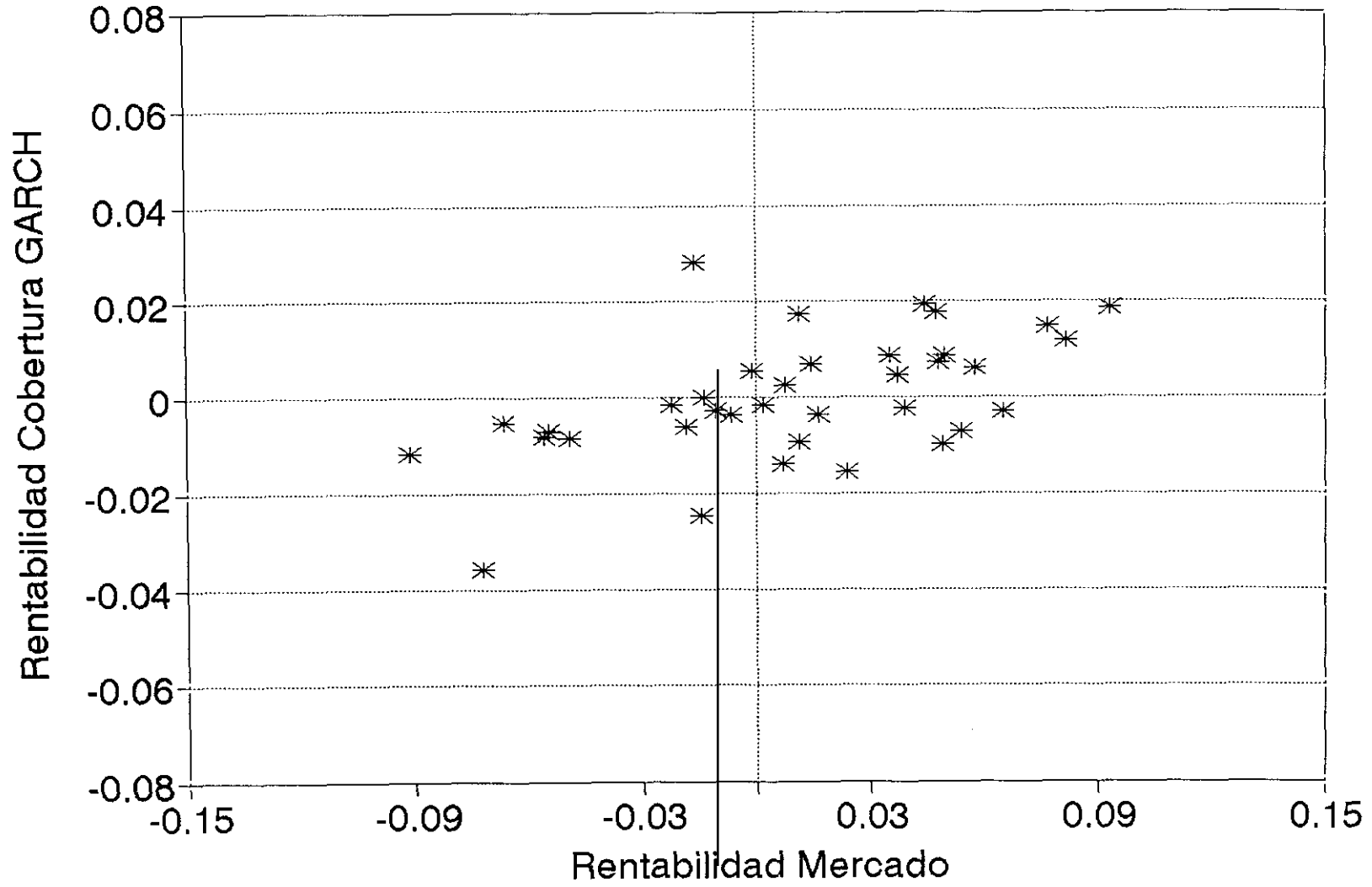


GRAFICO 4.50.
Cobertura OLS

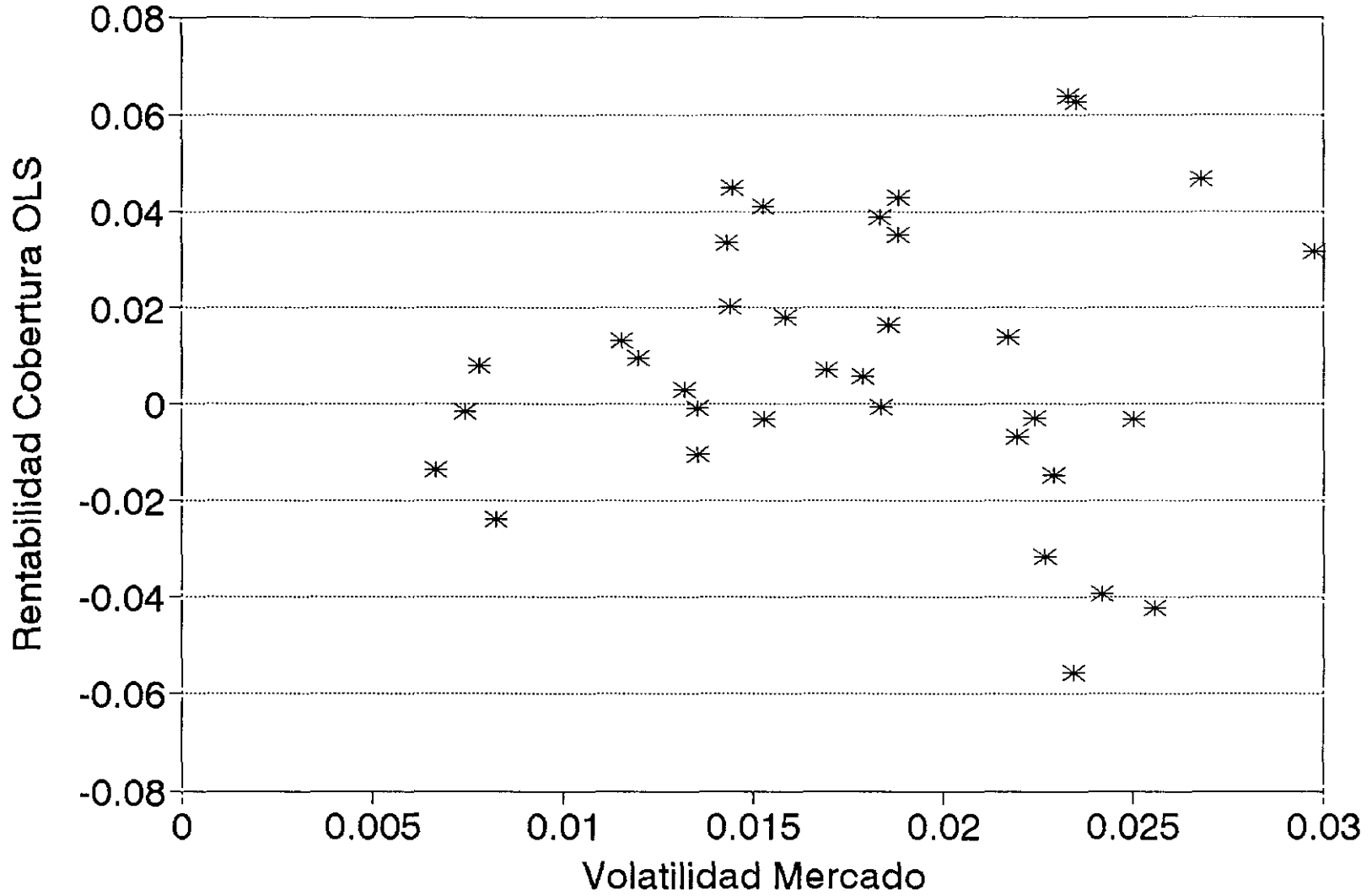


GRAFICO 4.51.
Cobertura ECM

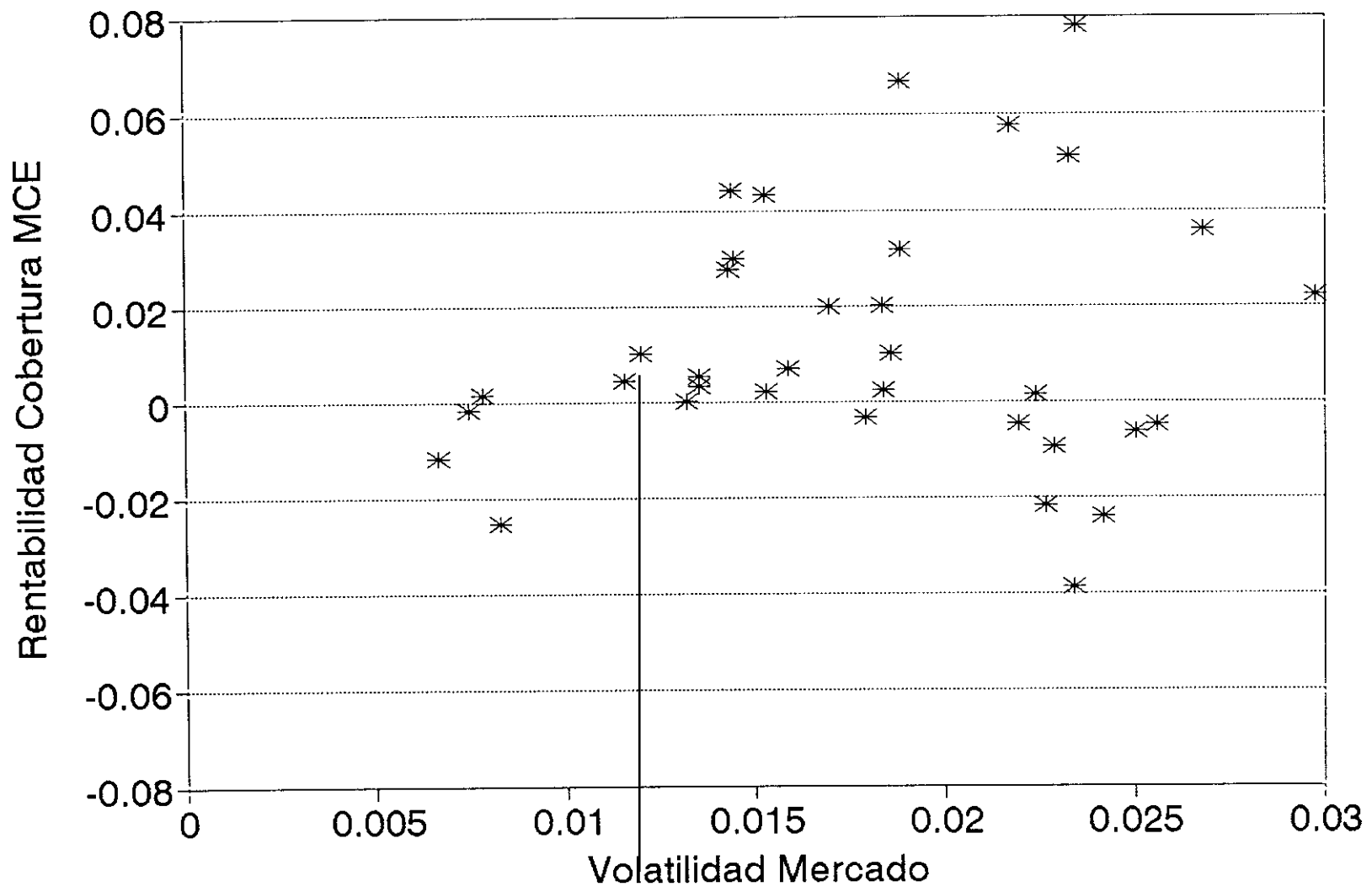


GRAFICO 4.55. Cobertura GARCH

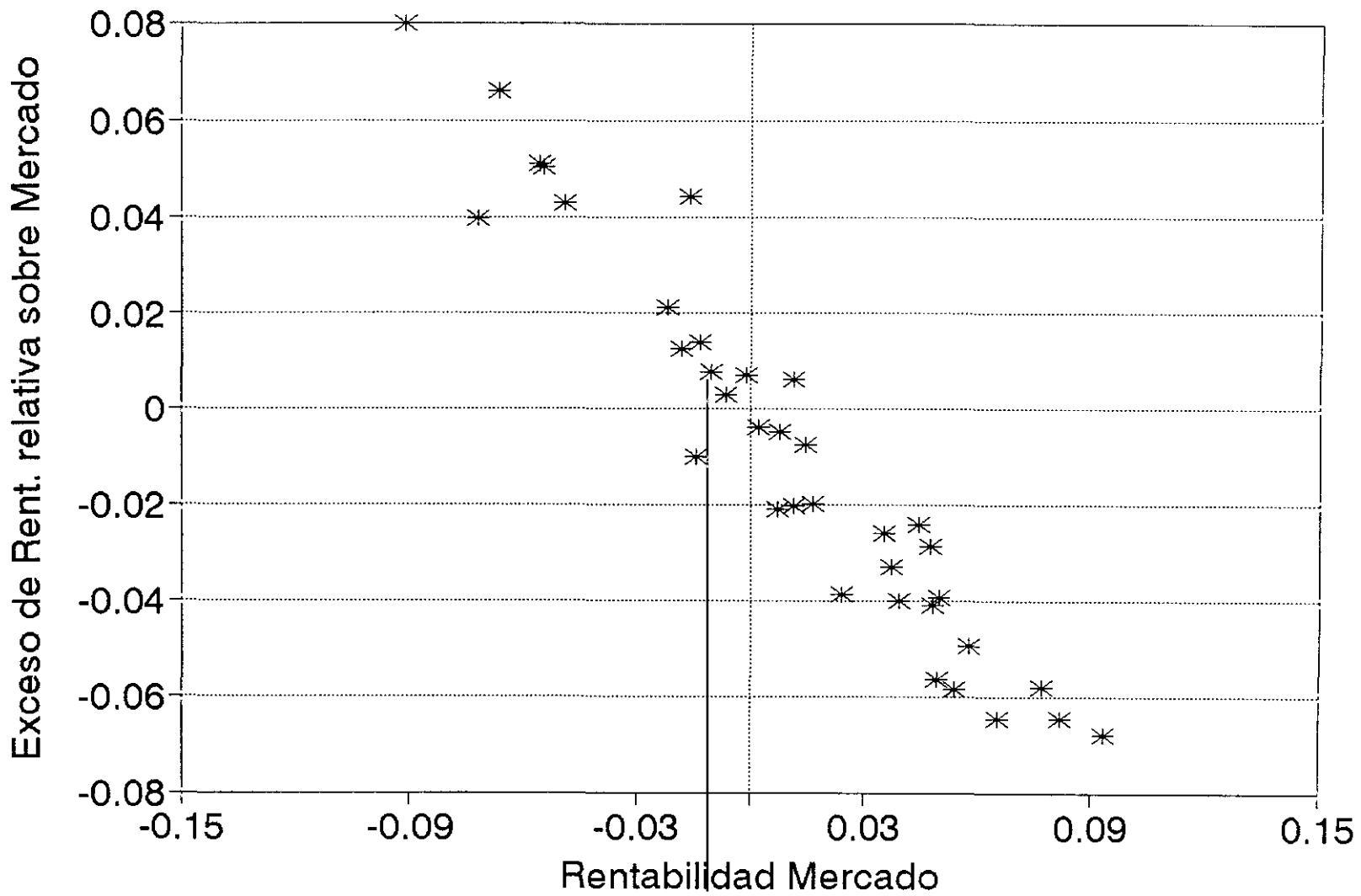


GRAFICO 4.56.
Cobertura OLS

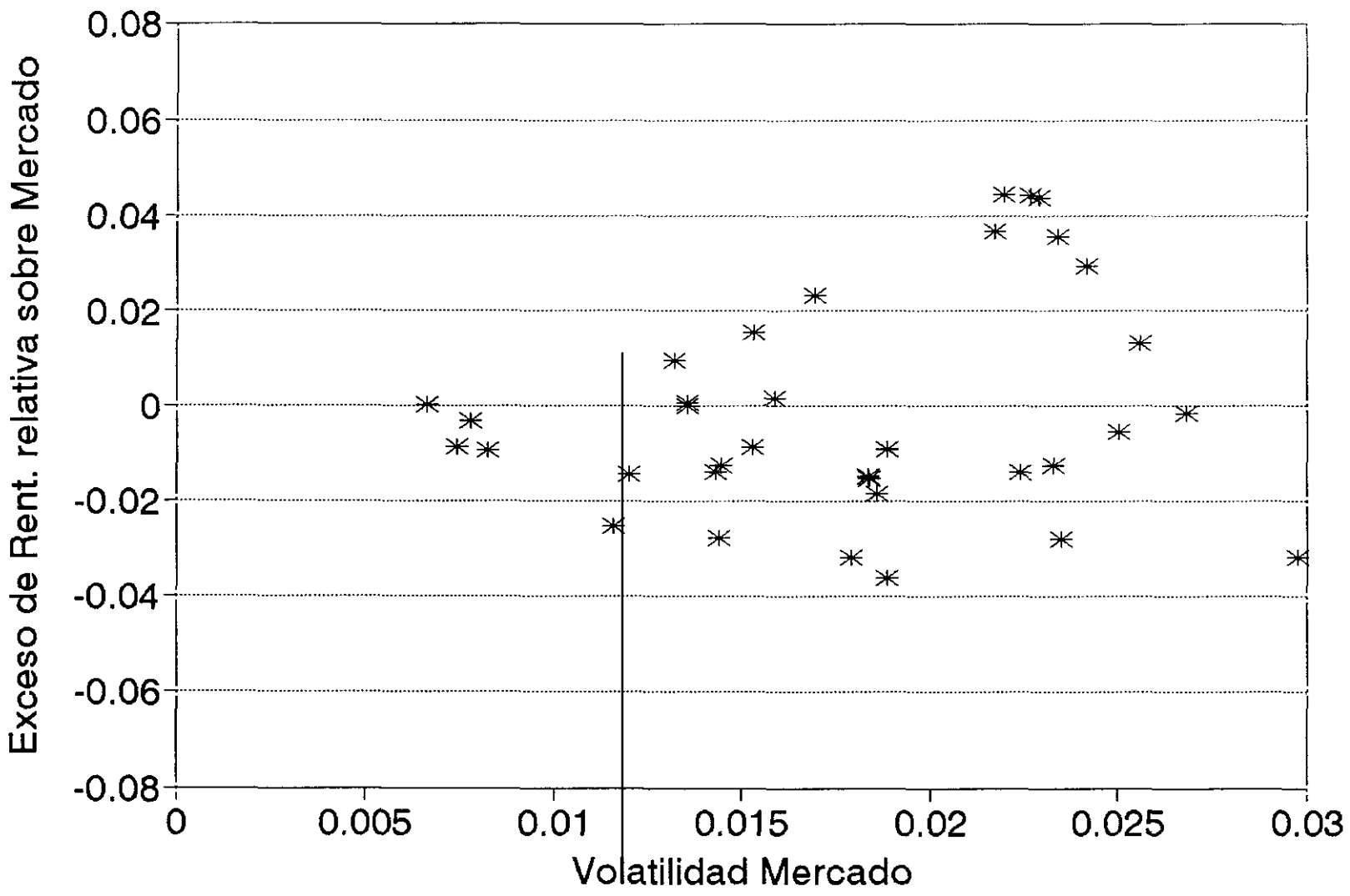


GRAFICO 4.57.
Cobertura ECM

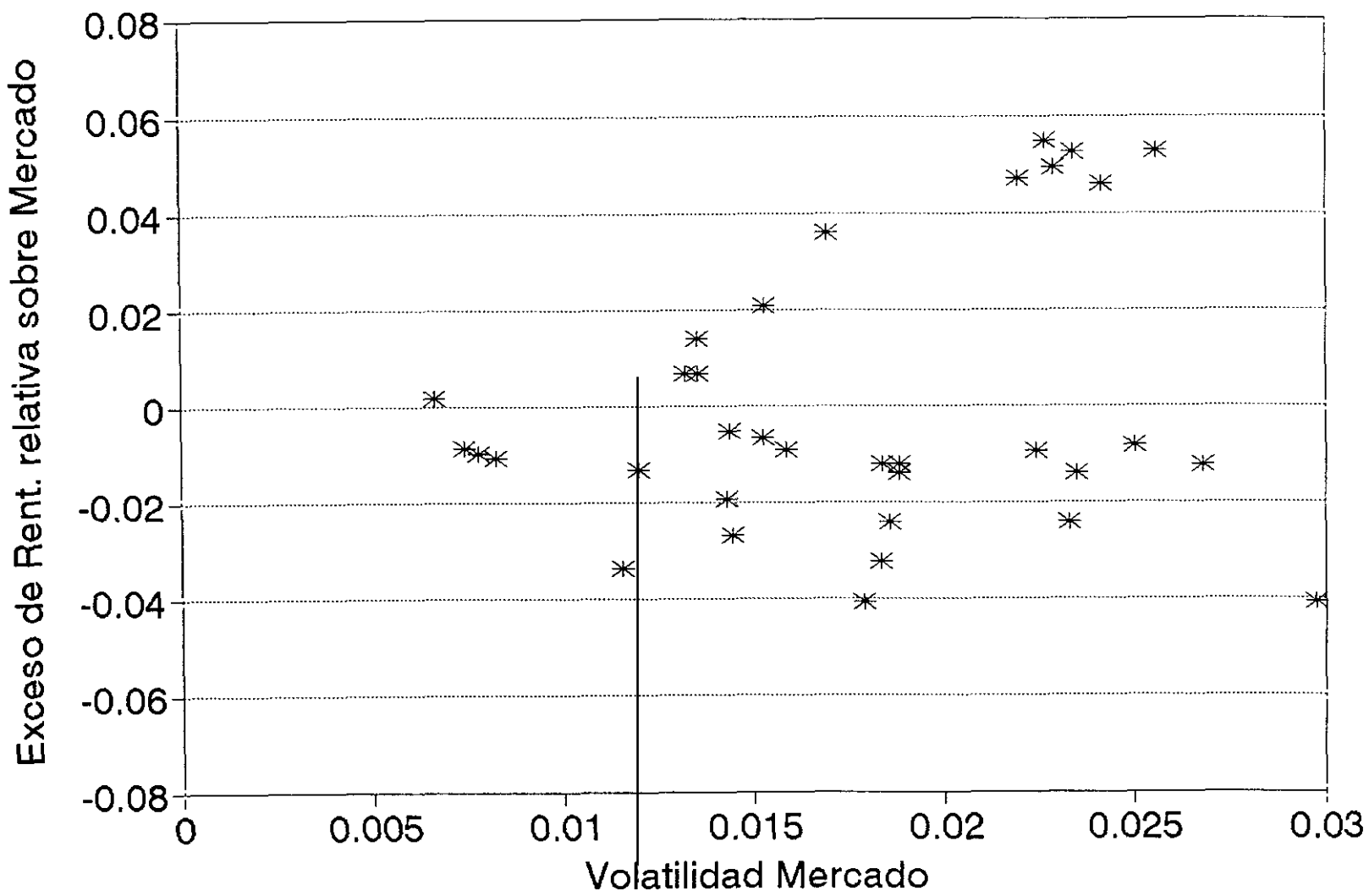
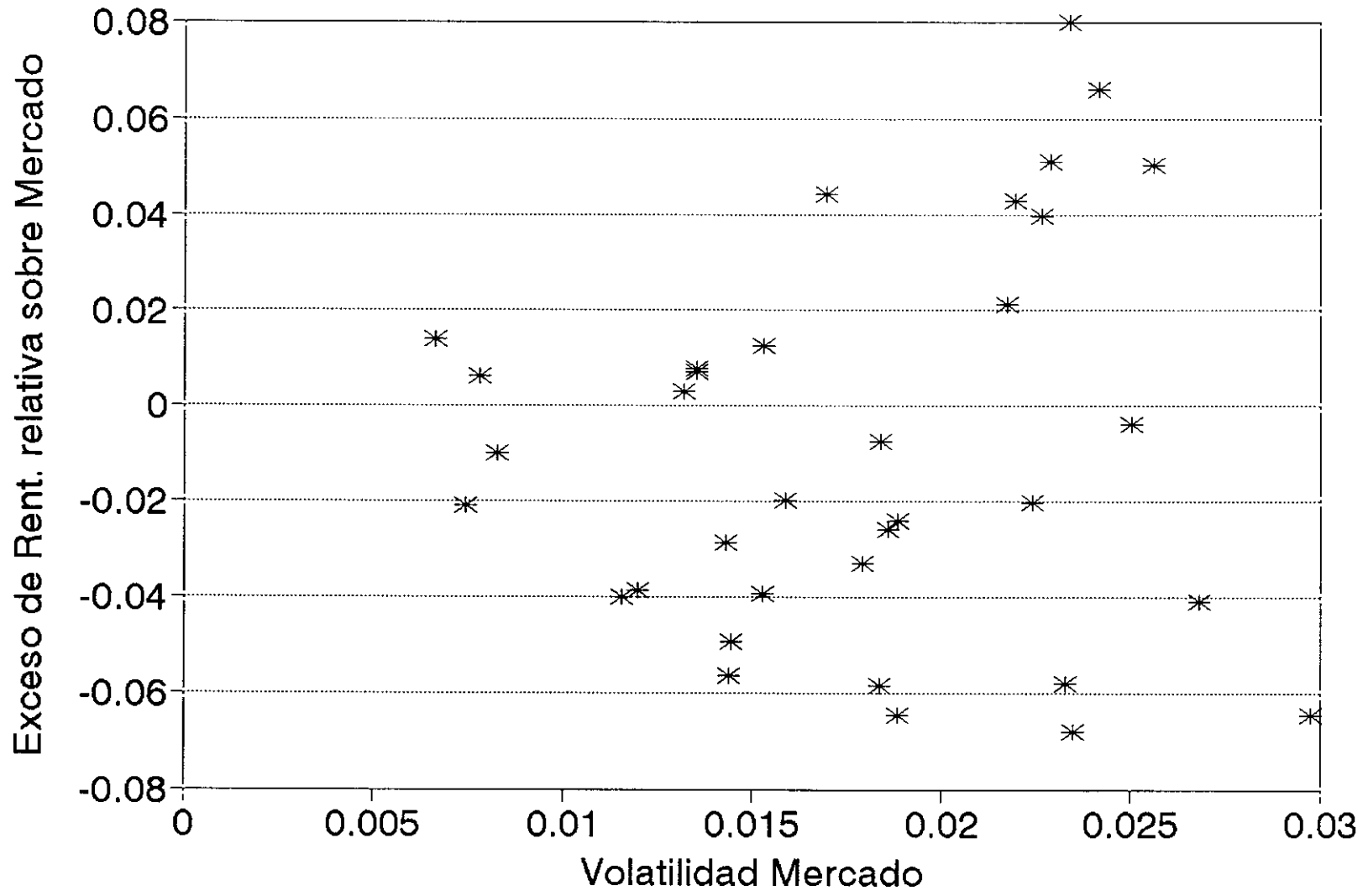


GRAFICO 4.58. Cobertura GARCH



CAPÍTULO 5. RELACIONES *INTRADÍA* ENTRE VOLATILIDADES VOLÚMENES NEGOCIADOS Y ARBITRAJE.

5.1. INTRODUCCIÓN.

Existe evidencia empírica en la literatura acerca de la existencia de significativas desviaciones entre el precio cotizado de un contrato de futuros sobre un índice bursátil y su correspondiente precio teórico, obtenido según el modelo de valoración *Cost of -Carry*. A priori, esto es un hecho esperado en la medida que dicha valoración teórica está sujeta a distintos supuestos, algunos de los cuales son excesivamente simplificadores de la realidad operativa de los mercados de derivados: a) ausencia de costes de transacción, b) no hay liquidación diaria de pérdidas y ganancias, c) los tipos de interés a corto plazo son no estocásticos y d) el flujo de dividendos futuros conocido en la fecha de valoración. No obstante, dicho modelo de valoración es útil, sobre todo, cuando se procede a la reconstrucción del precio teórico desde una fecha hacia el pasado, ya que en ese caso el supuesto d) deja de ser una limitación relevante, de forma que dicho modelo de valoración es el más ampliamente utilizado en los estudios empíricos.

El estudio del comportamiento temporal de la serie de *mispricing* (diferencia entre la cotización del contrato de futuro y el valor teórico de dicho contrato) puede proporcionar información acerca del comportamiento pasado del mercado de derivados, en el sentido de poder observar si han existido posibilidades sistemáticas de arbitraje entre el mercado *spot* y el mercado de futuros, lo cual ha sido relacionado con el concepto de eficiencia del mercado. Sin embargo, esto será una evaluación aproximada, dada la necesidad de considerar unas bandas estimadas de ausencia de arbitraje. Sofianos (1990) estima que, aproximadamente el 6% del volumen total negociado en la Bolsa de Nueva York está relacionado con estrategias de arbitraje. Para el mercado español de futuros sobre el Ibex 35, Fernández e Yzaguirre (1995) obtienen evidencia acerca de que, durante el periodo comprendido entre el 21 de Diciembre de 1993 hasta el 5 de Mayo de 1994 existieron posibilidades de arbitraje durante 303 minutos (1,36% del tiempo total de negociación considerado)¹. Si bien el Apéndice 3 de este Capítulo propone una especificación econométrica concreta a partir de: a) un modelo teórico para el

¹ Dicho autor considera como banda de ausencia de arbitraje el intervalo (-16,5; 16,5), donde las unidades son puntos básicos.

comportamiento del activo subyacente, y b) la ecuación de ausencia de arbitraje que subyace al modelo de valoración *Cost of Carry*, con objeto de contrastar la teoría de las expectativas en cualquier mercado de futuros cuyo activo subyacente es un índice bursátil, el objetivo de este Capítulo no se centra el análisis del comportamiento del diferencial entre el precio teórico y el precio cotizado del contrato de futuros a lo largo del tiempo.

La introducción de los mercados de derivados sobre índice bursátil ha sido una cuestión objeto de controversia entre las diferentes instituciones financieras nacionales, puesto que se ha argumentado la existencia de una transmisión de volatilidad hacia los activos que componen el índice, a través fundamentalmente de la realización de operaciones de arbitraje. Por tanto, un estudio de la relación existente entre el comportamiento temporal de la serie de *mispricing* y las series de volatilidades en ambos mercados puede proporcionar información adicional acerca del nexo existente entre el mercado de derivados y el mercado *spot*, a través de las operaciones de arbitraje.

En este Capítulo se examina la dinámica temporal, tanto de la base teórica como de las series de volatilidades² de precios del contrato de futuros sobre el Ibex 35 y del Ibex 35, durante el periodo comprendido desde el 20 de Diciembre de 1993 hasta el 20 de Diciembre de 1996, con datos de muy alta frecuencia. El Capítulo proporciona evidencia acerca de la relación *intradía* entre las series de volatilidades y la base teórica³, incorporando la información proporcionada por el volumen negociado en ambos mercados. En particular, se intenta contrastar dos hipótesis:

- *Hipótesis 1*: Incrementos en la volatilidad de uno de los dos mercados producen incrementos de la volatilidad en el otro mercado a muy corto plazo.

Como ya se ha comentado en los Capítulos 3 y 4, si bien existe evidencia clara sobre las características de la relación de causalidad entre los rendimientos de ambos mercados, el nexo existente entre las volatilidades es hasta la fecha objeto de controversia. Por ejemplo, Kawaller et al. (1990), utilizando como medida de volatilidad las varianzas de las series de rendimientos, tanto sobre

² Por volatilidad entendemos genéricamente el grado de fluctuación de la variable, si bien, como ya hemos comentado en el Capítulo 4, no existe una única forma de medirla. En la Sección 5.2 se explicita la medida de volatilidad utilizada.

³ Como veremos en la Sección 5.2 esta variable se define como el valor absoluto del diferencial entre el precio cotizado del contrato y su precio teórico según el modelo de valoración *Cost of Carry*, es decir el valor absoluto del *mispricing*.

intervalos de 30 minutos como sobre todas las observaciones diarias disponibles, no encuentran evidencia sobre algún patrón de comportamiento al respecto, siendo los resultados sensibles al intervalo de tiempo considerado para el cálculo de dichas varianzas. A partir de datos horarios del futuro sobre el *FT-SE 100* Abhyankar (1995) utiliza la metodología *EGARCH* para estimar las varianzas condicionales de ambos mercados, sin encontrar ningún patrón de comportamiento sistemático en cuanto a la capacidad explicativa de un mercado sobre el otro. Koutmos y Tucker (1996), que analizan el futuro sobre el S&P 500 con precios de cierre de mercado, estiman un modelo bivariante de corrección de error considerando que las perturbaciones en cada mercado siguen un modelo *EGARCH*; estos autores encuentran que la volatilidad concerniente al mercado de futuros tiene capacidad predictiva sobre la volatilidad en el mercado de contado, pero no al revés, es decir, sus resultados están en la línea de los correspondientes a Iihara et al. (1996).

Chan, Chan y Karolyi (1991) estiman un modelo *GARCH* bivariante para las series de rendimientos de ambos mercados en intervalos de cinco minutos, y suponen que un modelo autorregresivo de orden uno es adecuado para modelizar el comportamiento de los mismos; estos autores han encontrado evidencia acerca de la existencia de una relación de causalidad bidireccional entre las varianzas condicionales de ambos mercados⁴. Por otra parte, Iihara et al. (1996), analizan los futuros sobre el *Nikkei Stock Average* negociado en el *SIMEX (Singapore International Monetary Exchange)*, con datos minuto a minuto. Una vez estimado un modelo *AR(1)* para filtrar las series de rendimientos, utilizan los residuos de los dos modelos autorregresivos para estimar un modelo *GARCH(1,1)* bivariante; estos autores encuentran un flujo de causalidad unidireccional en las varianzas condicionales desde el futuro hacia el contado⁵.

Por otro lado, Chan y Chung (1993) que utilizan como medida de volatilidad *instantánea* el valor absoluto de las tasas de variación de los precios, obtienen evidencia empírica acerca de la existencia de una capacidad explicativa de la volatilidad, tanto desde el mercado de futuros hacia el mercado de contado, como en el sentido inverso.

⁴ Dichos autores estudian los contratos de futuros sobre el "Standard and Poor's 500" (S&P 500) y el "Major Market Index" (MMI), que se negocian respectivamente en el "Chicago Mercantile Exchange" y el "Chicago Board of Trade".

⁵ Estudian el comportamiento del contrato de futuro sobre el "Nikkei Stock Average" a partir de observaciones obtenidas del "Singapore International Monetary Exchange" con datos cada 5 minutos.

En este Capítulo se proporciona evidencia empírica acerca de una interacción bidireccional a muy corto plazo en las volatilidades, desde el mercado de futuros hacia el mercado de contado, la cual se muestra robusta frente al tipo de medida utilizada para cuantificar la volatilidad: a) coeficientes de variación diarios de los precios, y b) varianzas condicionales de las series de rendimientos horarios. El interés de este Capítulo se centra en la interacción *instantánea* entre la volatilidad del mercado de contado y la volatilidad del mercado, así como la relación existente entre éstas y la base teórica. Para ello se utilizan datos de muy alta frecuencia, en concreto, cada cinco minutos. La utilización de este tipo de frecuencia no es susceptible de ser utilizada con las medidas de volatilidad que han sido consideradas en el Capítulo 4; la utilización de las varianzas incondicionales (de precios y/o rendimientos) requiere la agregación de datos durante un cierto intervalo de tiempo; en este sentido, la generación con este tipo de medida de volatilidades cada cinco minutos requiere la agregación de datos con mayor frecuencia, por ejemplo cada minuto, cada 30 segundos, etc.. Si bien el mercado de futuros posee un elevado grado de liquidez, éste no es suficiente para disponer de series cada minuto a lo largo de todo el periodo muestral analizado. Por otro lado, las series de rendimientos cada cinco minutos poseen un exceso de curtosis excesivamente elevado, el cual no puede ser capturado en su totalidad por la metodología *GARCH*⁶.

- *Hipótesis 2.* Incrementos en la volatilidad (ya sea del mercado de derivados o de contado) llevan asociados aumentos en la base teórica. Asimismo se analiza si los incrementos en la base teórica tienden a transmitir volatilidad sobre cualquiera de los dos mercados.

De nuevo, existe en la literatura evidencia contradictoria acerca del impacto de las operaciones de arbitraje sobre la volatilidad. Como señalan Chan y Chung (1993) los estudios realizados al respecto son sensibles al tipo de datos utilizados de forma que, generalmente, los análisis efectuados a partir de datos *intradía* encuentran algún nexo entre dichas variables⁷, ocurriendo lo contrario cuando se consideran datos de cierre⁸. Estos autores, que estudian la cuestión anteriormente planteada a partir de datos a intervalos de cinco minutos para el contrato de futuros sobre el *Major Market Index*, obtienen evidencia en favor de dos hechos: (a) incrementos en la base teórica anticipan

⁶ Recordemos al respecto que si bien el modelo de corrección de error con perturbaciones heterocedásticas (que incorpora la estacionalidad *intradía* detectada para la volatilidad), estimado en el Capítulo 4 sobre las series de rendimientos horarios, si bien era capaz de capturar gran parte del comportamiento leptocúrtico de estas series, no generaba unos residuos estrictamente mesocúrticos.

⁷ Por ejemplo Harris (1989).

⁸ Por ejemplo Grossman (1988).

subsecuentes incrementos en la volatilidad de ambos mercados, y (b) aumentos de la volatilidad en alguno de los dos mercados producen posteriores reducciones de la base teórica. Por otro lado, Chen et al. (1995) plantean un modelo teórico de un solo periodo de negociación donde los operadores deben elegir invertir entre acciones, invertir en futuros o simplemente mantener su dinero en efectivo; dicho modelo predice que un incremento de la volatilidad conduce a una disminución de la base teórica. Los autores encuentran evidencia en favor de esta pauta de comportamiento cuando calibran el modelo a partir de datos diarios correspondiente al precio del futuro sobre el *S&P 500*.

El objetivo de este Capítulo es proporcionar evidencia empírica sobre las hipótesis planteadas en el mercado español de futuros sobre el *Ibex 35*, a partir de la información contenida en las series de volatilidades, la base teórica y el volumen negociado en ambos mercados. Utilizando datos sobre intervalos de cinco minutos, con relación a la primera de las hipótesis planteadas, los resultados empíricos sugieren la existencia de una relación de causalidad bidireccional, de forma que incrementos en la volatilidad en alguno de los mercados anticipan posteriores aumentos de la volatilidad en el otro mercado. Esta pauta es diferente de la detectada en el Capítulo 4 a partir de medidas de volatilidad obtenidas sobre datos de menor frecuencia (volatiliades diarias y diarias).

Respecto a la segunda de las hipótesis propuestas, los resultados sugieren la existencia de las siguientes pautas de comportamiento: (a) aumentos en la base teórica llevan asociados incrementos de la volatilidad en ambos mercados, y (b) el efecto de la volatilidad sobre la base teórica es diferenciado; mientras que incrementos en la volatilidad en el mercado de futuros tienden a reducir la base teórica, lo contrario sucede en lo que se refiere al impacto de la volatilidad del mercado de contado, es decir la volatilidad del mercado de contado y el diferencial, en puntos básicos, entre el precio teórico del contrato de futuros y el valor del *Ibex 35* se mueven en el mismo sentido.

El Capítulo se desarrolla como sigue. La sección 5.2 describe la muestra utilizada así como los principales estadísticos de las series utilizadas en el análisis. La sección 5.3 describe la metodología econométrica utilizada. La sección 5.4 presenta los resultados empíricos obtenidos acerca de las dos cuestiones anteriormente planteadas. Finalmente, la sección 5.5 expone las principales conclusiones obtenidas en el Capítulo.

5.2. DATOS.

Los datos utilizados en este trabajo de investigación han sido proporcionados por el Mercado Español de Futuros, Renta Variable (MEFF RV). El horario de negociación considerado corresponde al intervalo que abarca desde las 11:00 horas hasta las 17:00 horas, al igual que en el resto de los Capítulos. Las revisiones semestrales en la composición del índice, así como los dividendos pagados por cada uno de los 35 activos que integran el Ibex 35 han sido proporcionados por Sociedad de Bolsas S.A. La muestra utilizada comprende desde el 20 de Diciembre de 1993 hasta el 20 de Diciembre de 1996 (743 días de negociación)⁹, de forma que en el enlace de la serie únicamente se ha utilizado el contrato más líquido¹⁰. Teniendo en cuenta la frecuencia de observación muestral considerada (5 minutos), teóricamente deberíamos disponer de 72 observaciones diarias de precios para cada mercado; no obstante, y como consecuencia de la disminución de la liquidez en el mercado de futuros en las 14:30 horas y las 15:30 horas existen intervalos de tiempo superiores a los 5 minutos en los que no se cruza ninguna operación de futuros, por lo que se produce la *pérdida* de alguna observación. En concreto, para la muestra disponible se dispone de 51.929 observaciones.

En cada momento del tiempo, se ha calculado el precio teórico del contrato de futuros de próximo vencimiento, esto es, el contrato con mayor nivel de liquidez, según el modelo de valoración *Cost of Carry*, es decir:

$$F_{i,T}^* = S_i (1 + r_{i,T}) - \sum_i \sum_{j(j \geq t)} D_{i,j} (1 + r_{j,T})$$

donde es el precio teórico en el periodo t de un contrato de futuros con vencimiento en T , S_i es el valor del índice en el periodo t ; el subíndice i hace referencia a los activos que componen el índice, mientras que el subíndice j corresponde al periodo en que el activo i pagó dividendos; $D_{i,j}$ es el dividendo bruto en puntos del índice Ibex 35 pagado por el activo i en el periodo j ¹¹; r es el tipo de

⁹ Como ya se ha comentado en el Capítulo 2, existe un reducido número de días de negociación en los que no se dispone de buena parte del horario de negociación relevante.

¹⁰ El contrato de futuro sobre Ibex 35 tiene vencimiento mensual (tercer viernes de cada mes). Para cada contrato disponible (36 en total) se consideran como días relevantes el periodo que comprende desde el día posterior al vencimiento del contrato anterior, hasta el día de vencimiento del contrato considerado.

¹¹ El dividendo bruto pagado por el activo i -ésimo en el periodo j , en puntos del índice es igual a:

(... Continúa)

interés sin riesgo, que se supone no estocástico a corto plazo. En la construcción de esta serie se han utilizado los dividendos efectivamente pagados por los activos como variable *proxy* de los dividendos esperados, es decir, estamos suponiendo que a lo largo de la vida del contrato de futuros los dividendos esperados son conocidos con certeza, es decir estamos efectuando una valoración teórica *ex-post*. El tipo de interés utilizado corresponde al tipo medio de las operaciones con pacto de recompra cruzadas en el mercado secundario con Letras del Tesoro. Si el tiempo restante hasta el vencimiento del contrato de futuros es superior a 15 días se utiliza el tipo medio de la operación *repo* con plazo 30 días, mientras que si ocurre lo contrario se considera el tipo medio de la *repo* con plazo a un día. La variable base teórica, que denotamos por $Base_t$ se ha definido entonces como sigue:

$$Base_t = |F_{t,t} - F_{t,T}^*| = |Mispricing_t|,$$

es decir, la base representa el valor absoluto de la desviación del precio de mercado del contrato de futuros y su precio teórico. Cuanto mayor sea la variable base, más probable será la aparición de oportunidades de arbitraje, si bien la variable determinante para la detección real de oportunidades corresponde a la base neta de costes de transacción.

La medida de volatilidad utilizada, similar a la utilizada por Chan y Chung (1993), es el valor absoluto de las tasas de variación de los precios, esto es, utilizamos $VolS_t = \left| \frac{S_t}{S_{t-1}} - 1 \right|$ y

$$VolF_t = \left| \frac{F_{t,T}}{F_{t-1,T}} - 1 \right|$$
 como variables *proxy* de la volatilidad *instantánea* en el mercado de contado y

futuros respectivamente. Son indicadores de volatilidad de muy corto plazo, pues considera como información relevante la evolución de los mercados durante los últimos cinco minutos. La utilización de este tipo de medida permite calibrar el efecto que tiene sobre un mercado la realización de una operación de gran volumen en el otro mercado, puesto que generalmente este tipo de operaciones conlleva grandes movimientos de precios y en consecuencia importantes variaciones en los

$D_{i,j} = \frac{d_{i,j}}{P_i} \omega_{i,j}$, donde $d_{i,j}$ es el dividendo bruto correspondiente al activo i -ésimo en el periodo j , P_i es el precio del activo y $\omega_{i,j}$ la ponderación con que dicho activo entra en la composición del Ibex 35 en el periodo j .

Cap. 5. Relaciones entre Volatilidades, Volúmenes y Arbitraje.

rendimientos. De las series de volatilidad así construidas se han eliminado todos los datos que han sido generados con el precio correspondiente a las 11:00 horas de un determinado día y el último precio del día anterior (el correspondiente a las 17:00 horas).

Con objeto de identificar la relación dinámica *intradía* entre las variables $Base_t$, $VolS_t$, y $VolF_t$, se ha estimado un modelo de ecuaciones simultáneas que pasamos a describir en la sección 5.3.

5.3. UN MODELO DE ECUACIONES SIMULTÁNEAS PARA LAS VOLATILIDADES Y LA BASE TEÓRICA.

Con objeto de analizar las relaciones dinámicas *intradía* entre las volatilidades de ambos mercados y la base teórica, utilizamos el siguiente modelo de ecuaciones simultáneas:

$$VolF_t = \alpha_1 + \sum_{k=1}^{12} \beta_{k,t}^f VRdum_{k,t} + \sum_{k=1}^{12} \gamma_{1,k} VolF_{t-k} + \sum_{k=1}^{12} \delta_{1,k} VolS_{t-k} + \sum_{k=1}^{12} \phi_{1,k} \nabla Base_{t-k} + \sum_{k=1}^3 \varphi_k Spread_{t-k} + \varepsilon_{1,t}$$

$$VolS_t = \alpha_2 + \sum_{k=1}^{12} \beta_{k,t}^s VRdum_{k,t} + \sum_{k=1}^{12} \gamma_{2,k} VolF_{t-k} + \sum_{k=1}^{12} \delta_{2,k} VolS_{t-k} + \sum_{k=1}^{12} \phi_{2,k} \nabla Base_{t-k} + \varepsilon_{2,t}$$

$$\nabla Base_t = \alpha_3 + \sum_{k=1}^{12} \beta_{k,t}^b VRdum_{k,t} + \sum_{k=1}^{12} \gamma_{3,k} VolF_{t-k} + \sum_{k=1}^{12} \delta_{3,k} VolS_{t-k} + \sum_{k=1}^{12} \phi_{3,k} \nabla Base_{t-k} + \varepsilon_{3,t}$$

La variable $Spread_t$, que aparece en la primera ecuación es el diferencial entre el *Bid* y el *Ask* en el mercado de futuros en el instante de tiempo t . El comportamiento de esta variable ha sido ampliamente estudiado al inicio y al final del día de negociación, de forma que la evidencia es consistente al respecto: al inicio y al final de la sesión, momentos del tiempo con elevado volumen de negociación, el diferencial entre el precio de compra y venta del contrato tiende a

incrementarse¹². Sin embargo la relación entre esta variable y la volatilidad teniendo en cuenta toda la información disponible a lo largo del día es todavía una cuestión objeto de controversia. La inclusión del diferencial entre el *Bid* y el *Ask* en esta ecuación pretende encontrar evidencia acerca de las características de la relación entre las variables $VolF_t$ y $Spread_t$ para el mercado español de futuros sobre el Ibex 35.

La variable $VRdum$ es una variable *dummy* multiplicativa, construida de la siguiente forma:

$$VRdum_{k,t} = VR_t \cdot Dum_k \quad (k = 1, 2, 3, \dots, 12)$$

donde $R_t = \frac{VF_t}{VS_t}$ siendo VF_t y VS_t el volumen total negociado (en millones de ptas.) hasta el momento del tiempo t , dentro del día de negociación, en el mercado de futuros y contado respectivamente; Dum_k es una variable *dummy* que se activa si el periodo de negociación corresponde a la media hora siguiente a las $11 + \frac{(k-1)}{2}$ horas, ($k=1, 2, 3, \dots, 12$).¹³ Estas variables ficticias pretenden contrastar si el nivel de liquidez relativo de los mercados afecta de forma diferenciada a las volatilidades y la base teórica, a lo largo de cada día de negociación. La variable $\nabla Base_t$ denota la primera diferencia de la base teórica. Esta variable tiene, dentro del modelo considerado, una mayor relevancia que la variable en niveles puesto, que de esta forma, se está recogiendo los cambios en la valoración teórica que el mercado otorga al precio de un contrato de futuros; en este sentido, si la variable en primeras diferencias aumenta desde $t-1$ hasta t , en el periodo t el futuro está sobrevalorado o infravalorado en mayor medida que lo estaba en el instante anterior, es decir, cinco minutos antes. Por otro lado, esta transformación es adecuada, puesto que como se muestra en la sección 5.4 la autocorrelación de la serie de *mispricing* es relativamente alta y persistente.

¹² Esta característica ha sido estudiada entre otros por Brock y Kleidon (1992) sobre activos individuales negociados en la Bolsa de Nueva York y por Ma et al. (1992) para diversos contratos de futuros financieros y sobre mercancías.

¹³ El periodo de negociación considerado para cada día, que comprende desde las 11:00 horas hasta las 17:00 horas es particionado en intervalos de media hora cerrados por la izquierda y abiertos por la derecha, de forma que el número de intervalos considerados es de doce. En este sentido, por ejemplo la variable $dum_{3,t}$ es una variable ficticia que toma el valor 1 si el tiempo de negociación es superior o igual a las 12:00 horas y estrictamente inferior a las 12:30 horas. Obviamente el último de los intervalos es cerrado a izquierda y derecha.

Cap. 5. Relaciones entre Volatilidades, Volúmenes y Arbitraje.

La Ilustración 5.1, que aparecen en el Apéndice 2¹⁴, muestra los gráficos de correspondientes a las series de volatilidad construidas, tanto del mercado de futuros como del mercado de contado. Dado que las apreciaciones cualitativas del gráfico a partir de su visualización se ven afectadas por la presencia de valores muestrales atípicos, la escala escogida para el eje de ordenadas es tal que sus límites no llegan a cubrir todo el recorrido de la variable. El máximo valor de la serie de volatilidad en el mercado de futuros corresponde al día 17 de Marzo de 1995, que como se ha comentado en el Capítulo 3 de esta Tesis Doctoral está situado dentro de un periodo de gran volatilidad en lo que respecta a los mercados financieros españoles. El resto de valores superiores son claramente evidentes en el gráfico, y aparecen dentro de tres franjas horarias diferenciadas: a) la primera hora de negociación considerada (11:00 a 12:00 horas), la última (16:00 a 17:00 horas), b) el periodo comprendido entre las 13:00 y las 14:00 horas. Respecto a la volatilidad del índice, cabe señalar que todos los valores superiores a un 20% corresponden al comienzo de la sesión (entre las 11:05 horas y las 11.20 horas). La Ilustración 5.2 recoge los gráficos que muestran la evolución de la variable VR (Volumen Relativo) y de la variable $VBase$ (cambios en la base teórica). Dada la construcción por definición de la variable $VBase$ no extraña la coincidencia temporal de los principales atípicos de esta variable con la serie de volatilidad en el mercado de futuros. Respecto a la serie de volumen relativo, los valores atípicos, que pueden apreciarse con claridad en el gráfico, corresponden todos ellos al inicio del periodo de negociación (entre las 11:05 y las 11:30 horas).

(Insertar Ilustraciones 5.1 y 5.2)

Consideramos las tres ecuaciones como un sistema de ecuaciones aparentemente no relacionadas. Si las perturbaciones de cada ecuación están contemporáneamente correlacionadas, hecho que no puede ser obviado a priori, la estimación de cada ecuación por separado por mínimos cuadrados ordinarios daría lugar a estimaciones ineficientes. La estimación conjunta de las tres ecuaciones anteriormente planteadas presenta un problema de multicolinealidad perfecta, cuya solución requiere la eliminación de alguna variable ficticia multiplicativa o bien el no considerar la constante, en la correspondiente ecuación. La solución adoptada ha sido la de eliminar una de las variables ficticias multiplicativas, puesto que las tres variables endógenas presentan una media significativamente distinta de cero. A la vista de los resultados de los Capítulos precedentes de esta Tesis Doctoral, que muestran la presencia de agrupamientos de volatilidad al inicio y al final de la

¹⁴ Los gráficos se presentan en el Apéndice 2, mientras que las Tablas estadísticas en el Apéndice 1.

sesión negociadora se ha optado por eliminar la variable ficticia correspondiente al tramo horario que abarca desde las 14:30 horas hasta las 15:00 horas. A partir de la estimación del modelo se pretende contrastar si la evolución pasada de una determinada variable tiene capacidad predictiva sobre el comportamiento de cada una de las variables a explicar, dado el poder explicativo del resto de los regresores¹⁵.

El número de retardos elegido supone el considerar la evolución pasada con un retardo de una hora, excepto para la variable *Spread*, para la que el número de retardos es únicamente igual a tres. Esta longitud relativamente alta en los polinomios de retardos considerados, si bien disminuye el número de grados de libertad del modelo, lo cual es irrelevante dado el tamaño muestral, es necesaria para garantizar la ausencia de autocorrelación en los residuos.

Las series de volatilidades ($VolS_t, VolF_t$), así como las variables $\nabla Spread_t$ y volumen relativo (VR_t) han sido normalizadas por su desviación típica (a lo largo de todo el periodo muestral) con objeto de homogeneizar la escala de los parámetros estimados de cada una de las tres ecuaciones anteriormente descritas.

5.4. RESULTADOS EMPÍRICOS.

5.4.1. Estadísticos Previos.

Antes de proceder a examinar los resultados obtenidos en la estimación del modelo de ecuaciones simultáneas, es relevante conocer el comportamiento de cada una de las series de forma individualizada mediante el estudio de las características de las funciones de autocorrelación y autocorrelación parcial. La Tabla 5.1 recoge dichos estadísticos.

(Insertar Tabla 5.1)

La Tabla 5.1 muestra que si bien las funciones de autocorrelación de las series de volatilidad difieren cuantitativamente en el primer retardo, son significativamente distintas de cero

¹⁵ Por ejemplo, de acuerdo con la primera ecuación estamos interesados en conocer si la evolución pasada de la volatilidad en el mercado de contado contiene información acerca de la evolución posterior de la volatilidad en el mercado de futuros, que no esté contenida en el propio pasado de esta serie, así como del resto de variables, $\nabla Base_t$ y $Spread_t$.

La Tabla 5.1 muestra que si bien las funciones de autocorrelación de las series de volatilidad difieren cuantitativamente en el primer retardo, son significativamente distintas de cero durante un periodo de tiempo que comprende entre uno y dos días de negociación, lo que sugiere la existencia de una estructura autorregresiva con bajo grado de persistencia. A partir del segundo retardo, la autocorrelación es inferior a 0,13 en ambas series. La estructura de autocorrelación indica que períodos en los que se ha producido oscilaciones importantes en las series de precios son seguidos por movimientos de precios de nuevo relativamente grandes, mientras que periodos de baja volatilidad vienen seguidos de intervalos de tiempo con volatilidades asimismo relativamente reducidas. La serie de *mispricing* presenta mucha mayor autocorrelación. Ello sugiere que las oportunidades de arbitraje no desaparecen de forma instantánea una vez que son detectadas, puesto que la serie tiende a permanecer durante varios periodos por encima o por debajo de la media. Sus fluctuaciones alrededor de la media no son aleatorias. Este resultado es consistente con los obtenidos por Chan et al. (1993) y Mackinlay y Ramaswamy (1988) para el futuro sobre el *MMI* y el futuro sobre el *SP 500* respectivamente. Recogemos dicha dependencia del pasado en las series utilizadas incorporando en el modelo multiecuacional valores retardados de las variables en cada una de las ecuaciones.

Las funciones de correlación cruzada, que se resumen en la Tabla 5.2, nos pueden proporcionar evidencia acerca del sentido de la causalidad entre las series consideradas, así como de su grado de persistencia. El rango de retardos comprende desde -12 hasta 12, por lo que el retardo máximo es de una hora.

(Insertar Tabla 5.2)

Cabe destacar las siguientes características:

- a) La estructura de correlación cruzada entre las series de volatilidad pone de manifiesto que los incrementos o decrementos de la volatilidad en un mercado llevan asociados aumentos o disminuciones en la volatilidad del otro. Teniendo en cuenta que el mercado está arbitrado y el diferencial entre el futuro cotizado y el valor del índice tiende a mantenerse dentro unas bandas bajo las cuales no existen oportunidades de arbitraje, es decir, la covarianza entre los precios de ambos mercados es positiva, la pauta observada sugiere que la transmisión de volatilidad entre ambos mercados se produce de forma que el mercado de futuros no tiende a estabilizar el mercado de contado en periodos sujetos a fuertes fluctuaciones.

- b) No puede identificarse una pauta de comportamiento sistemático a partir de la estructura de correlación cruzada entre $VolS_t$ y $\nabla Base_t$, ni entre $VolF_t$ y $\nabla Base_t$. Las correlaciones contemporáneas entre las volatilidades y los cambios en la base teórica, son de signo contrario (negativa entre $VolS_t$ y $\nabla Base_t$, y positiva entre $VolF_t$ y $\nabla Base_t$, siendo la primera aproximadamente tres veces en valor absoluto la segunda).

5.4.2. Estimación del modelo.

Las Tablas 5.3, 5.4 y 5.5 presentan los resultados de la estimación del modelo de ecuaciones simultáneas propuesto. Los estadísticos Ljung - Box de las series de residuos indican que el número de retardos considerado en las variables explicativas es adecuado para recoger toda la estructura de autocorrelación de las series utilizadas, lo que justifica el uso de las distribuciones habituales en la contrastación de hipótesis estadísticas sobre los coeficientes del modelo.

▪ Ecuación 1. Volatilidad en el mercado de futuros.

La Tabla 5.3 presenta los resultados de la estimación para la primera de las ecuaciones, en donde la volatilidad del mercado de futuros es función de su propio pasado, así como de la evolución pasada de la volatilidad del mercado *spot*, de los cambios en la base teórica y del diferencial entre y el *Bid* y el *Ask* en el mercado de futuros.

(Insertar Tabla 5.3)

Se observan diferentes características de interés: a) los coeficientes asociado a $VolS_{t-k}$ ($k=1,2,3,4,5,6$) son individualmente significativos al nivel del 1%, lo cual sugiere que la volatilidad en el mercado de contado tiene capacidad explicativa sobre el posterior comportamiento de la volatilidad en el mercado de futuros. Este resultado no es contradictorio con los obtenidos por Iihara et al.(1996) y Koutmos y Tucker (1996) para otros mercados, los cuales encuentran evidencia en favor de una relación de causalidad unidireccional, en términos de volatilidad, desde el mercado de futuros hacia el mercado *spot*. Asimismo tampoco entran en conflicto con la evidencia empírica obtenida en el Capítulo 4 de esta Tesis Doctoral a partir de otras medidas de volatilidad que son aplicadas sobre datos de menor frecuencia, la cual está en la línea de la que se detecta en los dos trabajos anteriormente citados. Observando el conjunto de todos los retardos considerados, simplemente corroboran estadísticamente que, para el mercado español, la capacidad explicativa de la volatilidad en el mercado de contado sobre la volatilidad del mercado de futuros se presenta a lo

largo de un intervalo de tiempo inferior a los 60 minutos. Los coeficientes estimados son todos positivos, indicando que incrementos de la volatilidad en el mercado de contado vienen seguidos de incrementos en la volatilidad del otro mercado, siendo dicha transmisión de volatilidad significativa a lo largo de un intervalo cuya longitud temporal puede llegar a los 30 minutos, desde el momento en que el mercado de contado incrementó su grado de fluctuación a corto plazo.

Además es interesante observar que los coeficientes correspondientes a un retardo temporal comprendido entre los 30 y 40 minutos dejan de ser significativos, volviendo a serlo para los dos siguientes retardos: $VolS_{t-9}$ y $VolS_{t-10}$. Esta pauta sugiere la existencia de una *reacción en dos etapas* por parte de los operadores en el mercado de futuros ante cambios en la volatilidad del subyacente; esta pauta puede ser explicada sobre la base del siguiente argumento: cuando la volatilidad de los activos que componen el Ibex 35 aumenta, de tal forma que los movimientos en los precios de unos activos no llegan a contrarrestar los movimientos contrarios de los precios del resto de los activos que integran la cesta, lo cual se traduce en un incremento de la volatilidad del Ibex 35, los agentes del mercado cubren sus posiciones inmediatamente operando en el mercado de futuros, a lo largo de un tiempo estimado de 30 minutos. Una vez se ha producido esta respuesta, los operadores observan cuál es el comportamiento del mercado de contado durante aproximadamente los siguientes 10 minutos. Finalmente y en función de la evolución de los activos que componen el índice durante este último periodo los agentes reajustan sus posiciones operando de nuevo en el mercado de futuros, en la medida que algunas carteras no hubiesen podido ser cubiertas de forma óptima.

Por otra parte, el coeficiente estimado para $\nabla Base_{t-1}$ es fuertemente significativo y positivo, sugiriendo que incrementos en la desviación del precio cotizado respecto del precio teórico anticipan incrementos de la volatilidad en el mercado de futuros a muy corto plazo. Respecto al efecto del diferencial entre el *Bid* y el *Ask* del contrato de futuros observamos que el coeficiente asociado a $Spread_{t-2}$ es significativo al 1% y negativo, lo cual indica que incrementos en dicho diferencial, tienden a reducir la volatilidad del mercado, con un retardo aproximado de cinco minutos. Si pensamos que un incremento del diferencial entre el precio de compra y venta ofrecido por los creadores de mercado, lo cual en definitiva supone un incremento de los costes de

transacción, tiende a reducir el volumen de negociación¹⁶ nuestro resultado es coherente con la abundante evidencia empírica en favor de la existencia de una correlación contemporánea positiva entre volumen negociado y volatilidad¹⁷. No obstante, este resultado es contrario al encontrado por Wang et al. (1994), entre Septiembre de 1987 y Mayo de 1988; estos autores obtienen evidencia para el futuro sobre el *Standard & Poor's 500*, acerca de la existencia de una relación positiva entre el diferencial *Bid - Ask* y la volatilidad del mercado de futuros¹⁸. Es interesante asimismo observar las estimaciones de los coeficientes de las variables ficticias multiplicativas, que se muestran en el Gráfico 5.3¹⁹.

(Insertar Gráfico 5.3)

Dichas estimaciones son significativas para el periodo comprendido entre las 11:30 y las 12:00 horas, así como para el correspondiente al tramo entre las 14:30 a las 17:00 horas, lo cual sugiere que es al inicio y al final del día de negociación los periodos sujetos a mayor volatilidad. Todas estas estimaciones son positivas, indicando que cuando el volumen relativo de negociación (Futuro / Contado) se incrementa de forma significativa en dichos tramos horarios, la volatilidad del precio del contrato de futuros también aumenta.

Respecto a la capacidad explicativa de las variables consideradas, observamos como los contrastes de significatividad conjunta por grupos de retardos ponen de manifiesto que la evolución de la volatilidad (valor absoluto de la tasa de variación de los precios) en el mercado de contado, a lo largo de la última hora de negociación, presenta capacidad explicativa sobre el comportamiento de la volatilidad en el mercado de futuros²⁰. De forma similar ocurre respecto a la capacidad explicativa de la base teórica.

¹⁶ Sin embargo como señalan Ma et al. (1992) un incremento del diferencial entre *Bid* y *Ask* al inicio o al final del día de negociación por parte de los creadores de mercado, probablemente como consecuencia de la existencia de una estructura de información asimétrica durante esos periodos, no lleva necesariamente asociado una disminución en el volumen de negociación en la medida que pueden existir operadores *forzados* a negociar en esos momentos del tiempo.

¹⁷ Por ejemplo, Harris (1989), Karpoff (1987) y Bessembinder y Seguin (1992).

¹⁸ Estos autores utilizan como medida de volatilidad la media de los valores absolutos de los cambios en los precios a intervalos de 5 minutos durante periodos de media hora.

¹⁹ Como se ha comentado anteriormente en la estimación del modelo se ha eliminado una de las variables ficticias multiplicativas. Con objeto de poder visualizar una evolución a lo largo del día acerca del impacto del volumen relativo sobre cada una de las variables endógenas, el gráfico que se presenta incorpora la estimación para la variable $VRdum_{8,t}$, inicialmente no disponible, a partir de la estimación del modelo con cada ecuación sin constante .

²⁰ A lo largo de 15 minutos para el diferencial *Bid - Ask* en el mercado de futuros.

Se ha llevado a cabo una segunda estimación del modelo introduciendo una variable *dummy* que pretende analizar cómo afecta la restricción a la venta en corto de activos a la hora de realizar una operación de arbitraje inverso (*Reverse Cash and Carry Arbitrage*). De esta forma, se ha introducido en la ecuación que explica la volatilidad del mercado de futuros una variable ficticia adicional, que denominamos $SsrDum_t$. Esta variable es una variable *dummy* multiplicativa construida de la siguiente forma: $SsrDum_t = Dum^* Mispricing_t$, siendo Dum^* una variable *dummy* que se activa si $mispricing(t) < -16,5$ y $\left(\frac{S_t}{S_{t-1}} - 1\right) < 0$, es decir, dicha variable ficticia toma un valor igual a uno si la tasa de variación del Ibex en el periodo anterior es negativa y el diferencial entre el precio cotizado y el precio teórico del futuro es negativo e inferior al umbral estimado por Fernández e Yzaguirre (1996) para la existencia de arbitraje inverso a lo largo del periodo que comprende desde Diciembre de 1993 hasta Mayo de 1994. Esta definición es interesante por cuanto estamos centrando la atención en momentos donde la Bolsa está cayendo y a la vez existen posibilidades de realización de arbitraje inverso en el mercado de futuros. Los resultados de la nueva estimación son, en términos cuantitativos, prácticamente idénticos a los correspondientes a la estimación del modelo inicialmente considerado, de forma que la estructura cualitativa de los resultados se mantiene en los términos hasta aquí expuestos para la primera ecuación²¹. Las estimaciones para los tres retardos considerados del diferencial entre el *Bid* y el *Ask* en el mercado de futuros (entre paréntesis figuran las desviaciones típicas estimadas) fueron, respectivamente, iguales a: $0,91 \cdot 10^{-3}$ ($0,8 \cdot 10^{-3}$), $0,20 \cdot 10^{-2}$ ($0,8 \cdot 10^{-3}$) y $0,15 \cdot 10^{-2}$ ($0,8 \cdot 10^{-3}$).

Los coeficientes estimados (θ_k) son positivos y significativos al 5% para el segundo y tercer retardo, mientras que la estimación para el primero de los retardos, si bien también es positiva no es significativa al 5%. Ello sugiere que cuando una operación de arbitraje inverso es detectada, el tiempo necesario para poder materializar la operación es al menos de 5 minutos, probablemente como consecuencia de la necesidad de tener que comprar en primer lugar los activos para después venderlos, operación esta última que será tanto más dificultosa cuanto más a la baja sea la tendencia del mercado de contado. Durante este intervalo de tiempo la restricción limita la capacidad operativa de los arbitrajistas, y a pesar de que el futuro está infravalorado de forma significativa, los precios del contrato de futuro no incrementan su variabilidad. En el

²¹ Asimismo los resultados no varían en términos cualitativos para las otras dos ecuaciones, las cuales serán comentadas posteriormente.

momento en que se ha replicado la cesta con los 35 valores, el arbitraje puede llevarse a cabo, y ello produce un incremento de la volatilidad en el mercado de futuros.

▪ **Ecuación 2. Volatilidad en el mercado de contado.**

La Tabla 5.4 presenta los resultados de la estimación para la segunda ecuación del modelo, en donde la volatilidad del mercado de contado es la variable endógena, mientras que las variables explicativas se corresponden con de la evolución pasada de la volatilidad del mercado *spot* y los cambios en la base teórica.

(Insertar Tabla 5.4)

Los resultados muestran que los coeficientes estimados para $VolF_{t-k}$ ($k=1,2,\dots,12$) son significativos al 5%, tanto individualmente, como en conjunto, es decir, la volatilidad del índice en un momento del tiempo está correlacionada de forma positiva con la evolución pasada de la volatilidad en el mercado de futuros. En conjunto con los resultados para la ecuación 1, el modelo estimado sugiere la existencia de una transmisión de volatilidad de naturaleza bidireccional entre ambos mercados, si bien la capacidad explicativa de la volatilidad del mercado de futuros sobre la volatilidad del mercado de contado es superior a la que se detecta en el sentido contrario. En este sentido, la medida de volatilidad generada a partir de datos de muy alta frecuencia revela una estructura de causalidad de naturaleza similar a la detectada en el Capítulo 3 sobre las series de rendimientos, en donde la capacidad explicativa del mercado de contado sobre el mercado de futuros no se extiende más allá de 60 minutos. Como ya se ha comentado anteriormente este resultado es coherente con los obtenidos en el Capítulo 4. En la línea de Chan et al. (1993) encontramos evidencia de la existencia de asimetría sobre el impacto de un mercado sobre el otro. Para los seis primeros retardos (significativos en ambas ecuaciones) los coeficientes estimados son al menos igual, y en general de superior magnitud, en la ecuación que explica la volatilidad del mercado de futuros que en la ecuación en donde la variable endógena es la volatilidad del mercado de contado, indicando que la evolución pasada de la volatilidad en el mercado de futuros afecta en mayor medida a la volatilidad en el mercado de contado, con relación al impacto que se detecta empíricamente en el sentido contrario.

Por otro lado, de forma similar a los resultados obtenidos en la primera ecuación, observamos que los cambios en la base teórica afectan a la volatilidad, en este caso sobre el mercado de contado. Podemos asimismo observar que el efecto de esta variable sobre la volatilidad del mercado de futuros se extiende en el tiempo por un periodo superior al observado para la volatilidad del mercado de contado en la Tabla 5.3.

El Gráfico 5.3 muestra que el volumen relativo negociado acumulado afecta a la volatilidad del mercado de contado y a la volatilidad del mercado de futuros de modo similar. Una característica interesante es el hecho de que todas las estimaciones son negativas, excepto la correspondiente al primero y a los dos últimos subperiodos de negociación considerados, esto es, el periodo de negociación que comprende desde las 11:00 horas a las 11:30 horas, así como el que abarca desde las 16:00 horas hasta las 17:00 horas. Ello sugiere que, excepto al comienzo y al final de la sesión negociadora, un incremento en el volumen de negociación relativo (futuro / contado) tiende a estabilizar el comportamiento de los precios en el mercado *spot*, si bien dicho efecto *neutralizador* es cada vez menos efectivo a medida que nos acercamos al cierre de los mercados (los valores estimados de los coeficientes al final de la sesión son en valor absoluto, entre los negativos, los más pequeños). Sin embargo, el Gráfico 5.5 pone de manifiesto si bien el efecto del volumen negociado relativo es, a lo largo del día, cualitativamente similar el efecto medio sobre la volatilidad del Ibex 35 es negativo. Una explicación coherente de este hecho puede ser debida a que los operadores de ambos mercados ajustan sus posiciones de contado básicamente al comienzo y al final del día de negociación, operando el resto del día fundamentalmente en el mercado de derivados. Este resultado es consistente con el obtenido por Brown-Hruska y Kuserk (1995), al estudiar el contrato de futuros sobre el S&P 500; estos autores no encuentran evidencia acerca de la existencia de una relación positiva entre volumen negociado en el mercado de futuros y volatilidad en el mercado de contado. Asimismo nuestros resultados están en la línea de lo obtenido por Darrat y Rahman (1995), los cuales no atribuyen como factores principales de volatilidad en el mercado de contado la existencia de elevados niveles de actividad negociadora en el mercado de futuros sobre el índice S&P 500, sino que identifican como causas de dicha volatilidad, tanto las fluctuaciones en la estructura intertemporal de los tipos de interés, como las correspondientes a otros índices bursátiles no susceptibles de ser utilizados como activo subyacente en los mercados de futuros.

Finalmente, de nuevo cabe señalar que los contrastes de significatividad conjunta por grupos de regresores muestran que la evolución pasada de las tasas de variación de los precios

en el mercado de futuros, así como también los cambios en la base teórica, son relevantes para explicar la volatilidad en el mercado de contado.

-
-
- **Ecuación 3. Cambios en la Base teórica.**

La Tabla 5.5 presenta los resultados de la estimación para la ecuación en la que la variable endógena es la base teórica, mostrando que los cambios de esta variable dependen de la evolución pasada de los precios en ambos mercados, pero de forma diferenciada.

(Insertar Tabla 5.5)

El coeficiente estimado asociado a $VolF_{t-1}$ es negativo y claramente significativo, lo que pone de manifiesto que incrementos en la volatilidad del mercado de futuros preceden a reducciones en la sobrevaloración o infravaloración teórica del contrato de futuros a muy corto plazo. Por el contrario, el coeficiente asociado a $VolS_{t-1}$ es significativo, pero de signo positivo, revelando que incrementos en la volatilidad del mercado de contado tienden a incrementar el diferencial entre el precio cotizado y el precio teórico. Esta segunda evidencia empírica para el mercado español es contradictoria con los resultados de Chan y Chung (1993), para el mercado de futuros sobre el *Major Market Index*, quienes obtienen evidencia acerca de una relación negativa entre la volatilidad, tanto del mercado de contado como del mercado de futuros, y los cambios en la base teórica²². Sin embargo, podemos observar que el primero de dichos coeficientes que acabamos de comentar es muy superior en valor absoluto al segundo, lo cual sugiere que la capacidad del mercado de futuros para *relinear* los precios dentro de las bandas de ausencia de arbitraje es muy superior al efecto contrario producido por el mercado de contado. Este hecho puede tener una explicación lógica si interpretamos los incrementos de volatilidad como consecuencia de incrementos en el volumen de negociación. Cuanto mayor es la liquidez del contrato de futuros mayor será la capacidad de arbitrar en lo que respecta a la toma de posiciones en el mercado de derivados; sin embargo, dada la mayor competencia en el mercado de activos individuales, una

²² Estos autores argumentan que la mayor volatilidad de los mercados facilita la materialización de las operaciones de arbitraje detectadas, de forma que una vez realizadas el diferencial entre el precio teórico del contrato de futuros y el valor del índice disminuye.

profundidad de mercado excesivamente alta para la mayoría de los *tramos* de oferta y demanda de cada uno de los 35 activos que componen el índice puede llegar a dificultar la replicación del índice al tomar la contrapartida en el mercado de contado, de forma que se pueda estar obstaculizando la realización del arbitraje. Respecto a los coeficientes estimados para las variables ficticias multiplicativas se observa que el volumen relativo negociado afecta fundamentalmente al principio y al final de la sesión, sugiriendo que es en dichos momentos cuando existe una probabilidad relativamente mayor para la aparición de oportunidades de arbitraje.

De forma análoga a lo señalado para las ecuaciones que explicaban la volatilidad de cada mercado, los contrastes de significatividad conjunta para los retardos de los cambios en la base teórica así como para los retardos de la volatilidad de ambos mercados muestran que la información contenida en la evolución pasada de la volatilidad de cada mercado durante la última hora de negociación es relevante a la hora de explicar el comportamiento de los cambios en la base teórica.

Respecto a los valores atípicos de las series de residuos estimados, una característica relevante y a priori esperada, es el hecho de que el máximo valor de la serie de residuos de la ecuación que explica la volatilidad del mercado de futuros, coincide con el máximo de la serie de residuos de la ecuación 3. Dicho atípico corresponde al día 17 de Marzo de 1995, concretamente a las 11 horas y 14 minutos. Como ya se ha comentado anteriormente en la sección 5.2 así como en el Capítulo 3 de esta Tesis Doctoral, este día, que corresponde al vencimiento del contrato de futuros de Marzo de 1995, se circunscribe dentro de una semana en donde los mercados estuvieron sujetos a gran volatilidad.

5.5. CONCLUSIONES.

En este Capítulo se ha llevado a cabo un estudio del mercado español de futuros sobre el Ibex 35 utilizando datos con una frecuencia de cinco minutos a lo largo del periodo comprendido entre el 20 de Diciembre de 1993 y el 20 de Diciembre de 1996. Nuestro principal objetivo ha sido caracterizar la relación dinámica *intradía* entre las series de *mispricing* (diferencia entre futuro cotizado y futuro teórico) y las volatilidades (tasas de variación de los precios) entre ambos mercados, incorporando además la información proporcionada por el volumen negociado en los dos mercados. La metodología utilizada se basa en la estimación de un sistema de ecuaciones aparentemente no relacionadas, con objeto de analizar la interacción entre las volatilidades y la base teórica.

Respecto a la primera de las hipótesis planteadas, encontramos evidencia acerca de una relación de causalidad de naturaleza bidireccional entre las volatilidades en ambos mercados, si bien el efecto de la volatilidad del mercado de futuros sobre la volatilidad del mercado de contado es bastante más importante que el que se detecta en el sentido contrario. En este sentido, nuestros resultados son consistentes con los de Chan et al. (1991), para el mercado de futuros sobre el *S&P 500*, y Chan et al. (1993), para el mercado de futuros sobre el *MMI*, entre otros, pero por ejemplo son contradictorios con los obtenidos por Iihara et al. (1996) para el mercado de futuros sobre el *Nikkei Stock Average* y Koutmos y Tucker (1996), para el contrato de futuros sobre el *S&P 500*.

En cuanto a la segunda de las cuestiones planteadas, los resultados indican que cambios en la base teórica vienen acompañados de posteriores incrementos en la volatilidad tanto del mercado de futuros como del mercado de contado. Este resultado podría proporcionar base empírica a uno de los argumentos más ampliamente utilizado por los críticos de los mercados de derivados: un aumento del diferencial entre el precio cotizado del futuro y su precio teórico incrementa la probabilidad de que aparezcan oportunidades de arbitraje; en la medida que estas oportunidades son detectadas y el beneficio derivado de ellas es superior a los costes de transacción, los agentes toman posiciones en ambos mercados, de forma que los precios se reajustan, a la vez que la volatilidad en ambos mercados aumenta. En consecuencia, la existencia del mercado de derivados contribuye a incrementar la volatilidad del mercado de contado.

Sin embargo, los resultados indican que los incrementos de volatilidad en el mercado de futuros no están asociados a subsecuentes incrementos en la base teórica, lo cual sugiere que no toda la volatilidad del mercado de futuros está asociada con operaciones especulativas que tienden a provocar una mayor sobrevaloración o infravaloración teórica del contrato de futuro, sino que los precios tienden a reajustarse más rápidamente cuando el mercado de futuros es volátil. Por otro lado, los resultados ponen de manifiesto que aumentos de la volatilidad en el mercado de contado tienden a incrementar levemente la base teórica, sugiriendo que es el mercado de futuros, y no el del contado, el que juega un papel decisivo a la hora de mantener los precios de ambos mercados dentro de las bandas en las que no es rentable llevar a cabo operaciones de arbitraje.

TABLA 5.1. Funciones de Autocorrelación.

Retardo	Volatilidad Futuro		Volatilidad Contado		Mispricing		▽ Base	
	F.A.C.	F.A.C.P.	F.A.C.	F.A.C.P.	F.A.C.	F.A.C.P.	F.A.C.	F.A.C.P.
1	0,376	0,376	0,167	0,167	0,887	0,878	-0,373	-0,373
2	0,112	-0,033	0,121	0,095	0,859	0,336	-00,034	-00,201
3	0,100	0,091	0,088	0,055	0,838	0,179	-0,035	-0,152
4	0,078	0,040	0,081	0,051	0,825	0,136	-0,000	-0,102
8	0,058	0,031	0,063	0,031	0,785	0,048	-0,005	-0,005
12	0,075	0,022	0,056	0,002	0,758	0,025	-0,002	-0,023
24	0,041	0,014	0,011	0,000	0,690	0,007	-0,003	-0,013
36	0,021	-0,000	-0,002	-0,003	0,641	0,007	-0,000	-0,010
48	0,004	0,001	0,001	0,007	0,599	0,001	-0,001	-0,005
60	0,005	0,002	0,020	0,004	0,565	-0,002	-0,005	-0,006
90	0,003	0,002	0,002	-0,001	0,515	-0,002	0,000	-0,000

Notas: f.a.c. y f.a.c.p. denotan las funciones de autocorrelación simple y parcial respectivamente. La desviación típica de cada valor estimado puede aproximarse por $\frac{1}{\sqrt{T}} \approx 0,004$.

TABLA 5. 2. Correlaciones Cruzadas.

<i>K</i>	<i>VolS vs. VolF</i> ⁺	<i>VolS vs. ∇Base</i>	<i>VolF vs. ∇Base</i>	<i>K</i>	<i>VolS vs. VolF</i>	<i>VolS vs. ∇Base</i>	<i>VolF vs. ∇Base</i>
0	0,215	-0,050	0,025	-1	0,107	-0,013	-0,227
1	0,140	0,049	0,200	-2	0,089	0,000	-0,002
2	0,104	0,008	0,009	-3	0,086	0,011	0,003
3	0,091	0,014	-0,001	-4	0,079	-0,013	-0,002
4	0,088	0,008	0,001	-5	0,063	0,002	-0,000
5	0,081	0,008	-0,002	-6	0,061	0,000	-0,002
6	0,080	0,006	0,003	-7	0,052	0,000	0,000
7	0,073	-0,002	-0,002	-8	0,044	-0,000	0,000
8	0,077	-0,002	0,004	-9	0,054	0,006	-0,005
9	0,075	0,002	-0,004	-10	0,053	-0,004	0,008
10	0,076	-0,001	-0,004	-11	0,054	-0,005	0,005
11	0,078	-0,007	0,004	-12	0,046	-0,002	-0,006
12	0,087	0,004	0,003				

* La variable que aparece en segundo lugar es la que se considera retardada en el cálculo del estadístico, de forma que los retrados negativos corresponden en este primer caso a la relación entre la volatilidad actual del futuro y la volatilidad de contado a lo largo de la hora siguiente. La desviación típica aproximada de cada estadístico puede aproximarse por el inverso de la raíz cuadrada del tamaño muestral, en este caso, igual a 0,004

TABLA 5. 3. ESTIMACIÓN ECUACIÓN 1. VOLATILIDAD DEL FUTURO.

$VolF_{t-1}$,329 (,004)*	$VolS_{t-1}$,014 (,004)	\sqrt{Base}_{t-1}	,208 (,004)	$VRdum_{1,t}$,007 (,004)	$Spread_{t-1}$,0005 (,0004)
$VolF_{t-2}$	-,032 (,004)	$VolS_{t-2}$,031 (,004)	\sqrt{Base}_{t-2}	,050 (,005)	$VRdum_{2,t}$,023 (,011)	$Spread_{t-2}$	-,0009 (,0004)
$VolF_{t-3}$,043 (,004)	$VolS_{t-3}$,022 (,004)	\sqrt{Base}_{t-3}	,043 (,005)	$VRdum_{3,t}$	-,006 (,011)	$Spread_{t-3}$,0004 (,004)
$VolF_{t-4}$,016 (,004)	$VolS_{t-4}$,017 (,004)	\sqrt{Base}_{t-4}	,029 (,005)	$VRdum_{4,t}$,008 (,012)	Est, F por grupo de reg. *	
$VolF_{t-5}$,015 (,004)	$VolS_{t-5}$,008 (,004)	\sqrt{Base}_{t-5}	,018 (,005)	$Vrdum_{5,t}$,030 (,012)	VolF: 6.172,3 (0,00)	
$VolF_{t-6}$,019 (,004)	$VolS_{t-6}$,011 (,004)	\sqrt{Base}_{t-6}	,018 (,005)	$Vrdum_{6,t}$,024 (0,13)	VolS : 241,3 (0,00)	
$VolF_{t-7}$,008 (,004)	$VolS_{t-7}$,004 (,004)	\sqrt{Base}_{t-7}	,010 (,005)	$VRdum_{7,t}$,043 (,013)	\sqrt{Base} : 2.147,4 (0,00)	
$VolF_{t-8}$,013 (,004)	$VolS_{t-8}$	-,000 (,004)	\sqrt{Base}_{t-8}	,013 (,005)	$VRdum_{8,t}$,160 (,013)	Spread : 9,58 (0,02)	
$VolF_{t-9}$,010 (,004)	$VolS_{t-9}$,015 (,004)	\sqrt{Base}_{t-9}	,004 (,005)	$Vrdum_{9,t}$,096 (,013)	Est, Ljung-Box Residuos ^(*) ,	
$VolF_{t-10}$,007 (,004)	$VolS_{t-10}$,009 (,004)	\sqrt{Base}_{t-10}	,008 (,005)	$Vrdum_{10,t}$,196 (,013)	(10 retardos) 5,84 (0,82)	
$VolF_{t-11}$,017 (,004)	$VolS_{t-11}$,006 (,004)	\sqrt{Base}_{t-11}	,012 (,005)	$Vrdum_{11,t}$,205 (,013)	(15 retardos) 15,25 (0,43)	
$VolF_{t-12}$,015 (,004)	$VolS_{t-12}$,007 (,004)	\sqrt{Base}_{t-12}	,003 (,004)	$Vrdum_{12,t}$,129 (,013)	$R^2 = 0,225$	Nº Obs.: 51.183

* Entre paréntesis figuran las desviaciones típicas. *La hipótesis nula contrastada es si todos los coeficientes son iguales a cero. Entre paréntesis figura el nivel de significación crítico del contraste razón de verosimilitudes. Bajo H_0 el estadístico sigue una χ^2_1 . (*) Estadísticos Ljung - Box. Para m retardos el estadístico es: $Q(m) = T(T+2) \sum_{k \leq m} \frac{1}{T-k} \hat{\rho}_k^2$. Bajo la hipótesis nula de ausencia de autocorrelación la distribución asintótica del estadístico es una χ^2_m . La constante estimada (desviación típica) es igual a: ,181 (,009)

TABLA 5. 4. ESTIMACIÓN ECUACIÓN 2. VOLATILIDAD DEL CONTADO.

<i>VolF_{t-1}</i>	,060 (,004)*	<i>VolS_{t-1}</i>	,102 (,004)	<i>∇Base_{t-1}</i>	,076 (,005)	<i>Vrdum_{1,t}</i>	,067 (,004)	Est, F por grupo de reg, *
<i>VolF_{t-2}</i>	,025 (,005)	<i>VolS_{t-2}</i>	,048 (,004)	<i>∇Base_{t-2}</i>	,043 (,005)	<i>Vrdum_{2,t}</i>	-,133 (,012)	<i>VolF</i> 1,017,1 (0,00)
<i>VolF_{t-3}</i>	,017 (,005)	<i>VolS_{t-3}</i>	,015 (,004)	<i>∇Base_{t-3}</i>	,043 (,006)	<i>Vrdum_{3,t}</i>	-,118 (,012)	<i>VolS</i> 638,7 (0,00)
<i>VolF_{t-4}</i>	,024 (,005)	<i>VolS_{t-4}</i>	,012 (,004)	<i>∇Base_{t-4}</i>	,037 (,006)	<i>Vrdum_{4,t}</i>	-,100 (,013)	<i>∇Base</i> 254,2 (0,00)
<i>VolF_{t-5}</i>	,011 (,005)	<i>VolS_{t-5}</i>	,010 (,004)	<i>∇Base_{t-5}</i>	,030 (,006)	<i>Vrdum_{5,t}</i>	-,095 (,013)	R ² = 0,171
<i>VolF_{t-6}</i>	,020 (,005)	<i>VolS_{t-6}</i>	,030 (,004)	<i>∇Base_{t-6}</i>	,025 (,006)	<i>Vrdum_{6,t}</i>	-,098 (0,14)	Nº de obs, = 51.183
<i>VolF_{t-7}</i>	,009 (,005)	<i>VolS_{t-7}</i>	,015 (,004)	<i>∇Base_{t-7}</i>	,012 (,006)	<i>Vrdum_{7,t}</i>	-,106 (,014)	Est, Ljung-Box Residuos ^(*) ,
<i>VolF_{t-8}</i>	,016 (,005)	<i>VolS_{t-8}</i>	,020 (,004)	<i>∇Base_{t-8}</i>	,009 (,006)	<i>Vrdum_{8,t}</i>	-,037 (,014)	(10 retardos) 6,0 (0,81)
<i>VolF_{t-9}</i>	,010 (,005)	<i>VolS_{t-9}</i>	,016 (,004)	<i>∇Base_{t-9}</i>	,012 (,006)	<i>Vrdum_{9,t}</i>	-,097 (,014)	(15 retardos) 10,9 (0,75)
<i>VolF_{t-10}</i>	,021 (,005)	<i>VolS_{t-10}</i>	,007 (,004)	<i>∇Base_{t-10}</i>	,005 (,006)	<i>Vrdum_{10,t}</i>	-,019 (,014)	
<i>VolF_{t-11}</i>	,010 (,005)	<i>VolS_{t-11}</i>	,020 (,004)	<i>∇Base_{t-11}</i>	,001 (,005)	<i>Vrdum_{11,t}</i>	,028 (,014)	
<i>VolF_{t-12}</i>	,033 (,004)	<i>VolS_{t-12}</i>	,019 (,004)	<i>∇Base_{t-12}</i>	,003 (,004)	<i>Vrdum_{12,t}</i>	,032 (,014)	

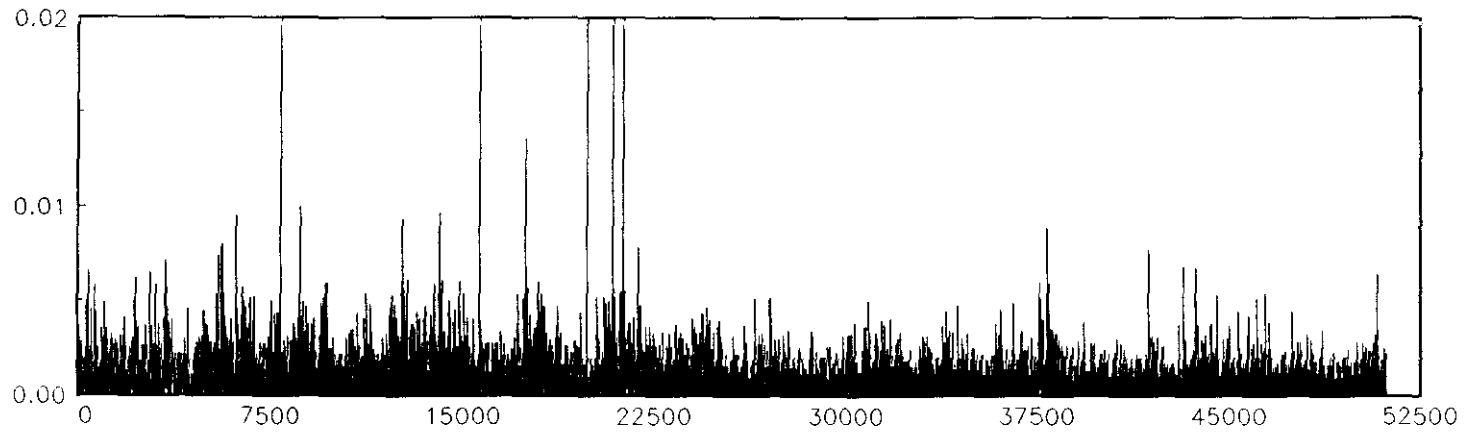
* Entre paréntesis figuran las desviaciones típicas. *La hipótesis nula contrastada es si todos los coeficientes son iguales a cero. Entre paréntesis figura el nivel de significación crítico del contraste razón de verosimilitudes. Bajo H₀ el estadístico sigue una χ^2_1 . (*) Estadísticos Ljung - Box. Para *m* retardos el estadístico es: $Q(m) = T(T+2) \sum_{k \leq m} \frac{1}{T-k} \hat{\rho}_k^2$. Bajo la hipótesis nula de ausencia de autocorrelación la distribución asintótica del estadístico es una χ^2_m . La constante estimada (desviación típica) es igual a: ,298 (,010)

TABLA 5. 5. ESTIMACIÓN ECUACIÓN 3. CAMBIOS EN LA BASE.

$VolF_{t-1}$	-,157 (,004)*	$VolS_{t-1}$,007 (,004)	$\nabla Base_{t-1}$	-,503 (,004)	$Vrdum_{1,t}$,089 (,004)	Est. F por grupo de reg. *
$VolF_{t-2}$	-,002 (,004)	$VolS_{t-2}$,002 (,004)	$\nabla Base_{t-2}$	-,303 (,005)	$Vrdum_{2,t}$,003 (,011)	$VolF$ 12.709,1 (0,00)
$VolF_{t-3}$	-,009 (,004)	$VolS_{t-3}$,015 (,004)	$\nabla Base_{t-3}$	-,251 (,005)	$Vrdum_{3,t}$	-,011 (,011)	$VolS$ 1.523,6 (0,00)
$VolF_{t-4}$	-,006 (,004)	$VolS_{t-4}$	-,006 (,004)	$\nabla Base_{t-4}$	-,195 (,005)	$Vrdum_{4,t}$,011 (,011)	$\nabla Base$ 36,8 (0,00)
$VolF_{t-5}$,000 (,004)	$VolS_{t-5}$,001 (,004)	$\nabla Base_{t-5}$	-,166 (,005)	$VRdum_{5,t}$,032 (,012)	$R^2 = 0,251$
$VolF_{t-6}$	-,007 (,004)	$VolS_{t-6}$,007 (,004)	$\nabla Base_{t-6}$	-,140 (,005)	$VRdum_{6,t}$,006 (,013)	Nº de obs. = 51.183
$VolF_{t-7}$	-,002 (,004)	$VolS_{t-7}$,005 (,004)	$\nabla Base_{t-7}$	-,112 (,005)	$VRdum_{7,t}$,004 (,013)	Est. Ljung-Box Residuos ^(*) .
$VolF_{t-8}$,003 (,004)	$VolS_{t-8}$,002 (,004)	$\nabla Base_{t-8}$	-,101 (,005)	$VRdum_{8,t}$,032 (,013)	(10 retardos) 5,84 (0,82)
$VolF_{t-9}$	-,013 (,004)	$VolS_{t-9}$,009 (,004)	$\nabla Base_{t-9}$	-,081 (,005)	$VRdum_{9,t}$,021 (,012)	(15 retardos) 15,25 (0,43)
$VolF_{t-10}$,005 (,004)	$VolS_{t-10}$,002 (,004)	$\nabla Base_{t-10}$	-,060 (,005)	$VRdum_{10,t}$,026 (,012)	
$VolF_{t-11}$,007 (,004)	$VolS_{t-11}$	-,001 (,004)	$\nabla Base_{t-11}$	-,046 (,005)	$VRdum_{11,t}$,061 (,012)	
$VolF_{t-12}$	-,008 (,004)	$VolS_{t-12}$,001 (,004)	$\nabla Base_{t-12}$	-,028 (,004)	$VRdum_{12,t}$,094 (,013)	

* Entre paréntesis figuran las desviaciones típicas. *La hipótesis nula contrastada es si todos los coeficientes son iguales a cero. Entre paréntesis figura el nivel de significación crítico del contraste razón de verosimilitudes. Bajo H_0 el estadístico sigue una χ^2_1 .^(*) Estadísticos Ljung - Box. Para m retardos el estadístico es: $Q(m) = T(T+2) \sum_{k \leq m} \frac{1}{T-k} \hat{\rho}_k^2$. Bajo la hipótesis nula de ausencia de autocorrelación la distribución asintótica del estadístico es una χ^2_m . La constante estimada (desviación típica) es igual a: ,063 (,009)

VOLATILIDAD MERCADO DE FUTUROS
Muestra: 20/12/93 - 20/12/96



VOLATILIDAD MERCADO DE CONTADO
Muestra: 20/12/93 - 20/12/96

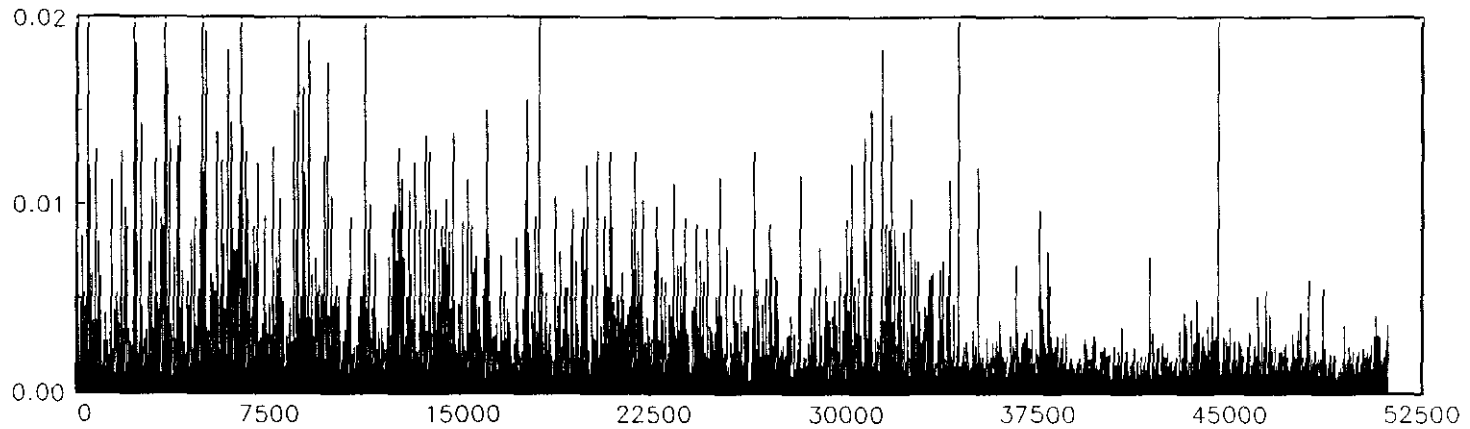
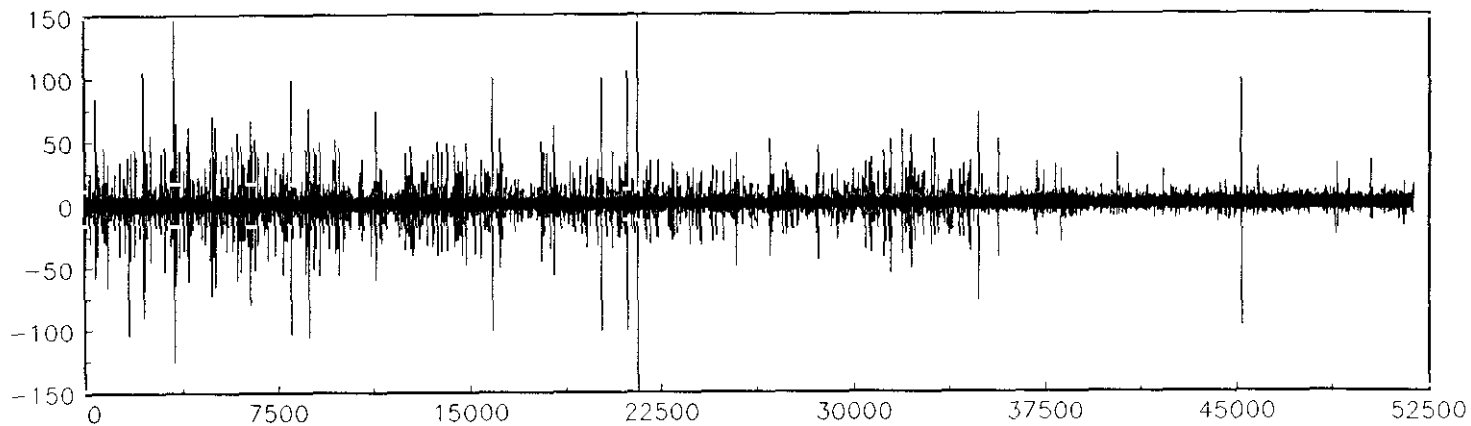


Ilustración 5.1.

CAMBIOS BASE TEORICA
Muestra: 20/12/93 - 20/12/96



VOLUMEN NEGOCIADO (FUTURO/CONTADO)
Muestra: 20/12/93 - 20/12/96

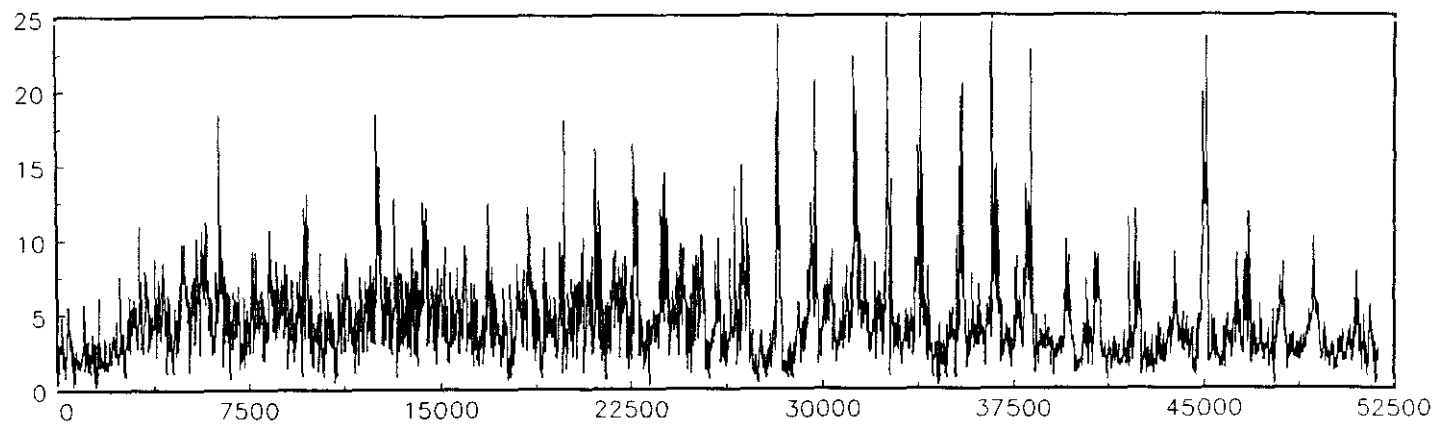
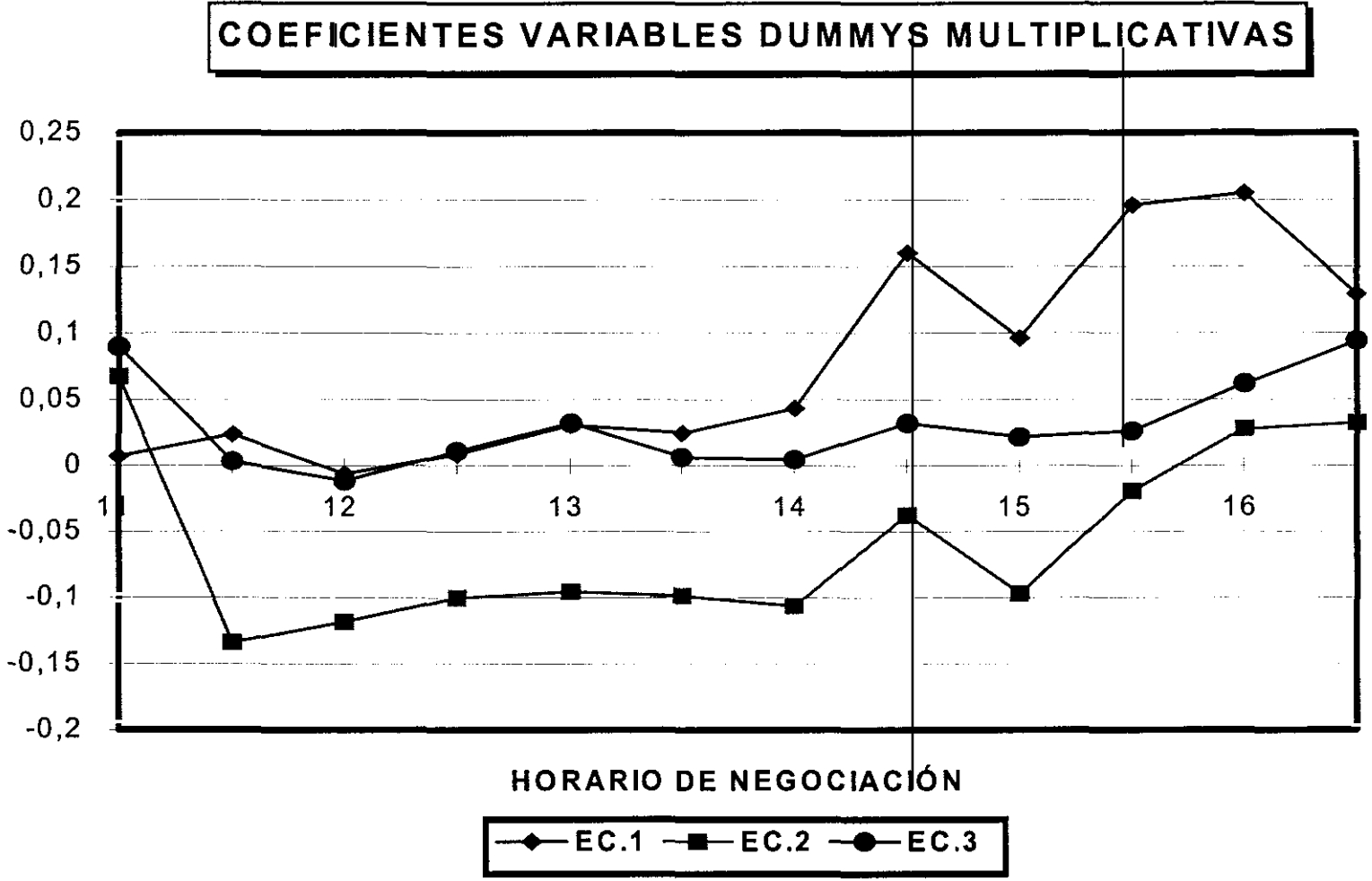


Ilustración 5.2.



Capítulo 5: Apéndice 3. Una nota sobre el concepto de eficiencia en los mercados de futuros sobre índice.

□ INTRODUCCIÓN.

El concepto de eficiencia en los mercados financieros hace referencia al hecho de que los precios de los diferentes activos financieros evolucionan aleatoriamente a lo largo del tiempo. Sobre la base de esta idea, los diferentes conceptos de eficiencia planteados en la literatura sobre mercados de futuros, en general giran en torno a dos cuestiones teóricas:

- a) La evolución pasada del mercado se refleja totalmente en la cotización presente del activo.
- b) El mercado responde inmediatamente a la nueva información disponible.

Asimismo, se ha planteado en ocasiones la eficiencia del mercado con relación a la capacidad operativa de los arbitrajistas. En este sentido, el concepto de eficiencia ha sido identificado con la ausencia de oportunidades sistemáticas de arbitraje a lo largo de un periodo de tiempo relativamente amplio.

No obstante, el objetivo de este apéndice es volver a revisar el concepto de eficiencia que subyace a las dos cuestiones anteriormente planteadas. La hipótesis de eficiencia simple o teoría de las expectativas establece que el precio cotizado del futuro en el momento del tiempo t con vencimiento T es un estimador insesgado del precio del activo subyacente a vencimiento, es decir:

$$E_t[\ln S_T] = \ln F_{t,T}$$

donde S_T es la cotización del activo subyacente en la fecha de vencimiento (T), y $F_{t,T}$ es el precio, en el periodo t , de un contrato de futuros con vencimiento en el periodo T . La evidencia empírica acerca de la existencia de tendencias estocásticas en las series temporales de los precios de los activos que son negociados en los principales mercados de valores, así como en las respectivas cotizaciones de los contratos de futuros, es un elemento crucial al intentar contrastar las diferentes hipótesis planteadas por la Teoría Económica en relación a los mercados de futuros financieros, y en concreto la hipótesis de eficiencia simple. Asimismo, la presencia de tendencias estocásticas comunes entre las cotizaciones *spot* y a futuro es otra cuestión relevante, puesto que tal y como sugieren Engle y Granger (1987), la metodología a utilizar requiere la

incorporación de la dinámica a corto plazo cuando se pretende analizar la evolución a largo plazo.

Con objeto de contrastar la hipótesis de eficiencia de la estructura intertemporal de tipos de interés se ha propuesto en la literatura la estimación del siguiente modelo:

$$\ln S_{t+k} = \alpha + \beta \ln F_{t,t+k} + \varepsilon_t, \quad (1)$$

donde $f_{t,t+k}$ es el tipo *forward* a plazo k y S_{t+k} es el tipo *spot* en el periodo $t+k$, para proceder al contraste de la hipótesis $(\alpha, \beta) = (0,1)$ junto con la ausencia de autocorrelación en los residuos. Asimismo, se ha propuesto en la literatura la estimación del anterior modelo una vez diferenciado, así como el que resulta de restar en ambos miembros de la ecuación anterior $\ln S_t$, es decir:

$$\nabla \ln S_{t+k} = \alpha + \beta \nabla \ln F_{t,t+k} + \varepsilon_t \quad (2)$$

$$(1 - B^k) \ln S_t = \alpha + \beta (\ln F_{t,t+k} - \ln S_t) + \varepsilon_t, \quad (3)$$

donde B es el operador de retardos, procediendo igualmente en ambos casos con el contraste de la hipótesis anteriormente planteada.

Si bien este modelo puede ser aplicado a los mercados de tipo de interés, pues existen diferentes plazos para los tipos *forward*, un día, una semana, etc. (vease, por ejemplo, Freixas y Novales (1992)), en el caso de los contratos de futuros el vencimiento es periódico y siempre tiene lugar en la misma fecha; por ejemplo en el caso del Mercado Español de Futuros sobre el Ibex 35, el vencimiento tiene lugar el tercer viernes de cada mes, lo que, al utilizar los modelos econométricos anteriormente planteados, la relativa falta de liquidez para los contratos de futuros cuyo vencimiento no es el inmediatamente más próximo limitaría considerablemente el tamaño muestral susceptible de ser utilizado (vease, por ejemplo, los trabajos de Elam y Dixon (1988) y Lai y Lai (1991)). En el caso del mercado español, el tamaño muestral para el precio del activo subyacente quedaría restringido a doce observaciones por año. Por otro lado, una cuestión adicional sería el determinar la distancia temporal existente entre el momento del tiempo considerado para la observación del futuro y la fecha de vencimiento del contrato de futuros.

El objetivo de esta nota teórica, es proponer una metodología que pueda ser aplicada a datos de alta frecuencia, de forma que pueda ser aplicada, en general, a los mercados de futuros sobre índice bursátil; en particular, se propone la utilización de un modelo que intenta contrastar la teoría de las expectativas, superando las restricciones existentes a priori sobre el tamaño muestral, derivadas como acabamos de comentar, tanto de la periodicidad en el vencimiento de los contratos de futuros como de la existencia de un fuerte diferencial en el nivel de liquidez entre el contrato de próximo vencimiento y el resto de contratos abiertos a negociación.

□ MARCO TEÓRICO.

Antes de proceder a explicitar los modelos teóricos propuestos para el comportamiento de los precios en el mercado de futuros y en el mercado de contado, es interesante detenerse en algunos elementos conceptuales que, como posteriormente veremos, aparecen incorporados en el modelo finalmente utilizado. En particular, vamos a definir los conceptos de proceso de Wiener y proceso de Íto.

Decimos que una variable z_t evoluciona según un proceso de Wiener si su ley de movimiento responde a la siguiente ecuación diferencial estocástica:

$$dz_t = \varepsilon_t \sqrt{dt} \quad \varepsilon_t \sim i.i.d. N(0,1).$$

La esperanza y varianza incondicional de los cambios *instantáneos* experimentados por la variable z_t en un intervalo de tiempo infinitesimal son:

a) $E(dz_t) = E[\varepsilon_t \sqrt{dz_t}] = \sqrt{dz_t} E\varepsilon_t = 0.$

b) $Var(dz_t) = E[dz_t - Edz_t]^2 = E(dz_t)^2 = dt E\varepsilon_t^2 = dt.$

En definitiva, un proceso de Wiener no es sino un paseo aleatorio en tiempo continuo. Una extensión del proceso de Wiener es lo que se conoce como proceso de Wiener generalizado, consistente en introducir una media en el proceso anteriormente descrito. Por tanto, un proceso de Wiener generalizado es un paseo aleatorio con deriva, es decir, una variable w_t sigue un proceso de Wiener generalizado en tiempo continuo si su ley de movimiento puede describirse a partir de la siguiente ecuación diferencial estocástica:

$$dw_t = a dt + b dz_t, \quad a, b \in \mathfrak{R},$$

donde, z_t sigue un proceso de Wiener. En este modelo, es inmediato que la esperanza y varianza incondicional de dz_t son iguales a:

- a) $E(dw_t) = a dt$
- b) $Var(dw_t) = b^2 dt$.

Una extensión adicional puede introducirse sobre el proceso de Wiener generalizado, permitiendo que los parámetros a y b sean, en general, variables en el tiempo. En particular, un proceso de Íto es un proceso de Wiener generalizado en donde los parámetros a y b dependen del tiempo y del nivel de la variable, es decir:

$$dw_t = a(w_t, t) dt + b(w_t, t) dz_t.$$

▪ **El Modelo Teórico.**

Supongamos que la evolución del *precio* del activo subyacente, que denominaremos S_t puede representarse mediante un movimiento geométrico *Browniano*, que en su versión en tiempo continuo adopta la siguiente forma:

$$dS_t = \mu S_t dt + \sigma S_t dz_t, \tag{4}$$

donde la variable z_t evoluciona en base a un proceso de *Wiener*. Por tanto, un movimiento Browniano geométrico es un caso particular del proceso de Íto. Aplicando el Lema de Itô¹ para la función $G(S_t) = \ln S_t^2$, tenemos que:

¹ Consideremos que una variable X_t evoluciona según un proceso de Íto. Dada una función $G(S_t, t)$, la diferencial total de $G(\bullet)$ viene dada por la siguiente expresión:

$$dG(X_t, t) = \left[\frac{\partial G}{\partial X_t} a(X_t, t) X_t + \frac{\partial G}{\partial t} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 G}{\partial X_t^2} b^2(X_t, t) X_t^2 \right] dt + \frac{\partial G}{\partial X_t} b(X_t, t) X_t dz_t$$

² Téngase en cuenta que en este caso:

(... Continúa)

$$d \ln S_t = \left(\mu - \frac{\sigma^2}{2} \right) dt + \sigma dz_t. \quad (5)$$

Resolviendo la ecuación diferencial dada por (5), obtenemos la ley de movimiento para el rendimiento experimentado entre dos instantes de tiempo.

$$\ln \frac{S_{t+k}}{S_t} = \left(\mu - \frac{1}{2} \sigma^2 \right) k + \sigma (Z_{t+k} - Z_t) \quad (6)$$

La ecuación (6) pone de manifiesto que el rendimiento bruto experimentado por el índice entre t y $t+k$ es aleatorio con media $\left(\mu - \frac{\sigma^2}{2} \right) k$ y varianza $\sigma^2 k$. Para observar esta característica, llamemos $\xi = \sigma (z_{t+k} - z_t)$.

Teniendo en cuenta que $z_{t+k} = z_{t+k-1} + \varepsilon_{t+k}$, sustituyendo recursivamente se llega a la siguiente expresión:

$$z_{t+k} = z_t + \sum_{j=0}^{k-1} \varepsilon_{t+k-j}.$$

En consecuencia:

$$a) \quad E(\xi) = \sigma E(z_{t+k} - z_t) = \sigma E\left(\sum_{j=0}^{k-1} \varepsilon_{t+k-j} \right) = \sigma \sum_{j=0}^{k-1} E(\varepsilon_{t+k-j}) = \sigma \sum_{j=0}^{k-1} [0] = \sigma [0] = 0.$$

$$b) \quad \text{Var}(\xi) = \sigma^2 E(z_{t+k} - z_t)^2 = \sigma^2 E\left\{ \sum_{j=0}^{k-1} \varepsilon_{t+k-j}^2 + 2 \sum_{j < s} \varepsilon_{t+k-j} \varepsilon_{t+k-s} \right\} = \sigma^2 \sum_{j=0}^{k-1} E(\varepsilon_{t+k-j}^2) = \sigma^2 k,$$

$$\text{puesto que } E(\varepsilon_{t+k-j} \varepsilon_{t+k-s}) = \text{Cov}(\varepsilon_{t+k-j}; \varepsilon_{t+k-s}) = 0 \quad \forall j \neq s$$

Desde el punto de vista económico, el modelo de comportamiento para el contado, en nuestro caso el Ibox 35, supone una evolución no estacionaria del valor del índice

$$\frac{\partial G}{\partial S_t} = \frac{1}{S_t}; \quad \frac{\partial^2 G}{\partial S_t^2} = \frac{-1}{S_t^2}; \quad \frac{\partial G}{\partial t} = 0;$$

de forma que el rendimiento experimentado desde un momento del tiempo concreto hasta el vencimiento del contrato de futuros, es aleatorio y presenta una menor dispersión cuanto más cercano sea el momento del tiempo considerado a la fecha de vencimiento del contrato de futuros. Este supuesto es coherente si tenemos en cuenta que la evolución de la base teórica, esto es, el diferencial entre el precio teórico del contrato de futuro, según el modelo de valoración *Cost of Carry*, y el valor del índice, debe converger a cero a medida que nos acercamos a la fecha de vencimiento del contrato en la que, teóricamente, debe verificarse que $F_{T,T} = S_T$. De hecho, a partir de (6) puede observarse como el rendimiento bruto esperado del índice es igual a cero en la fecha de vencimiento.

Al igual que una característica empírica observada en el Ibex 35 es una evolución no estacionaria de la serie en niveles, es asimismo otro hecho empírico contrastado que la serie de rendimientos (primera diferencia logarítmica) es estacionaria en media, cuando tratamos con datos de muy alta frecuencia. En este sentido, el modelo propuesto se ajusta a las características empíricas observadas. Particularizando (6) para $k=1$:

$$\nabla \ln S_t = \left[\left(\mu - \frac{1}{2} \sigma^2 \right) \right] + \sigma \nabla z_t, \quad (7)$$

ecuación que pone de manifiesto que el rendimiento *instantáneo* del índice evoluciona de forma estacionaria.

Consideremos ahora la valoración teórica de un contrato de futuros, a partir del modelo de valoración *Cost of Carry*. A partir de la versión del modelo en tiempo continuo, el precio teórico en t para un contrato de futuros con vencimiento en T ($F_{t,T}^*$) viene dado por:

$$F_{t,T}^* = S_t e^{r_{t,T}} - \sum_{i=1}^{35} E_t \int_t^T (d_{i,s} e^{r_{s,T}}) ds, \quad (8)$$

donde $d_{i,s}$ es el dividendo bruto pagado por el activo i -ésimo en el periodo s , en puntos del índice, $r_{s,t}$ es la rentabilidad bruta del activo libre de riesgo a plazo $t-s$ y E_t es la esperanza condicional al conjunto de información disponible en t .

Suponiendo que las expectativas son racionales tenemos que:

$$F_{i,T}^* = S_t e^{r_{i,T}} - \sum_{i=1}^{35} \left\{ \left[\int_t^T (d_{i,s} e^{r_{i,T}}) ds \right] + a_{i,T} \right\} \quad (9)$$

donde $a_{i,T}$, el error de previsión relacionado con la previsión del flujo de dividendos a pagar por cada uno de los activos que intervienen en la composición del índice, es una variable aleatoria incorrelacionada con toda variable incluida en el conjunto de información en disponible en t .

Podemos reescribir la ecuación (9) de la siguiente forma:

$$F_{i,T}^* = S_t e^{(r_{i,T} - \hat{d}_{i,T})} , \quad (10)$$

donde $\hat{d}_{i,T}$ es la estimación del exceso de rentabilidad bruta obtenida por una cartera réplica del Ibex 35³ desde la fecha de valoración hasta la fecha de vencimiento del contrato de futuros⁴. Tomando logaritmos neperianos en (10) tenemos que:

$$\ln F_{i,T}^* = \ln S_t + (r_{i,T} - \hat{d}_{i,T}) . \quad (11)$$

- **Proposición:** Si los agentes del mercado valoran en base al modelo *Cost of Carry* y el diferencial entre $r_{i,T}$ y $d_{i,T}$ (verdadera tasa de acumulación de dividendos) evoluciona según

³ Tengamos en cuenta que un inversor que tenga una cartera réplica del Ibex 35, es decir con las mismas acciones y en la misma proporción obtendrá una rentabilidad superior a la del Ibex 35, puesto que el índice no se corrige cuando alguno de los activos que intervienen en su composición reparte dividendos. Fernández e Yzaguirre (1996), estiman que el efecto de los dividendos implica un incremento de rentabilidad entre un 3 y un 4%.

⁴ Matemáticamente, estamos afirmando que el precio teórico del contrato se puede expresar de la siguiente forma:

$F_{i,T}^* = S_t e^{r_{i,T}} - K$, donde $K = S_t e^{r_{i,T}} (e^{-\hat{d}_{i,T}} - 1)$. Si la rentabilidad obtenida con los dividendos, medida en relación al valor de mercado de la cartera réplica del activo subyacente, es positiva a lo largo del periodo de vida restante hasta el vencimiento del contrato de futuros, se puede observar que el coste de oportunidad de mantener la cesta es inferior a la rentabilidad del activo libre de riesgo, puesto que $e^{-\hat{d}_{i,T}} > 0 \quad \forall \hat{d}_{i,T} > 0$. Si ninguno de los activos que intervienen en la composición del activo subyacente, paga dividendos en el periodo comprendido entre la fecha de valoración del contrato de futuros y el vencimiento del mismo, entonces $\hat{d}_{i,T} = 0$, por lo que $K = 0$.

un proceso estocástico estacionario desde la fecha de valoración del contrato de futuros hasta la fecha de vencimiento del mismo, entonces los logaritmos de los precios de ambos mercados están cointegrados con vector de cointegración (1,-1).

⇒ Prueba: Sea $X'_t \equiv (\ln F_{t,T}^*, \ln S_t)$ y $\beta' = (1,-1)$. A partir de (11) se tiene que $\beta' X_t$ sigue un proceso estacionario lo cual pone de manifiesto que los elementos del vector X_t están cointegrados con vector de cointegración β .

Como veremos más adelante la existencia de una relación de cointegración entre los rendimientos de ambos mercados es una característica relevante a la hora de aplicar modelos econométricos con objeto de contrastar la hipótesis de eficiencia en los mercados de derivados.

Tomando ahora primeras diferencias en la ecuación (11), podemos obtener la relación contemporánea que garantiza la inexistencia de arbitraje entre las rentabilidades del mercado de futuros y el mercado de contado:

$$\ln\left(\frac{F_{t,T}^*}{F_{t-1,T}^*}\right) = \ln\left(\frac{S_t}{S_{t-1}}\right) + \nabla(r_{t,T} - \hat{d}_{t,T}), \quad (12)$$

es decir, el rendimiento teórico del contrato de futuros es igual al rendimiento experimentado por el activo subyacente más la rentabilidad bruta exdividendo generada por la cartera réplica del índice desde $t-1$ hasta t . La ecuación (12) pone asimismo de manifiesto dos hechos relevantes: a) los rendimientos *instantáneos* de ambos mercados están correlacionados de forma positiva, y b) la desviación típica de los rendimientos *instantáneos* de ambos mercados son iguales.

Si el diferencial entre el tipo de interés del activo libre de riesgo y la rentabilidad obtenida con los dividendos es constante a corto plazo, en donde identificamos el corto plazo con periodos de tiempo inferiores o iguales a 30 días, podemos expresar la Ecuación (10) de la siguiente forma:

$$F_{t,T}^* = S_t e^{(r-\hat{d})(T-t)} \quad (13)$$

El modelo supuesto para el mercado de contado, junto con el mantenimiento de la ecuación de ausencia de arbitraje anteriormente expresada, conlleva un modelo de

comportamiento determinado para el mercado de futuros. Aplicando de nuevo el Lema de Itô⁵ se tiene que:

$$dF_{t,T}^* = \left[e^{(r-\hat{d})(T-t)} \mu S_t - (r - \hat{d}) S_t e^{(r-\hat{d})(T-t)} \right] dt + e^{(r-\hat{d})(T-t)} \sigma S_t dz_t, \quad (14)$$

por lo que teniendo en cuenta (13), podemos reescribir la ecuación diferencial (14) como sigue:

$$dF_{t,T}^* = \left[\mu - (r - \hat{d}) \right] F_{t,T}^* dt + F_{t,T}^* \sigma dz_t, \quad (15)$$

ecuación que pone de manifiesto que el precio teórico del contrato evoluciona según un movimiento Browniano geométrico. En este caso, el rendimiento a muy corto plazo del contrato de futuros es igual al exceso de rentabilidad del activo subyacente sobre el coste implícito de mantener la cartera réplica del índice bursátil (*cost of carry*). Llegado este punto, debemos ahora encontrar una relación entre el precio del contrato de futuros en la fecha de valoración y el valor del índice al contado en la fecha de vencimiento. Resolviendo la ecuación diferencial dada por (15) entre el momento de valoración y la fecha de vencimiento del instrumento derivado, se tiene:

$$\ln \frac{F_{T,T}^*}{F_{t,T}^*} = \left[\mu - (r - \hat{d}) \right] (T - t) + \sigma (z_T - z_t), \quad (16)$$

es decir, el rendimiento experimentado por el contrato de futuros entre el momento de valoración y la fecha de vencimiento del mismo es aleatorio y se distribuye de forma Normal, con media $\left[\mu - (r - \hat{d}) \right] (T - t)$ y varianza $\sigma^2 (T - t)$.

Para obtener una relación entre el valor del índice a vencimiento y el precio teórico del contrato de futuro, a partir de la Ecuación (6), particularizando para $k = T - t$:

⁵ Téngase en cuenta que en este caso tenemos que $G(S_t) = S_t e^{(r-\hat{d})(T-t)}$, por lo que:

$$\frac{\partial G}{\partial S_t} = e^{(r-\hat{d})(T-t)} \quad \frac{\partial G}{\partial t} = -(r - \hat{d}) e^{(r-\hat{d})(T-t)} \quad \frac{\partial^2 G}{\partial S_t^2} = 0$$

$$\ln\left(\frac{S_T}{S_t}\right) = \left(\mu - \frac{\sigma^2}{2}\right)(T-t) + \sigma(z_T - z_t). \quad (17)$$

Incorporando (16) en (17) se tiene que:

$$\ln S_T = \left[(r - \hat{d}) - \frac{\sigma^2}{2} \right] (T-t) + \ln F_{t,T}^* + \ln S_t. \quad (18)$$

La operativa en el mercado real lleva asociada tanto la incertidumbre acerca de la evolución futura del tipo de interés libre de riesgo como el asumir los correspondientes costes de transacción, lo que tiene como consecuencia la existencia de desviaciones empíricas entre el precio teórico del contrato de futuros y el precio realmente cruzado en las operaciones diarias. Siendo conscientes de la existencia de este diferencial (*mispricing*), la ecuación (18) sugiere la utilización del siguiente modelo econométrico para calibrar la capacidad predictiva del mercado de futuros sobre el mercado de contado:

$$\ln S_T = \alpha (T-t) + \beta \ln \tilde{F}_{t,T} + \gamma \ln S_t + \varepsilon_t, \quad (20)$$

donde $\tilde{F}_{t,T}$ es el precio cruzado en el mercado para el contrato de futuros.

En este sentido la comparación de (20) con la ecuación (1) señala la posibilidad de que la utilización de un modelo econométrico similar a (1) es inadecuada por varios motivos:

- a) El contraste de $\alpha = 0$ es básicamente un contraste de $r = \hat{d} + \frac{\sigma^2}{2}$ hipótesis para la cual no existe a priori ninguna justificación económica.
- b) La ecuación (1) omite como factor explicativo relevante al mercado de contado en la fecha de valoración del contrato de futuros, lo que no debe ser impuesto a priori.

De esta forma, las diferencias entre las ecuaciones (1) y (20) sugieren alguna de las razones por las que se ha encontrado abundante evidencia empírica en la literatura, en la que una vez estimada la Ecuación (1), se tiende a aceptar la hipótesis de $\beta = 1$, pero sistemáticamente se rechaza la hipótesis de $(\alpha, \beta) = (0, 1)$. Por otro lado, tal y como se ha

comentado anteriormente, esta metodología no permite determinar la distancia temporal que debe considerarse entre la fecha de valoración y el vencimiento del contrato de futuros. Incluso una vez seleccionada dicha distancia temporal, teniendo en cuenta el bajo grado de liquidez de los contratos cuyo vencimiento no es el inmediatamente más próximo, en el caso del mercado español esta metodología limitaría en la práctica el tamaño muestral a doce observaciones por año, lo cual es una restricción considerable.

Es posible asimismo trabajar con las series de rendimientos. En este caso, si los precios de ambos mercados están cointegrados, característica que ha sido explorada en el Capítulo 3 de esta Tesis Doctoral, en el que se obtiene evidencia empírica a favor de la existencia de una relación de equilibrio a largo plazo entre los precios de contado y futuro, los desequilibrios en el corto plazo deben jugar un papel relevante al especificar la dinámica a largo plazo, tanto del mercado de futuros como del mercado de contado. Esta es la idea que subyace a la metodología econométrica de modelos de corrección de error, que han sido utilizados en el capítulo anteriormente mencionado. En este sentido, la ecuación (20) puede reescribirse de la siguiente forma:

$$\ln \frac{S_T}{S_t} = \left[(r - \hat{d}) - \frac{\sigma^2}{2} \right] (T - t) + \nabla \ln \tilde{F}_{t,T} + (\ln \tilde{F}_{t-1,T} - \ln S_{t-1}) + \ln S_{t-1} \quad (21)$$

La ecuación anterior plantea la posibilidad de especificar el siguiente modelo econométrico con el objetivo de obtener evidencia empírica sobre la teoría de las expectativas:

$$\ln \frac{S_T}{S_t} = \alpha (T - t) + \beta \nabla \ln \tilde{F}_{t,T} + \gamma (\ln \tilde{F}_{t-1,T} - \ln S_{t-1}) + \delta \ln S_{t-1} + \varepsilon_t. \quad (22)$$

ecuación que puede reescribirse de la siguiente forma:

$$\ln \frac{S_T}{S_t} = \alpha (T - t) + \beta \nabla \ln \tilde{F}_{t,T} + \gamma \left[\ln \tilde{F}_{t-1,T} - \left(1 - \frac{\delta}{\gamma} \right) \ln S_{t-1} \right] + \varepsilon_t \quad (23)$$

El modelo (23) sugiere entonces la siguiente metodología a la hora de proceder a contrastar empíricamente la capacidad explicativa del mercado de contado sobre el mercado de futuros, cuando los precios de ambos mercados están cointegrados. En una primera etapa se procede a la estimación de la ecuación de cointegración, es decir:

$$\ln \tilde{F}_{t,T} = \phi_0 + \phi_1 \ln S_t + u_t, \quad (24)$$

en donde se está imponiendo una relación de causalidad unidireccional desde el mercado de futuros hacia el mercado de contado, la cual es coherente con la evidencia empírica detectada en el Capítulo 3 de esta Tesis Doctoral.

Y en una segunda etapa, se procede a la estimación del siguiente modelo:

$$\ln \frac{S_T}{S_t} = c_0 + c_1 (T - \tau) + c_2 \nabla \ln \tilde{F}_{t,T} + c_3 \hat{u}_{t-1} + \xi_t, \quad (25)$$

donde \hat{u}_t son los residuos de la ecuación de cointegración, en donde la inclusión del parámetro c_0 es consecuencia de la presencia de un término constante en la ecuación de cointegración. La evidencia empírica obtenida en esta Tesis Doctoral pone de manifiesto que $\hat{u}_t \approx \ln \frac{F_{t,T}}{S_t}$, es decir la existencia de una relación de equilibrio a largo plazo con vector de cointegración (1, -1), lo que conlleva la estimación de la ecuación (25) sin la inclusión de un término constante. Bajo estas características, la hipótesis a contrastar es la siguiente hipótesis conjunta: $H_0: c_2 = c_3 = 1$, junto con $c_1 = 0$. Bajo la hipótesis nula se tiene que $E_t \ln S_T = \ln F_{t,T}$, es decir el precio del futuro es un predictor insesgado del precio del activo subyacente a vencimiento.

Si los precios de ambos mercados están ligados por una relación de equilibrio a largo plazo y la ecuación de cointegración estimada en una primera etapa es la ecuación (24), es de esperar que la estimación del coeficiente c_3 en la ecuación (25) presente signo negativo así como que el coeficiente sea significativo. En este caso, el precio del mercado de futuros será un estimador insesgado del valor del índice en la fecha de vencimiento, con independencia de cual sea la distancia temporal escogida entre la fecha de vencimiento y el inicio del periodo muestral utilizado.

□ CONCLUSIONES.

En esta nota se propone una metodología concreta a la hora de contrastar la teoría de las expectativas en los mercados de futuros financiero en donde el activo subyacente es un índice bursátil. Los contratos que son negociados en estos mercados de derivados poseen una

periodicidad y un nivel de liquidez cualitativamente distinto de los correspondientes a los mercados de tipos de interés.

En el caso de que exista una relación de equilibrio a largo plazo entre el precio del contrato de futuros y el valor del activo subyacente, como es el caso de la mayoría de los mercados de futuros sobre índice, el término de corrección de error debe jugar un papel relevante al ajustar los desequilibrios que se producen en el corto plazo, característica que debe ser incorporada cuando se pretende contrastar la hipótesis de eficiencia en base a la capacidad predictiva de los precios del mercado futuros sobre el valor del activo subyacente en la fecha de vencimiento del instrumento derivado.

Si bien la metodología propuesta sigue sin proporcionar una respuesta acerca de la distancia temporal a vencimiento a considerar, permite la utilización de datos de alta frecuencia, lo que evita el problema de tener que restringirse a doce observaciones por año si se intenta utilizar los modelos tradicionales para el mercado español.

El modelo teórico considerado predice que si la dinámica de los precios del contrato de futuros y el valor del activo subyacente se caracteriza por incorporar una relación de equilibrio a largo a plazo la teoría de las expectativas no puede ser aceptada, es decir, el precio del contrato de futuros será un estimador sesgado del precio del activo subyacente en el vencimiento. El tamaño del sesgo dependerá de la magnitud y el signo de las desviaciones respecto del equilibrio a largo plazo.

CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES.

El sistema financiero español ha incorporado recientemente nuevas capacidades operativas para la gestión dinámica de carteras de renta variable. Desde el 14 de Enero de 1992 existe la posibilidad de negociar contratos de futuros utilizando el índice bursátil Ibex 35 como activo subyacente. La literatura sobre mercados de futuros financieros ha abordado numerosas cuestiones para los principales mercados internacionales de derivados en donde el activo subyacente es un índice bursátil. Desde su reciente creación, estas cuestiones han adquirido gran interés para ser estudiadas en el mercado español.

De los trabajos existentes en la literatura, la mayor parte de ellos se han centrado en analizar cómo se transmite la información entre el mercado de derivados y el mercado de contado, evaluando las pautas cualitativas y cuantitativas de la interacción entre ambos mercados a partir de la dinámica temporal de las rentabilidades y las volatilidades de cada mercado. Asimismo otros estudios se han dedicado a calibrar el efecto de la introducción del mercado de derivados sobre el mercado de contado, fundamentalmente en términos de transmisión de volatilidad, así como en analizar si el mercado en su conjunto es eficiente corroborando que no hayan existido oportunidades sistemáticas de arbitraje a lo largo del periodo muestral considerado.

Esta Tesis Doctoral ha seguido la línea de analizar, para el mercado español de futuros sobre el Ibex 35, algunas de las cuestiones que han sido objeto de mayor atención en los estudios existentes en la literatura para los mercados internacionales. Las cuestiones principales que han sido estudiadas en esta Tesis Doctoral son las siguientes:

- a) características de la relación de causalidad entre los rendimientos del mercado de futuros y del mercado de contado,
- b) comportamiento de la volatilidad, tanto dentro del día de negociación como a lo largo de la semana, en ambos mercados,
- c) características de la relación de causalidad entre la volatilidad del mercado de futuros y la volatilidad del mercado de contado,

- d) capacidad del mercado de futuros como instrumento de cobertura frente al riesgo para las carteras de renta variable,
- e) revisión del concepto de eficiencia en los mercados en los mercados de futuros sobre índice.

Las principales conclusiones obtenidas en esta Tesis Doctoral son las siguientes:

A. Las pautas detectadas empíricamente acerca de la relación de causalidad entre los rendimientos de ambos mercados dependen crucialmente de la frecuencia de observación muestral utilizada. Los resultados del Capítulo 3, que utiliza como metodología básica los Vectores Autorregresivos de Corrección de Error con datos de muy alta frecuencia (cada cinco minutos) revelan la existencia de una relación de causalidad bidireccional entre los rendimientos de ambos mercados. El Capítulo 4 retoma brevemente esta cuestión, esta vez con datos horarios de rendimientos y utilizando de nuevo un vector bivariante de corrección de error, que en este caso presenta perturbaciones heterocedásticas. La relación de causalidad observada es ahora unidireccional, desde el mercado de futuros hacia el mercado de contado. Los resultados son coherentes entre sí, corroborando que el adelanto predictivo del mercado de contado sobre el mercado de futuros es inferior a 60 minutos. Como se cita en el Capítulo 3, existen razones técnicas que explican este tipo de comportamiento, las cuales están relacionadas básicamente con el ahorro de costes de transacción y la mayor rapidez operativa inherente al mercado de derivados.

Los resultados del Capítulo 3 y el Capítulo 4 están en la línea de los obtenidos para la mayoría de los mercados internacionales, y revelan que el mercado de futuros es el mercado *líder* al operar. Cuanto menor es la frecuencia de observación muestral, menor es la información que estamos incorporando acerca de la interacción *intradía* ente ambos mercados, lo que tenderá a enmascarar el efecto de *adelanto* producido por la mayor liquidez del mercado de futuros.

Los resultados obtenidos para la muestra global (20 de Diciembre de 1993 hasta el 20 de Diciembre de 1996) son cualitativamente robustos si consideramos la partición del periodo muestral en tres submuestras: a) del 20 de Diciembre de 1993 hasta

el 16 de Diciembre de 1994, b) del 19 de Diciembre de 1994 hasta el 15 de Diciembre de 1995, y c) del 18 de Diciembre de 1995 hasta el 20 de Diciembre de 1996.

Asimismo, en el Capítulo 3 se intenta calibrar si la razón fundamental de la existencia de una mayor capacidad explicativa desde el mercado de futuros sobre el mercado de contado que la correspondiente al sentido contrario, es la existencia de diferentes frecuencias de negociación en los activos que entran a formar parte de la composición del Ibex 35, a partir del filtrado propuesto por Stoll y Whalley (1990). Los resultados obtenidos sugieren que, si bien el menor grado de liquidez del mercado de contado es uno de los factores que producen dicha relación asimétrica en la capacidad explicativa de un mercado sobre el otro, no es el único elemento significativo que origina esta pauta de comportamiento. Por tanto, los menores costes de transacción asociados al mercado de derivados, así como la mayor rapidez operativa que otorga éste (se está negociando en un solo contrato con una cesta representativa de la evolución de la Bolsa en su conjunto) son también elementos relevantes para explicar la mayor capacidad explicativa del mercado de futuros.

- B. El comportamiento de la volatilidad del mercado de contado y el mercado de futuros dentro del día de negociación es analizado a partir de dos metodologías alternativas que intentan expresar en términos cuantitativos el concepto de volatilidad: a) coeficientes de variación de los precios a largo de intervalos horarios y b) varianzas condicionales de los rendimientos horarios. El estudio de las series de volatilidad que se obtienen a partir de ambas alternativas metodológicas revela una misma pauta cualitativa: la existencia de una dinámica en forma de "U", es decir los periodos de *inicio* (11:00 horas - 12:00 horas) y de *cierre* de la sesión negociadora (16:00 horas - 17:00 horas) son los intervalos del día con mayor grado de volatilidad. De hecho una de las innovaciones que se presentan en esta Tesis Doctoral es la modelización estocástica de la estacionalidad *intradía* detectada en la dinámica de la volatilidad de ambos mercados, a diferencia de los tradicionales métodos de intervención utilizados en la literatura, a partir de un modelo bivariante de corrección de error con perturbaciones heterocedásticas.

El estudio del comportamiento a lo largo de la semana se efectúa utilizando como medida de volatilidad los coeficientes de variación diarios de los precios. Los resultados revelan la existencia de dos efectos día de la semana, que se corresponderían al lunes y al viernes, en los que la volatilidad es, respectivamente, inferior y superior a la experimentada en el resto de la semana. Asimismo, dado un día de la semana los

contrastes no paramétricos de bondad conducen sistemáticamente a la aceptación de la hipótesis nula de igualdad de distribuciones de frecuencias de volatilidad entre el mercado de futuros y el mercado de contado. Finalmente, cabe destacar que los resultados sugieren que la localización del vencimiento del contrato de futuros el tercer viernes de cada mes no puede como considerarse como un factor *desestabilizador* del mercado de contado en dicho día.

- C. La relación de causalidad entre las volatilidades revela una estructura unidireccional desde el mercado de contado hacia el mercado de futuros. El análisis se lleva a cabo a partir de tres medidas de volatilidad diferentes a lo largo de los Capítulos 4 y 5, las cuales son obtenidas a partir de datos con diferente frecuencia de observación. En el Capítulo 4, se utilizan las dos citadas anteriormente para el análisis del comportamiento dentro del día de negociación, si bien los coeficientes de variación son calculados en este caso a partir de todas las observaciones de precios, disponibles para cada día de negociación. En este sentido, otro de los aspectos novedosos que se presentan en esta Tesis Doctoral, con relación a la mayoría de los modelos *GARCH* bivariantes utilizados en la literatura, es que la estimación del modelo bivalente de corrección con perturbaciones heterocedásticas (para las series de rendimientos horarios), permite que exista interacción entre las varianzas condicionales de cada mercado. Por otro lado en el Capítulo 5 se considera la medida de volatilidad propuesta por Chan y Chung (1993), susceptible asimismo de ser utilizada con datos de muy alta frecuencia (cada cinco minutos): el valor absoluto de la tasa de variación de los precios.

Los resultados revelan, de nuevo, tanto la importancia de la frecuencia de observación muestral considerada como de la medida de volatilidad utilizada. A partir de las dos primeras medidas, con las que se generan volatilidades diarias y horarias, la relación de causalidad detectada empíricamente es unidireccional, desde el mercado de futuros hacia el mercado de contado. Sin embargo, el análisis con datos cada 5 minutos pone de manifiesto una relación bidireccional, con mayor capacidad explicativa desde el mercado de futuros hacia el mercado de contado, una pauta cualitativamente similar a la detectada para la dinámica de los rendimientos en el Capítulo 3 a partir de precios con idéntica frecuencia de observación muestral.

En conjunto con los resultados obtenidos para la dinámica de los rendimientos, los resultados sugieren que el mercado de futuros es el mercado que

incorpora con mayor rapidez la nueva información que llega al mercado. Por tanto, la existencia del mercado de derivados permite a los operadores una gran capacidad de reacción a partir del momento en que se dispone de nueva información relativa a la evolución de otros mercados financieros.

- D. La capacidad operativa del mercado de futuros como instrumento de cobertura frente al riesgo para las carteras de renta variable, depende crucialmente de la metodología utilizada para la estimación del ratio de cobertura. En el Capítulo 4 se analiza esta cuestión. En primer lugar, se revisa el modelo propuesto por Myers (1991) para la obtención del ratio de cobertura óptimo en un contexto de dos periodos. Como se muestra en este Capítulo, la utilización del ratio que subyace a dicho modelo es razonable cuando la estimación del mismo se realiza a partir de datos de alta frecuencia. Sin embargo, es muy discutible cuando se utilizan datos de periodicidad semanal, los empleados por dicho autor. El ratio de cobertura óptimo que subyace al modelo de dos periodos es utilizado de forma dinámica en un contexto multiperiodo.

La efectividad de los ratios estimados para cada día a partir del modelo con perturbaciones *GARCH* es comparada con relación a la que se obtiene con los estimados efectuando regresiones diarias sobre cambios en los precios.

La simulación de una determinada estrategia de cobertura, en particular consistente en efectuar revisiones diarias de la posición a las 11:00 horas, se evalúa tomando como marco de referencia la evolución real experimentada por el mercado a lo largo de los 36 contratos con mayor nivel de liquidez disponibles en la muestra. Los resultados revelan que el ratio estimado utilizando la metodología *GARCH* es el que consigue inmunizar más eficientemente la posición de contado frente a las fluctuaciones de precios experimentadas en el mercado.

- E. El concepto de eficiencia basado en la capacidad predictiva del mercado de derivados sobre el valor del activo subyacente en la fecha de vencimiento del contrato de futuros es revisado en el Capítulo 5. El modelo teórico considerado está fundamentado en tres supuestos básicos a) el precio del activo subyacente evoluciona según un movimiento geométrico *Browniano*, b) no existen posibilidades de arbitraje, y c) las expectativas de los agentes acerca del flujo futuro de dividendos correspondientes a los activos que entran en la composición del índice son racionales. El modelo predice que, si los precios del

mercado de futuros y el mercado de contado están ligados por una relación de equilibrio a largo plazo, el futuro será, en general, un predictor sesgado del valor del índice en la fecha de vencimiento del instrumento derivado. En este sentido, otra de las aportaciones de esta Tesis Doctoral es proponer una especificación econométrica con objeto de contrastar la teoría de las expectativas, la cual es susceptible de ser utilizada con datos de alta frecuencia, a pesar de que el vencimiento del contrato de futuros en el mercado español tiene lugar, sistemáticamente, el tercer viernes de cada mes.

Por último, como posibles vías de investigación futuras con relación al trabajo desarrollado en esta Tesis Doctoral destacamos las siguientes:

1. los estudios acerca de la relación de causalidad entre los rendimientos se han preocupado de la especificación del modelo econométrico a partir del cual inferir las características de tal relación: un vector autoregresivo de corrección de error; sin embargo los estudios existentes en la literatura han prestado una atención prácticamente nula para evaluar la capacidad predictiva de dicho modelo frente a otros posibles, como por ejemplo los modelos univariantes, o los modelos que no incorporan el factor de corrección de error (siendo conscientes de que está mal especificado). En este sentido, una extensión *interesante al estudio realizado en el Capítulo 3 sería el estudio comparativo de dicha capacidad predictiva*. Asimismo sería interesante un análisis detallado de los valores atípicos muestrales (localización dentro del día de negociación, coincidencias horarias entre los dos mercados, etc.) con objeto de evaluar la influencia de dichos valores sobre las pautas empíricamente detectadas.
2. Los resultados sugieren que la metodología más eficiente para la estimación del ratio de cobertura óptimo es la correspondiente a los modelos de heterocedasticidad condicional autorregresiva, por cuanto el modelo considerado es capaz de incorporar las pautas estacionales *intradía* que subyacen a la presencia de agrupamientos de volatilidad al inicio y al final de la sesión de negociación. No obstante, si bien el problema de estimación del ratio es una cuestión aparentemente resuelta, los operadores demandan respuestas acerca de cuales son los momentos del tiempo en los que sería eficiente revisar la posición de cobertura. Esta es una cuestión de enorme interés y susceptible de posteriores estudios en el ámbito académico. Consideramos que la solución requiere la identificación de un indicador adelantado que señale los cambios de tendencia, el cual podría ser el diferencial entre el precio teórico del contrato y el precio realmente cruzado en el mercado. Por otro

lado, una extensión interesante, que no conllevaría una dificultad econométrica elevada, sería analizar la relación entre el ratio de cobertura óptimo y el tiempo de vida restante para el contrato de futuros. De esta forma se podría analizar empíricamente la existencia, en el mercado español, del denominado efecto vencimiento, es decir, ¿converge el ratio de cobertura óptimo a la unidad a medida que nos acercamos a la fecha de vencimiento del contrato de futuros?.

3. Una tercera extensión natural del trabajo realizado en esta Tesis Doctoral es proceder a la contrastación de la teoría de las expectativas a través de la metodología propuestas en el Apéndice 3 del Capítulo 5. A priori cabría esperar que dicha teoría es incompatible con la dinámica de los precios inherente al funcionamiento del mercado español de futuros sobre el Ibex 35.

4. Asimismo, otra extensión adicional que consideramos interesante, consiste en llevar a cabo un análisis similar al realizado en la sección 4.4 de esta Tesis Doctoral, pero utilizando como medida de volatilidad la que subyace a la estimación del modelo bivalente de corrección de error con perturbaciones heterocedásticas. Una vez resuelto el problema de agregar la información para generar una medida de volatilidad diaria, a partir de los seis momentos condicionales estimados de las series de rendimientos para cada día de negociación, (como ya se comentó, una alternativa razonable teniendo en cuenta la presencia de estacionalidad *intradía*, sería calcular una combinación lineal convexa con las seis varianzas condicionales estimadas, otorgando una mayor ponderación al inicio y al final de la sesión negociadora), el estudio podría servir para calibrar, cualitativamente, la relación empírica observada entre riesgo (volatilidad) y rentabilidad, tanto en el mercado de futuros como en el mercado de contado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ❑ Abhyankar, A. H. (1995): "Return and Volatility Dynamics in the FT-SE 100 Stock Index and Stock Index Futures Markets", *Journal of Futures Markets*, 4: 457-488.
- ❑ Admati, A.R. y Pfleiderer (1988): "A Theory of Intraday Patterns: Volume and Price Variability", *Review of Financial Studies*, 1:3-40.
- ❑ Arshanapalli, B. y Doukas J. (1994): "Common Volatility in S&P 500 Stock Index and S&P 500 Index Futures Prices during October 1987", *Journal of Futures Markets*, 14(8): 915-925.
- ❑ Bera, A. K. y Jarque C.M. (1981): "An Efficient Large-Sample Test for Normality of Observations and Regressions Residuals" Working Paper in Econometrics, 40, Australian National University, Canberra.
- ❑ Bessembinder H. y Seguin J. (1992): "Futures-Trading Activity and Stock Price Volatility", *Journal of Finance*, 47(5): 2015-2034.
- ❑ Blanco, R. (1998): "Transmisión de Información y Volatilidad entre el Mercado de Futuros sobre el Índice Ibox 35 y el Mercado al Contado", *Mimeo*.
- ❑ Bollerslev, T., Chou, R., y K.F. Kroner (1992): "ARCH Modelling in Finance: A Review of the Theory and Empirical Evidence", *Journal of Econometrics*, 64: 1439-1442.
- ❑ Box, G. E. P., y Jenkins, G. M. (1970): *Time Series Analysis: Forecasting and Control*. San Francisco, Holden Day.
- ❑ Brenner R.J. y Kroner K.F. (1995): "Arbitrage, Cointegration and Testing de Unbiasedness Hypothesis in Financial Markets", *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 30(1): 23-42.
- ❑ Brock, W.A. y A.W. Kleidon (1992): "Periodic Market Closure and Trading Volume", *Journal of Economic Dynamics and Control*, 16: 451-489.
- ❑ Brock, W.A., Dechert, W. y Sheickman (1987): "A Test for Independence Based on the Correlation Dimension", Working Paper, Universidad de Wisconsin-Madison.
- ❑ Brown-Hruska S. y Kuserk G. (1995): "Volatility, Volume, and the Notion of Balance in the S&P 500 Cash and Futures Markets", *Journal of Futures Markets*, 15(6): 677-689.
- ❑ Caballero J.M y A. Novales (1995): "The Spanish Stock Market Futures Contract: A First Analysis". *Mimeo*.
- ❑ Chan K., Chan k.C., y G.A. Karolyi (1991): "Intraday Volatility in the Stock Index and Stock Index Futures Markets", *Review of Financial Studies* 4: 657-684.
- ❑ Chan, K. (1992): "A Further Analysis of the Lead-Lag Relationships between the Cash Market and Stock Index Futures Market", *Review of Financial Studies*, 5(1): 123-152.
- ❑ Chan, K. y Chung Y. P. (1993): "Intraday Relationships Among Index Arbitrage, Spot and Futures Price Volatility, an Spot Market Volume: A Transactions Data Test", *Journal of Banking and Finance*, 17: 663-687.
- ❑ Chen, N., Cuny C.J. y Haugen R. A. (1995): "Stock Volatility and the Levels of the Basis and Open Interest in Futures Contract": *Journal of Finance* 1(1): 281-300.

- ❑ Choudhry, T. (1997): "Short-Run Deviations and Volatility in Spot and Futures Stock Returns: Evidence from Australia, Hong Kong and Japan", *Journal of Futures Markets*, 17: 689-705.
- ❑ Climent, F. y Pardo A. (1996): "Estudio de las Relaciones entre el Contrato de Futuro sobre Ibex 35 y su Activo Subyacente", *Instituto Valenciano de Investigaciones Económicas*, WP-EC 96-13.
- ❑ Cornell, B. y French, K.R. (1983): "The Pricing of Stock Index Futures", *Journal of Futures Markets*, 3(1): 1-14.
- ❑ Daigler R. T. (1997): "Intraday Futures Volatility and Theories of Market Behavior", *Journal of Futures Markets*, 17(1): 45-74.
- ❑ Darrat A.F. y S. Rahman (1995): "Has Futures trading Activity Caused Stock Price Volatility?", *Journal of Futures Markets*, 15: 537-557.
- ❑ Dennis, J.E. y Schnabel R.B. (1983): "Numerical Methods for Unconstrained Optimization and Nonlinear Equations". Prentice Hall Series in Computational Mathematics, New Jersey.
- ❑ Dickey, D.A. y Fuller W.A. (1979): "Distribution of the Estimators for Autoregressive Time Series with a Unit Root", *Journal of the American Statistical Association*, 74: 427-431.
- ❑ Ederington, L.H. (1979): "The Hedging Performance of the New Futures Markets", *The Journal of Finance*, 34:157-170.
- ❑ Elam E. y Dixon B.L (1988): "Examining the Validity of a Test of Futures Markets Efficiency", *Journal of Futures Markets*, 8: 365-372.
- ❑ Engle R., y C.W. Granger (1987): "Cointegration and Error Correction: Representation, Estimation and Testing", *Econometrica*, 55, 251-276.
- ❑ Engle, R. F. (1982): " Autoregressive Conditional Heteroskedasticity with Estimates of the Variance of U.K. Inflation", *Econometrica* 50: 908-1008
- ❑ Engle, R.F. y K.F. Kroner (1995): "Multivariate Simultaneous Generalized ARCH". *Econometric Theory*, 11: 122-150.
- ❑ Fernández P. e Yzaguirre, J.(1995): "Ibex 35. Análisis e Investigaciones". Ediciones Internacionales Universitarias.
- ❑ Freixas X. y Novales A. (1992): "Primas de Riesgo y Cambio de Hábitat". *Revista española de Economía. Monográfico: Mercados Financieros Españoles*, págs 135-162.
- ❑ Geweke, J. Meese, R. y Dent, W. (1982): "Comparing Alternative Tests of Causality in Temporal Systems. Analytic Results and Experimental Evidence", *Journal of Econometrics*, 21:161-194.
- ❑ Ghosh, A. (1993): "Hedging with Stock Index Futures: Estimation and Forecasting with Error Correction Model", *Journal of Futures Markets*, 13 (7): 743-752.
- ❑ Granger C.W. (1969): "Investigating Causal Relations by Econometric Models and Cross-Spectral Methods", *Econometrica*, 37 (3): 424-438.
- ❑ Granger, C. y Newbold, P. (1974): "Spurious Regressions in Econometrics", *Journal of Econometrics*, 2: 111-120.

- ❑ Grossman, S.J., (1988): "Program Trading and Market Volatility: A report on interday relationships", *Financial Analysts Journal*, 44: 18-28.
- ❑ Harris, L. (1989): "S&P 500 Cash Stock Price Volatilities", *Journal of Finance* 5: 1155-1175.
- ❑ Haugh, L.D. (1976): "Checking the Independence of Two Covariance-Stationary Time Series: A Univariate Residual Cross-Correlations Approach", *Journal of the American Statistical Association*, 71(354): 378-385.
- ❑ Herbst, F.A., McCormack, J.P. y West, E.N. (1987): "Investigation of the Lead - Lag Relationships between Spot Stock Indices and their Futures Contracts", *Journal of Futures Markets*, 7(4): 373-381.
- ❑ Howard, C.T. y L.J. D'Antonio (1991): "Multiperiod Hedging Using Futures: A Risk Minimization Approach in the Presence of Autocorrelation", *Journal of Futures Markets*, 11(6): 697-710.
- ❑ Hsieh, D.A. (1991): "Chaos and Nonlinear Dynamics: Application to Financial Markets", *Journal of Finance*, 1839-1877.
- ❑ Iiara Y., Kato K. y T. Tokunaga (1996): "Intraday Returns Dynamics between Cash and the Futures Markets in Japan", *Journal of Futures Markets*, 16:147-162.
- ❑ Karolyi, G.A. (1995): "A Multivariate GARCH Model of International Transmissions of Stock Returns and Volatility: The Case of the United States and Canada". *Journal of Business & Economic Statistics*, 13, 1: 11- 34.
- ❑ Karpoff, J.M. (1987): "The Relation Between Price Changes and Trading Volume: A Survey", *Journal of Banking and Finance* 22(1):109-126.
- ❑ Kawaller Y.G., Koch, P.D. y T. W. Koch (1990): "The Temporal Price Relationships between S&P 500 Futures and S&P 500 Index", *Journal of Banking and Finance*, 14: 373-397.
- ❑ Kawaller, I.G., Koch, P.D. y Koch, T.M. (1987): " The Temporal Price Relationship between S&P 500 Futures and the S&P 500 Index": *Journal of Finance*, 42(5): 1039-1329.
- ❑ Koch, P.D., y Yang, S.S. (1986): "A Method for testing the Independence of Two Time Series that Accounts for a Potential Pattern in the Cross Correlation Function", *Journal of the American Statistical Association*, 81(394): 533-544.
- ❑ Koutmos, G. y Tucker M. (1996): "Temporal Relationships and Dynamic Interactions between Spot and Futures Stock Markets", *Journal of Futures Markets*, 16(1): 55-69.
- ❑ Lai K.S. y Lai M. (1991): "A Cointegration Test for Market Efficiency", *Journal of Futures Markets*, 11: 567-576.
- ❑ Lee, T.H. (1994): "Spread and Volatility in Spot and Forward Exchanges Rates" *Journal of International Money and Finance*, 13:375-383.
- ❑ Lien D., y X. Luo (1994): "Multiperiod Hedging in the Presence of Conditional Heteroskedasticity", *Journal of Futures Markets* 14 (8): 927 - 954.
- ❑ Lien y Luo (1993): "Estimating Multiperiod Hedge Ratios in Cointegrated Markets", *Journal of Futures Markets* 13 (8): 909-920.

- Lien, D.(1996): “The Effect of the Cointegration Relationship on Futures Hedging: A Note”, *Journal of Futures Markets*, 16 (7): 773-780.
- Ljung, T. y Box G. (1979): “The Likelihood Function for a Stationary Autoregressive Moving Average Process”, *Biometrika*, 66:265-270.
- Ma, C.K., Peterson, R.L. y Sears R.S. (1992): “Trading Noise, Adverse Selection, and Intraday Bid-Ask Spreads in Futures Markets”. *Journal of Futures Markets*, 12(5): 519-538.
- Mackinlay, A.C. y Ramaswamy K. (1988): “Index-Futures Arbitrage and the Behavior of Stock Index Futures Prices”, *Review of Financial Studies*, 1(2): 137-158.
- Muñoz, M.J., Fernández A. y Nieto L. (1997): “Análisis de la Causalidad entre el Ibex -35 y el Futuro sobre el Ibex 35 en un contexto de Cointegración”, *Análisis Financiero*, 71:16-26.
- Myers, R. (1991): “Estimating Time-Varying Optimal Hedge Ratios on Futures Markets”, *Journal of Futures Markets* 11 (1): 39-53.
- Park T.H. y L.N. Switzer (1995): “Bivariate GARCH Estimation of the Optimal Hedge Ratios for Stock Index Futures: A Note”, *Journal of Futures Markets*, 15 (1): 61-67.
- Sims, C.A. (1972): “Money, Income and Causality”, *American Economic Review*, 62: 540-552.
- Rubinstein, M. (1976): “The Valuation of Uncertain Income Streams and the Pricing of Options”, *Bell Journal of Economics*, 7:407-425.
- Sofianos, G., (1990): “Index Arbitrage Profitability”, Working Paper, New York Stock Exchange, N° 90-94.
- Solórzano, M. (1996): “Análisis de la relación temporal entre los rendimientos de contado y futuro sobre índices bursátiles: especial referencia al caso del índice Ibex 35”, *Tesis Doctoral*.
- Stoll, H. R. y Whaley R. E. (1990): “The Dynamics of Stock Index Futures Returns”, *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 25: 441-468.
- Subrahmanyam, A. (1991): “A Theory of Trading in Stock Index Futures Markets”, *Review of Financial Studies*, 4: 17-51.
- Theobald, M. y P. Yallup (1997): “Hedging Ratios and Cash/Futures Market Linkages”, *Journal of Futures Markets* 17 (1): 101-115.
- Wahab, M. y Lasghari, M. (1993): “Price Dynamics and Error Correction in Stock Index and Stock Index Futures Markets: A Cointegration Approach”, *Journal of Futures Markets*, 13(7): 711-742.
- Wang G. K., Michalsky R. J., Jordan V. J., y E. J. Moriarty (1994): “An Intraday Analysis of Bid-Ask Spreads and Price Volatility in the S&P 500 Index Futures Market”, *Journal of Futures Markets*, 14: 837-859.
- White, H. (1980), “A Heteroskedastic-Consistent Covariance Matrix Estimator and a Direct Test for Heteroskedasticity”, *Econometrica*, 48: 817-838.