

VALORACIÓN Y ARBITRAJE EN CONTRATOS DE FUTURO*

ÁNGEL PARDO

Universidad de Valencia

Las diferencias entre el precio teórico y el precio de mercado de un contrato de futuro indican la aparición de sobrevaloraciones o infravaloraciones que, de no estar explicadas por los costes de transacción en los que se incurre al realizar una operación de arbitraje, darán lugar a oportunidades de obtener beneficio sin riesgo actuando simultáneamente en los mercados de contado y futuro. En el presente trabajo se realiza, en primer lugar, la valoración de un contrato de futuro sobre índice bursátil en un mercado sin fricciones. La relajación de las fuertes restricciones que los supuestos de un mercado de tal condición implican da lugar a un modelo de valoración de contratos de futuro sobre índice bursátil en el cual el precio de mercado del contrato puede oscilar dentro de una banda delimitada por los precios teóricos que se obtendrían al realizar un arbitraje directo o un arbitraje inverso. Una vez obtenido el modelo de bandas, se estudia el número de oportunidades de arbitraje detectadas minuto a minuto en el contrato de futuro sobre IBEX-35 más negociado, para el periodo comprendido entre el 21-2-94 y el 20-5-94, así como su localización horaria y su duración.

Palabras clave: precio teórico, precio real, arbitraje, costes de transacción, índice bursátil.

Desde que en 1982 comenzara la negociación del primer contrato de futuro sobre índice bursátil, el *Value Line Index*, en el Kansas Board of Trade, rápidamente proliferaron nuevos mercados de futuros y opciones sobre diferentes índices. Entre las razones de este éxito destacan la posibilidad de realizar operaciones de cobertura y la de replicar el comportamiento de la cartera de mercado formada por el índice bursátil. Para que estas operaciones sean efectivas es necesario que el precio del contrato de futuro esté correctamente valorado de forma que no existan oportunidades sistemáticas de arbitraje entre el mercado de contado y el de futuro.

Las diferencias entre el precio teórico y el precio real o de mercado, entendiéndose por éste el precio al cual el contrato de futuro es efectivamente negociado en el mercado, indican la aparición de sobrevaloraciones o infravaloraciones del futuro que, de no estar explicadas por los costes de transacción en los que se incurre al realizar una

(*) Quisiera agradecer los valiosos comentarios aportados por Vicente Meneu Ferrer, así como los realizados por dos evaluadores anónimos. Los posibles errores son únicamente de mi responsabilidad.

operación de arbitraje, darán lugar a oportunidades de obtener beneficio sin riesgo actuando simultáneamente en los mercados de contado y futuro.

Los primeros estudios de oportunidades de arbitraje con índices bursátiles se aplicaron a contratos de futuro negociados en mercados estadounidenses. Estos fueron realizados por Cornell-French (1983a y 1983b) sobre el Standard & Poor's 500 y el NYSE Composite Index, y por Figlewski (1984) sobre el NYSE. Posteriormente se analizaron los restantes contratos de futuro de mayor volumen de negociación mundial. Así en Brenner *et al.* (1990) y Bricheaux *et al.* (1990) se estudian los futuros de los índices Nikkei-225 y CAC-40, respectivamente, mientras que Yadav-Pope (1990), Yadav (1992) y Strickland-Xu (1992) examinan el mercado de futuros del índice FTSE-100. Respecto al estudio de arbitrajes con futuros sobre índice bursátil en el mercado español destacan, entre otros, los trabajos de Pozo (1993), Pardo (1994) y Caballero-Navales (1995). Los resultados obtenidos referentes al estudio de oportunidades de arbitraje en los tres últimos trabajos citados están limitados por el tipo de datos utilizados, precios de cierre en los dos primeros y cotizaciones cada hora en el tercero.

En este artículo se realiza, en primer lugar, la valoración de un contrato de futuro sobre índice bursátil en un mercado sin fricciones. La relajación de las fuertes restricciones que implican los supuestos de un mercado de tal condición da lugar a un modelo de valoración de contratos de futuro sobre índice bursátil en el cual el precio de mercado del contrato puede oscilar dentro de una banda delimitada por los precios teóricos a partir de los cuales sería posible obtener un arbitraje directo o un arbitraje inverso. Cuando dichos precios sean violados aparecen oportunidades de arbitraje directo o inverso que serán aprovechadas mediante la compra de las acciones que componen el índice bursátil y la venta simultánea de contratos de futuro, para el primer caso, y a través de la venta de las acciones y compra simultánea de futuros para el segundo. El beneficio de la operación será conocido en el momento de realizar la operación pero se obtiene en la cancelación de la misma en el vencimiento del contrato de futuro, siempre que la base converja a cero.

En segundo lugar se realiza un análisis empírico mediante la aplicación del modelo de bandas al contrato de futuro sobre IBEX-35 en los vencimientos de marzo, abril y mayo de 1994, con el fin de detectar minuto a minuto las desviaciones del precio real con respecto al precio teórico sin costes, estudiando si dichas desviaciones siguen un proceso de reversión a la media. Posteriormente se analiza el número de oportunidades de arbitraje, su localización horaria y su duración.

La última sección se dedica al estudio de una serie de factores que dificultan la realización de arbitrajes en el mercado español y que, debido a su complicada cuantificación, difícilmente se pueden incorporar en el modelo de bandas.

1. VALORACIÓN DE UN CONTRATO DE FUTUROS SOBRE ÍNDICE BURSÁTIL EN UN MERCADO SIN FRICCIONES

En este punto se plantea la valoración de un contrato de futuro en un mercado sin fricciones y para ello se realizan las siguientes hipótesis:

1. no existen impuestos;
2. no existen costes de transacción;

3. existe la posibilidad de realizar ventas en descubierto de acciones sin restricción alguna y sin necesidad de depositar garantías;
4. no existen restricciones para tomar posiciones en contratos de futuro;
5. se puede prestar y tomar prestados fondos y los tipos de interés prestamista y prestatario coinciden;
6. se puede prestar y pedir prestado mediante operaciones a plazo contratadas en la fecha de valoración del contrato, con fecha de inicio en la fecha de pago de cada dividendo y con fecha de vencimiento coincidente con el contrato de futuros sobre el índice;
7. existe un único precio de mercado para las acciones y los contratos de futuro válido para la compra y para la venta;
8. se conoce la fecha de reparto y cuantía de los dividendos de las acciones que componen el índice;
9. no se tiene en cuenta la liquidación diaria de pérdidas y ganancias¹.

De los supuestos primero, segundo, cuarto y séptimo se deriva la convergencia de los precios de contado y de futuro el día del vencimiento del contrato.

El principio fundamental de valoración de contratos de futuro es el teorema de la paridad entre los precios del mercado de futuro y de contado que permite valorar el contrato de futuro sobre índice bursátil a partir del precio de contado, para lo que es necesario conocer: el tipo de interés libre de riesgo, los dividendos a generar por las acciones que componen el índice y el intervalo de tiempo comprendido entre la fecha de valoración del contrato y el momento del vencimiento del mismo.

El precio teórico del contrato de futuro sobre índice bursátil se obtendría a partir de la compra de una cesta de las acciones que componen el índice y de su mantenimiento hasta el vencimiento del contrato. De esta forma el precio teórico en t de un contrato de futuro con vencimiento en T :

$$F_{\mathcal{T}}(t, T) = I(t) \times \left(e^{r_{i,T} \times \frac{(T-t)}{365}} \right) - \sum_{i=1}^N \sum_{j=i}^T D_{i,j} \times \left(e^{r_{i,j} \times \frac{(T-j)}{365}} \right) \quad [1]$$

donde:

- t = momento de la valoración;
- T = vencimiento del contrato de futuro;
- $I(t)$ = valor del índice bursátil al contado en el momento t ;
- $r_{i,T}$ = tipo de interés anual libre de riesgo al contado para el plazo $[t, T]$ expresado como densidad logarítmica;
- $r_{i,j}$ = tipo de interés implícito anual a plazo $[j, T]$ expresado como densidad logarítmica, que se obtiene a partir de:

$$e^{r_{i,T} \times (T-t)} = e^{r_{i,j} \times (j-t)} \times e^{r_{i,j} \times (T-j)}$$

donde $r_{i,T}$ y $r_{i,j}$ son los tipos de interés al contado vigentes en t para los plazos $[t, T]$ y $[t, j]$ respectivamente;

(1) Este supuesto no tiene efectos en el precio del contrato de futuro si los tipos de interés son no estocásticos [Cox, Ingersoll, Ross (1981)]. Si los tipos son estocásticos su efecto es muy pequeño, véase Modest (1984) y Yadav (1992).

- i = cada una de las acciones comprendidas en el índice bursátil ($i = 1, 2, \dots, N$);
- j = fecha de reparto de los dividendos ($j = t, t+1, \dots, T$);
- $D_{i,j}$ = dividendos brutos en puntos del índice de la acción "i" repartidos en el momento j.

Una vez obtenido el precio teórico del contrato de futuro sobre índice, $F_T(t, T)$, y conocido el precio real del mismo, $F_R(t, T)$, entendiéndose como tal el precio al cual el contrato se negocia en el mercado de futuro, se definen los siguientes conceptos:

- Base real de un contrato de futuro. Diferencia existente entre el precio real de un contrato de futuro y el precio al contado del índice:

$$B_R(t, T) = F_R(t, T) - I(t)$$

- Base teórica de un contrato de futuro. Diferencia existente entre el precio teórico de un contrato de futuro y el precio al contado del índice:

$$B_T(t, T) = F_T(t, T) - I(t)$$

- Coste neto de financiación (C.N.F.). Coste de financiar la compra de las acciones que componen el índice bursátil neto de la rentabilidad que proporciona la tenencia de las mismas²:

$$C.N.F. = I(t) \times \left(e^{r_t \times \frac{(T-t)}{365}} - 1 \right) - \sum_{i=1}^N \sum_{j=t}^T D_{i,j} \times \left(e^{r_{t,j} \times \frac{(T-j)}{365}} \right) \quad [2]$$

A la vista de las expresiones anteriores, en un mercado sin fricciones:

1. La base teórica coincide con el coste neto de financiación.

2. La comparación entre la base real y la teórica determina si el contrato está correctamente valorado en el mercado, de forma que si la base real es superior a la base teórica existen oportunidades de arbitraje directo, existiendo oportunidades de arbitraje inverso en el caso contrario. El mismo razonamiento se realizaría para el precio real y teórico.

2. VALORACIÓN DE UN CONTRATO DE FUTURO SOBRE ÍNDICE BURSÁTIL EN UN MERCADO CON FRICCIONES

La no existencia de costes de transacción, la existencia de un único tipo de interés prestamista y prestatario y de un único precio de mercado para las acciones y para los contratos de futuro, y la disponibilidad total de los fondos obtenidos por la venta de acciones en descubierto eran cuatro de los supuestos de un mercado sin fricciones. La relajación de dichos supuestos supone la incorporación en el precio teórico de un contrato de futuro de las comisiones por operar en los mercados de contado, de futuro y de inversión/financiación, del diferencial de tipos de interés prestamista y prestatario, y de la consideración de los mejores precios de compra y venta de las acciones y

(2) Como el tipo de interés comprador y vendedor coinciden, no existen costes de transacción y los precios son únicos, el Coste Neto de Financiación significa igualmente el resultado que se obtendría si a los intereses obtenidos por la inversión del importe obtenido por la venta de los títulos se les resta los dividendos dejados de percibir.

de los contratos de futuro que se soportarían al realizar una operación de arbitraje, tanto directo como inverso. Esto provoca la aparición de una *ventana de no arbitraje* dentro de la cual el precio real del contrato de futuro puede oscilar sin dar lugar a oportunidades de arbitraje. En otras palabras, el precio de mercado del contrato se puede alejar del precio teórico sin fricciones, sin que existan incentivos a la realización de operaciones de arbitraje.

En este punto se estudian los diferentes costes de transacción de una operación de arbitraje y, a partir de ellos, se definen los conceptos de coste e ingreso de transformación que serán necesarios para obtener el modelo de valoración del contrato de futuro sobre índice bursátil en un mercado con fricciones, que denominaremos modelo de bandas de arbitraje.

2.1. Costes de transacción de una operación de arbitraje

Como la realización de una operación de arbitraje conlleva el pago de unos costes de transacción, la oportunidad de capturar beneficio sin riesgo desaparece siempre que la cuantía de dichos costes supere el diferencial entre precios (o bases) reales y teóricas. De aquí la importancia del estudio de los diferentes costes de transacción que aparecen en el arbitraje. Estos son los siguientes:

1. Comisiones por comprar y vender contratos de futuro. Estas comisiones se suelen denominar *round-trip costs*, comisiones de ida y vuelta. Comisiones de *ida* pagadas en el momento de realizar la operación de compra o venta inicial y de *vuelta* en el momento de liquidación del contrato de futuro.

2. Cánones de liquidación, contratación y gestión bursátil soportados en el mercado del activo subyacente tanto en el inicio como en el vencimiento de la operación.

3. El *impacto del mercado* (dos veces) al tener que comprar acciones al mejor precio de venta y tener que venderlas al mejor precio de compra. El primer impacto se sufre en el momento de iniciar la operación de arbitraje y el segundo se soporta al tener que deshacer la operación en el vencimiento o al cancelarla anticipadamente. Este segundo impacto es desconocido, por lo que se tiene que incorporar como una estimación de la horquilla media³ calculada como la diferencia media entre los mejores precios de compra y venta de las acciones que componen el índice teniendo en cuenta su ponderación.

4. El *impacto del mercado* al comprar y vender contratos de futuro. El primer impacto es conocido y se calcula como la diferencia media entre el mejor precio de compra y de venta del contrato de futuro. El segundo impacto no existe, si la operación de arbitraje se liquida en el vencimiento del contrato de futuro al precio de cierre final que es único (se tendría en cuenta si se produce una cancelación anticipada).

5. Costes de la operación de venta de acciones en descubierto para la operación de arbitraje inverso. Hacen referencia a los costes de tomar acciones prestadas.

6. Comisiones correspondientes al mercado de inversión/financiación.

(3) "A la diferencia entre el precio más reducido, entre los que se encuentran aparcados para órdenes vendedoras, y el más elevado entre las órdenes de compra aparcadas, se le conoce como la horquilla de precios [...]. La magnitud de dicho diferencial lleva implícitos los costes de transacción de operar en el mercado y que en un contexto competitivo entre los intermediarios del mercado, pueden ser asimilados a la estructura de costes del más eficiente de dichos intermediarios". Bergés y Soria (1993), pág. 929.

Por lo que respecta a los tipos de interés, hay que tener en cuenta que el tipo de interés que se aplica para la realización del arbitraje directo es diferente del utilizado en el arbitraje inverso, pues para el primero se utiliza un tipo de interés vendedor ($r_{t,T}^V$), al tener que financiarse, superior al tipo comprador ($r_{t,T}^C$) aplicado para la inversión de fondos en el arbitraje inverso [$r_{t,T}^V > r_{t,T}^C$].

Los costes de transacción totales⁴, expresados en porcentaje sobre el valor del índice, serían los siguientes:

$$C_T = C_A + C_F + 2\tilde{H}_A + H_F + C_V + C_{I/F} \quad [3]$$

donde:

- C_T = costes de transacción totales que se suponen desembolsados en el momento de deshacer la operación de arbitraje;
- C_A = comisiones por comprar y vender acciones;
- C_F = comisiones por comprar y vender contratos de futuro;
- \tilde{H}_A = horquilla media de precios estimada para las acciones que componen el índice (impacto del mercado de acciones);
- H_F = horquilla media de precios de los contratos de futuro (impacto del mercado en los precios de los contratos de futuro);
- C_V = coste del préstamo de valores;
- $C_{I/F}$ = comisiones del mercado de inversión/financiación.

En la expresión [3] no se incluyen las posibles restricciones para la utilización del total de los fondos obtenidos por la venta de las acciones en descubierto.

2.2. Coste e ingreso de transformación

Al considerar los costes de transacción del arbitraje y el diferencial de tipos de interés comprador y vendedor, el Coste Neto de Financiación, ecuación [2], es sustituido por los siguientes conceptos⁵:

- Coste de transformación ($c(t,T)$). Coste de transformar o mantener entre t y T una posición compradora en acciones y vendedora en futuros. Su importe estará formado por los costes de transacción más el tipo de interés a pagar por el préstamo obtenido para comprar las acciones, menos los dividendos repartidos por dichas acciones desde su compra en t hasta su venta T .

- Ingreso de transformación ($i(t,T)$). Rendimiento generado por mantener entre t y T una posición vendedora en acciones y compradora en futuros. Dicho rendimiento se produce por la inversión del importe (total o parcial) de la venta de las acciones hasta el vencimiento del futuro, menos los costes de transacción y el importe de los dividendos repartidos por las acciones que fueron vendidas.

(4) En la literatura financiera existen diferentes revisiones de los costes de transacción de una operación de arbitraje con índices bursátiles. En este artículo se ha escogido la más detallada realizada por Merrick (1989) y Yadav-Pope (1990). Mackinlay-Ramaswamy (1988) no tienen en cuenta los costes del préstamo de valores y el segundo impacto del mercado de acciones, mientras que Brennan-Schwartz (1990) además de los dos anteriores no considera el coste del impacto del mercado de futuros.

(5) Meneu *et al.* (1994), pág. 152.

Bajo los supuestos de tipos de interés prestamista y prestatario constantes y conocimiento de la fecha de reparto y de la cuantía de los dividendos, el coste y el ingreso de transformación de un contrato de futuro sobre índice bursátil se determinan de la siguiente forma:

- Coste de transformación.

$$c(t,T) = I(t) \times \left(e^{r_t^V \times \frac{(T-t)}{365}} - 1 \right) - \sum_{i=1}^N \sum_{j=t}^T D_{i,j} \times \left(e^{r_{j,T}^C \times \frac{(T-j)}{365}} \right) + C_T^+ \quad [4]$$

- Ingreso de transformación.

$$i(t,T) = \alpha \times I(t) \times \left(e^{r_t^V \times \frac{(T-t)}{365}} - 1 \right) - \sum_{i=1}^N \sum_{j=t}^T D_{i,j} \times \left(e^{r_{j,T}^C \times \frac{(T-j)}{365}} \right) - C_T^- \quad [5]$$

donde:

- $I(t)$ = valor del índice bursátil al contado;
- r_t^V y r_t^C = tipos de interés al contado vendedor y comprador expresados como densidad logarítmica;
- $r_{j,T}^V$ y $r_{j,T}^C$ = tipos de interés vendedor y comprador implícitos a plazo T-j expresados como densidad logarítmica;
- α = tanto por uno de los fondos obtenidos por la venta de acciones a través del préstamo de valores que es de libre disposición y se puede invertir;
- $D_{i,j}$ = dividendo repartido por la acción i en el momento j;
- C_T^+ y C_T^- son los costes de transacción totales de una operación de arbitraje directo e inverso respectivamente, siendo, a partir de la ecuación [3]:

$$C_T^- = C_T$$

$$C_T^+ = C_T - C_V$$

Nótese que si no se tienen en cuenta los costes de transacción, ni el diferencial de tipos de interés y $\alpha=1$, el coste de transformación [4] coincide con el ingreso [5], y ambos con el coste neto de financiación [2]⁶.

Para comprobar la existencia de oportunidades de arbitraje en un mercado con fricciones, hay que comparar la base real con el coste y con el ingreso de transformación. La casuística sería la siguiente:

- Si $B_R(t,T) > c(t,T) \rightarrow$ existe oportunidad de arbitraje directo.
- Si $B_R(t,T) < i(t,T) \rightarrow$ existe oportunidad de arbitraje inverso⁷.
- Si la base real se encuentra comprendida entre las cuantías del coste e ingreso de transformación no existe posibilidad de obtener beneficio sin riesgo y la desviación entre el precio de mercado y el precio teórico está explicada por los costes de transacción, el diferencial de tipos de interés y las posibles restricciones a la disponibilidad del total de fondos obtenidos por la venta de las acciones:

(6) En un mercado sin fricciones $C_A = C_F = C_V = H_A = H_F = C_{I/F} = 0$ y $\alpha = 1$.

(7) El beneficio neto obtenido para los dos tipos de arbitraje sería la diferencia entre ambas cantidades.

Si se tienen diferentes previsiones en torno a la fecha de reparto y cuantía de los dividendos, y con el fin de dar mayor confianza a la oportunidad de arbitraje detectada, el coste e ingreso de transformación pueden corregirse calculando los dividendos máximos y mínimos esperados, incorporando los primeros al ingreso de transformación y los segundos al coste⁸.

2.3. Modelo de valoración de bandas de arbitraje

El coste y el ingreso de transformación se suman al valor del índice bursátil y se obtiene una banda o *ventana de no arbitraje*, en lugar de un único precio teórico. El precio de mercado del contrato de futuro puede oscilar dentro de dicha banda sin que existan oportunidades de beneficio sin riesgo. De esta manera, el precio de mercado puede no coincidir con el teórico sin fricciones, pero esa diferencia no es explotable siempre que se cumpla la siguiente condición de no arbitraje:

$$F_f(t, T)^+ = I(t) + c(t, T) \geq F_R(t, T) \geq I(t) + i(t, T) = F_f(t, T)^- \quad [6]$$

donde:

- $F_f(t, T)^+$ es el precio teórico del contrato de futuro que se obtendría al incorporar el coste de transformación (límite superior del modelo de bandas de arbitraje);
- $F_f(t, T)^-$ es el precio teórico del contrato de futuro que se obtendría al incorporar el ingreso de transformación (límite inferior del modelo de bandas de arbitraje).

Si el precio de mercado del contrato de futuro sobrepasa el precio teórico superior:

$$F_R(t, T) > I(t) + c(t, T) = F_f(t, T)^+$$

existe oportunidad de realizar un arbitraje directo. Si, por el contrario, el precio real del contrato de futuro es menor que el precio teórico inferior, existe oportunidad de realizar un arbitraje inverso:

$$F_R(t, T) < I(t) + i(t, T) = F_f(t, T)^-$$

La *ventana de no arbitraje* será distinta para cada arbitrajista y estará en función de los costes de transacción y del diferencial de tipos al que se enfrente. Las operaciones de arbitraje, en todos los mercados, se caracterizan por su agilidad y rapidez, siendo los arbitrajistas más activos aquéllos que tengan menores costes de transacción y se financien o inviertan a mejores tipos de interés, ya que su *ventana de no arbitraje* será más estrecha. En este sentido cabe destacar aquellas operaciones de arbitraje inverso realizadas con títulos de los que se dispone en cartera, en lugar de realizarla con títulos vendidos en descubierto⁹. Según Modest-Sundaresan (1983), los arbitrajistas raramente utilizan las ventas en descubierto pues generalmente emplean las cestas de acciones que poseen en cartera si el futuro está infravalorado. Esta estrategia permite eliminar los costes de operar en descubierto, es decir, permite aumentar el ingreso de transformación y, por consiguiente estrechar la *ventana de no arbitraje*.

(8) Véase Modest (1984), pág. 52.

(9) Las primeras operaciones se denominan operaciones de cuasi-arbitraje y a las segundas operaciones puras de arbitraje. Véase Kolb (1990), capítulo 3, pág. 104.

3. MODELO DE BANDAS DE ARBITRAJE APLICADO AL CONTRATO DE FUTURO SOBRE IBEX-35

En este apartado se aplica el modelo de bandas al contrato de futuro sobre el índice IBEX-35¹⁰. Dentro de los potenciales arbitrajistas del mercado de futuro, tanto las entidades financieras como las Sociedades de Valores y Bolsa pueden acceder al mercado secundario de operaciones simultáneas de Deuda Pública Anotada. Por este motivo, y dado que las operaciones realizadas en dicho mercado se valoran con capitalización simple, el precio teórico del contrato de futuro sobre IBEX-35 se calcula a continuación con esa ley financiera.

En un mercado sin fricciones, el precio teórico en t de un contrato de futuro sobre IBEX-35 con vencimiento T se define según la ecuación [1]. Incorporando la valoración en capitalización simple se tiene:

$$F_T(t, T) = I(t) \times \left(1 + r_{t,T} \times \frac{(T-t)}{36000} \right) - \sum_{i=1}^{35} \sum_{j=i}^T D_{i,j} \times \left(1 + r_{j,T} \times \frac{(T-j)}{36000} \right) \quad [7]$$

donde:

- $r_{t,T}$ = tipo de interés libre de riesgo al contado para un plazo (t, T) en tanto por cien;
- $r_{j,T}$ = tipo de interés implícito a plazo correspondiente a (j, T) , al cual se puede prestar o pedir prestado, expresado en tanto por cien.

Una vez obtenido el precio teórico del contrato de futuro, se incorporan: el diferencial de tipos de interés y los costes de transacción que suponen realizar una operación de arbitraje directo (C_T^+) e inverso (C_T^-) siendo:

$$C_T^+ = C_A + C_F + 2\tilde{H}_{IBEX} + H_F + C_{I/F}$$

$$C_T^- = C_A + C_F + C_V + 2\tilde{H}_{IBEX} + H_F + C_{I/F}$$

- \tilde{H}_{IBEX} = La horquilla media estimada para las acciones que componen el índice IBEX-35, en porcentaje sobre el valor del índice, que se calcula de la siguiente forma:

$$\tilde{H}_{IBEX} = \sum_{i=1}^{35} p_i \times \frac{(O_i(t) - D_i(t))}{(O_i(t) + D_i(t))/2}$$

- p_i = ponderación del título i en el IBEX-35;
- $O_i(t)$ = mejor precio de oferta del título i en el momento t ;
- $D_i(t)$ = mejor precio de demanda del título i en el momento t .

(10) Distintas variantes del modelo de bandas de arbitraje han sido aplicadas a los contratos de futuro de mayor volumen de negociación mundial. En la literatura encontramos las aplicaciones de Modest-Sundaresan (1983) y Modest (1984) al futuro sobre el Standard and Poor's 500, de Brenner (1989) al índice Nikkei 225, de Chung (1991) al estudio del contrato de futuro sobre el Major Market Index y de Strickland-Xu (1992) al FTSE-100. En Pozo (1993) se realiza una aplicación al mercado español.

De las ecuaciones [4] y [5] se obtienen los precios teóricos que definen las bandas superior e inferior del modelo de bandas de arbitraje para el contrato de futuro sobre IBEX-35 :

– Precio teórico del contrato de futuro sobre IBEX-35 para realizar un arbitraje directo o límite superior del modelo de bandas.

$$F_T(t, T)^+ = I(t) \times \left(1 + r_{i,T}^V \times \frac{(T-t)}{36000} \right) - \sum_{i=t}^N \sum_{j=T}^T D_{i,j} \times \left(1 + r_{i,T}^C \times \frac{(T-t)}{36000} \right) + C_T^+ \quad [8]$$

– Precio teórico del contrato de futuro sobre IBEX-35 para realizar un arbitraje inverso o límite inferior del modelo de bandas.

$$F_T(t, T)^- = \alpha \times I(t) \times \left(1 + r_{i,T}^C \times \frac{(T-t)}{36000} \right) - \sum_{i=t}^N \sum_{j=T}^T D_{i,j} \times \left(1 + r_{i,T}^V \times \frac{(T-t)}{36000} \right) - C_T^- \quad [9]$$

Las diferencias que aparezcan entre los mejores precios de contratos de futuro y los precios teóricos estarán explicadas por los costes de transacción y por el diferencial de tipos de interés prestamista y prestatario, y no darán lugar a oportunidades de arbitraje siempre que se cumpla la relación de arbitraje:

$$F_T(t, T)^+ \geq F_R(t, T) \geq F_T(t, T)^- \quad [10]$$

Por simplicidad, no se tiene en cuenta el efecto impositivo, que aumentaría la amplitud de la ventana de arbitraje en el mercado español. Si tan sólo se tuviera en cuenta la retención sobre los dividendos recibidos en una operación de arbitraje directo, aumentaría el límite superior. Si se considera la retención sobre los intereses a recibir por la inversión realizada de los fondos obtenidos por la venta de las acciones en una operación de arbitraje inverso, disminuiría el límite inferior.

3.1. Aplicación del modelo de bandas a los contratos de futuro sobre IBEX-35 con vencimiento marzo, abril y mayo de 1994

El precio teórico sin fricciones del contrato de futuro se ha determinado a partir de las cotizaciones en el mercado de contado, tomadas cada minuto, de las acciones que forman el índice. El resultado se ha comparado con las cotizaciones del contrato de futuro de vencimiento más cercano, también tomadas minuto a minuto. El periodo considerado abarca desde el día 21-2-94 hasta el día 20-5-94, con un total de 14 semanas y 20659 observaciones minuto a minuto. Los tipos de interés considerados para el cálculo de los precios teóricos son los tipos de interés correspondientes a operaciones simultáneas con contado riguroso en el Mercado Secundario de Deuda Pública Anotada, escogiendo entre las operaciones realizadas cada día aquélla cuyo plazo se ajusta más al vencimiento del contrato de futuro¹¹. Por tanto, hay que tener en cuenta que el tipo de inversión/financiación utilizado corresponde al tipo medio diario y no al tipo del minuto exacto para el cual se está calculando el precio teórico.

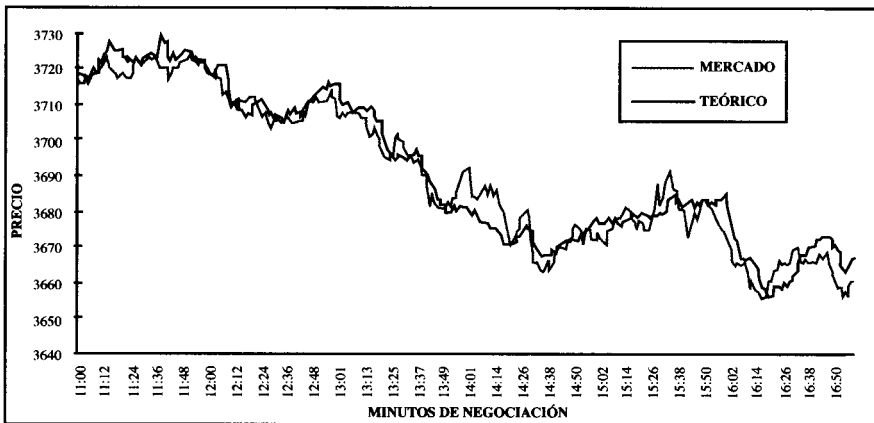
(11) Pozo (1993) considera el tipo repo medio de las Letras del Tesoro; Pardo (1994) y Caballero y Novales (1995) utilizan el tipo de interés del mercado interbancario.

Al no tener en cuenta las fricciones del mercado se obtiene una serie de precios reales y otra de precios teóricos simultáneos (ecuación [7]) que, a título ilustrativo, se recogen para los minutos del día 1 de marzo en el gráfico 1. Se observa que durante la mayor parte del periodo de negociación el contrato con vencimiento en marzo aparece infravalorado, pues el precio de mercado se sitúa por debajo del teórico sin costes, detectándose sobrevaloraciones en ciertos intervalos.

A la vista de esta situación, en el estudio se plantea la realización de arbitrajes directos suponiendo que no hay límites en la financiación de la compra de la cesta de acciones al contado, ni restricciones en las ventas de los contratos de futuro. El precio teórico que se obtiene fija el extremo superior de *la ventana de no arbitraje del mercado* (ecuación [8]). Respecto a los arbitrajes inversos, aquellos arbitrajistas que posean en cartera las acciones que componen el índice bursátil se encuentran en una situación que equivale a la disponibilidad total de los fondos que obtendrían por la venta de acciones al descubierto ($\alpha=1$), y a la no existencia de costes en el préstamo de valores ($C_v=0$), lo que supone una ventaja comparativa frente a quienes no las posean y tengan que recurrir a la venta en descubierto para realizar el arbitraje inverso. Dado que tienen los menores costes de transacción, estos arbitrajistas fijan el extremo inferior de *la ventana de no arbitraje del mercado* (ecuación [9]).

Los costes de transacción se han calculado para una operación de arbitraje realizada con 300 contratos de futuro. Para ese volumen, las comisiones de “ida y vuelta” por operar en el mercado de contado y de futuro son de 2,5 puntos del índice, mientras que la horquilla media es de 0,5 puntos para el mercado de futuros y de 6 puntos

Gráfico 1: PRECIO DE MERCADO Y PRECIO TEÓRICO SIN COSTES DEL CONTRATO DE FUTURO CON VENCIMIENTO MARZO 94 CALCULADOS MINUTO A MINUTO EL 1 DE MARZO DE 1994.

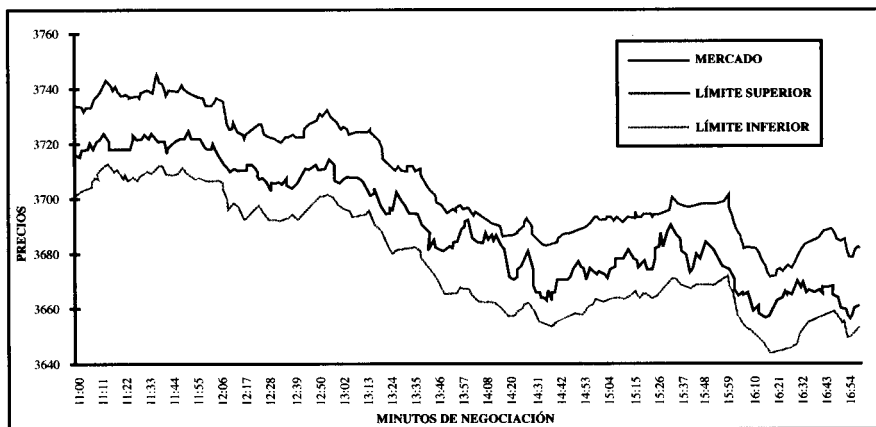


para el mercado de acciones (ésta se considera dos veces, es decir 12 puntos)¹². Un total de 15 puntos del índice representan el 0,4098% para un nivel del índice de 3660 puntos, que es la cotización media del índice en el periodo estudiado. Por otra parte, se han escogido las comisiones mínimas por operar en el mercado de contado y de futuro, que corresponden a los Miembros de las Bolsas de Valores y a los Creadores de Mercado del contrato de futuro sobre IBEX-35, respectivamente¹³.

Al incorporar los supuestos realizados para el arbitraje directo e inverso junto con unos costes de transacción totales del 0,40% sobre el valor del índice (C_T), aparecen unos precios teóricos (ecuaciones [8] y [9]) entre los cuales debería oscilar el precio real del contrato de futuro. Obsérvese que (gráfico 2), para el día escogido, la totalidad de las desviaciones en precios son explicadas por los costes de transacción, ya que el precio real del contrato de futuro está en todo momento comprendido entre los precios teóricos sin dar lugar a oportunidades de arbitraje.

En el gráfico 3 se recoge, para el mismo día, la base real y el coste e ingreso de transformación en puntos del índice IBEX-35. La base real aparece comprendida, para todos los casos, entre el coste y el ingreso de transformación, sin dar lugar a oportunidades de arbitraje.

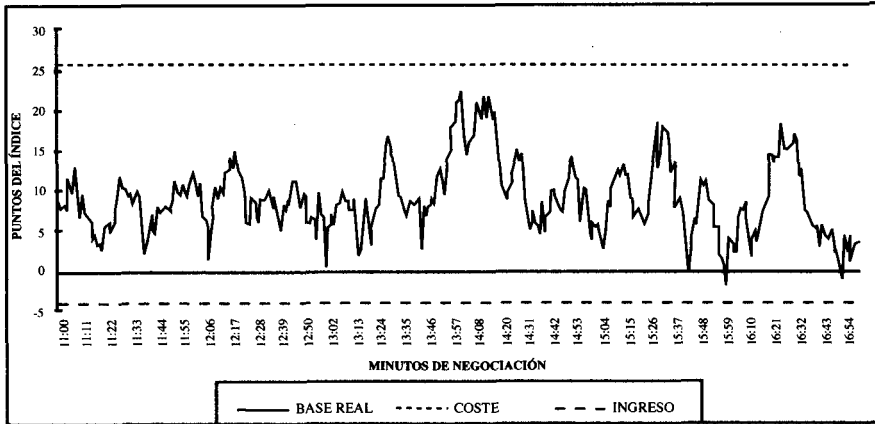
Gráfico 2: BANDA DE ARBITRAJE PARA EL CONTRATO DE FUTURO CON VENCIMIENTO MARZO 94 CALCULADA MINUTO A MINUTO DURANTE EL 1 DE MARZO DE 1994, TENIENDO EN CUENTA UNOS COSTES DE TRANSACCIÓN DEL 0.40%.



(12) La horquilla media del mercado de contado se ha obtenido a partir del estudio de la liquidez de los valores integrantes del Ibx-35 realizado por la Sociedad de Bolsas en el Informe Mensual de junio de 1994, teniendo en cuenta la contratación de las acciones que formaban parte del índice entre diciembre de 1993 y mayo de 1994.

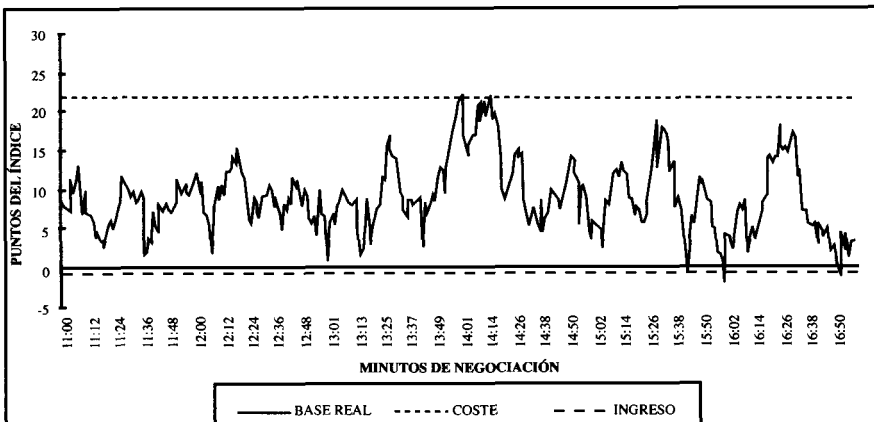
(13) No se han tenido en cuenta las comisiones del mercado de inversión/financiación, alrededor de 0,04 puntos básicos por importe y día, debido a su escaso peso relativo en el total de costes.

Gráfico 3: BASE REAL, COSTE E INGRESO DE TRANSFORMACIÓN DEL CONTRATO DE FUTURO DE VENCIMIENTO MARZO 94 CALCULADOS MINUTO A MINUTO DURANTE EL DÍA 1 DE MARZO CONSIDERANDO UNOS COSTES DE TRANSACCIÓN DEL 0,40%.



Los arbitrajistas que estén sujetos a costes de transacción inferiores (superiores) al 0,40% tendrán mayores (menores o nulas) oportunidades de arbitraje, pues su *ventana de no arbitraje* es más estrecha (ancha). En la figura 4 se presenta la base real durante el mismo día pero considerando unos costes del 0,30% sobre el valor del índice al contado.

Gráfico 4: BASE REAL, COSTE E INGRESO DE TRANSFORMACIÓN DEL CONTRATO DE FUTURO DE VENCIMIENTO MARZO 94 CALCULADOS MINUTO A MINUTO DURANTE EL DÍA 1 DE MARZO CONSIDERANDO UNOS COSTES DE TRANSACCIÓN DEL 0,30%.



3.2. Resultados

Las cotizaciones minuto a minuto estudiadas comprenden las cuatro últimas semanas de negociación de los contratos con vencimiento en marzo y abril de 1994 y las cinco últimas para el vencimiento de mayo del mismo año, que son las únicas con suficiente volumen y frecuencia de negociación para los contratos escogidos.

El Cuadro 1 resume la comparación entre el precio teórico sin costes de transacción (ecuación [7]) y el precio observado del contrato de futuro, distinguiendo *las desviaciones positivas y las desviaciones negativas*:

- en número D(+) y D(-), expresadas en minutos
- en cuantía d(+) y d(-), expresadas en porcentaje sobre el índice IBEX-35 al contado.

Las desviaciones detectadas indican un mayor número de infravaloraciones que de sobrevaloraciones para los tres vencimientos estudiados (57,93% frente a un 42,07%) y, respecto de las cuantías, éstas toman por término medio valores negativos en los tres contratos. La desviación media de las infravaloraciones es, en valor absoluto, superior a la desviación media de las sobrevaloraciones.

Estos resultados coinciden con los obtenidos por Pozo (1993) y Pardo (1994) al estudiar las desviaciones con cotizaciones de cierre, pero contrasta con los obtenidos por Caballero-Navales (1995) con datos cada hora para el periodo comprendido entre marzo y octubre de 1993. Estos autores encuentran un claro predominio de las desviaciones positivas frente a las negativas –supondría que dejan de realizarse mayor número de arbitrajes directos que de inversos, lo que no tiene lógica ante las dificultades en realizar los segundos– y señalan que su modelo de valoración es el causante de dicho predominio (*op. cit.*, pág. 17).

El mayor número de infravaloraciones, sin tener en cuenta los costes de transacción, también se detecta en los contratos de futuro sobre índice con mayor volumen de negociación mundial, y ha sido observada para el Standard & Poor's 500 [Cornell-French (1983a y 1983b)], para el FTSE-100 [Yadav-Pope (1990), Strickland y Xu (1992)] y para el índice Nikkei 225 (Brenner *et al.* (1990)).

Cuadro 1: NÚMERO Y CUANTÍA DE LAS SOBREVALORACIONES E INFRAVALORACIONES DETECTADAS MINUTO A MINUTO SIN INCORPORAR LOS COSTES DE TRANSACCIÓN DURANTE LOS DÍAS 21-2-94 - 20-5-94.

Vcto.	Número			Cuantía				
	Número	D(+)	D(-)	Máximo	Mínimo	Media	media d(+)	media d(-)
Marzo	6284	2882	3402	0,510	-0,956	-0,035	0,130	-0,174
Abril	6035	2947	3088	0,640	-0,668	-0,018	0,114	-0,145
Mayo	8340	2863	5477	1,304	-1,837	-0,100	0,163	-0,237
Total	20659	8692	11967	1,304	-1,837	-0,051	0,136	-0,185

Una vez obtenidas las desviaciones positivas y negativas se estudia si dichas desviaciones siguen un proceso de reversión a la media, es decir, si la variación en las desviaciones depende del nivel de la desviación del periodo anterior y tiene signo contrario. De esta forma si la última desviación es positiva (negativa) y el contrato de futuro está sobrevalorado (infravalorado), la variación de las desviaciones tenderá a ser negativa (positiva), con lo que la sobrevaloración (infravaloración) disminuirá¹⁴.

La reversión a la media de las desviaciones permite plantear la posibilidad de cancelar anticipadamente las operaciones de arbitraje en curso¹⁵ y además, tal y como indican Brennan-Schwartz (1990), pueden establecerse otras posiciones de arbitraje denominadas *risky arbitrage*, que consisten en tomar posiciones de arbitraje a pesar de que las diferencias entre el precio real y teórico no superen los costes de transacción, con la expectativa de cancelar la operación tan pronto como la desviación cambie de signo con respecto al signo de la desviación inicial y el beneficio de la estrategia de cancelación anticipada compense el total de los costes de transacción.

Para comprobar la reversión a la media de la serie de desviaciones de los tres vencimientos se ha utilizado el contraste de raíces unitarias de Dickey-Fuller Aumentado¹⁶:

$$\Delta D_t = \mu + \gamma \times D_{t-1} + \sum_{k=1}^3 b_k \times \Delta D_{t-k} + \varepsilon_t$$

$$H_0: \gamma = 0$$

$$H_1: \gamma < 0$$

donde D_t es la desviación del precio real con respecto al precio teórico, expresada en porcentaje sobre el índice IBEX-35 al contado y k es el número de retardos. La aceptación de la hipótesis nula implica la existencia de al menos una raíz unitaria, mientras que si se rechaza la hipótesis nula existe evidencia de que la serie D_t es estacionaria¹⁷ en niveles.

Los resultados del contraste se recogen en el Cuadro 2, donde se indica, para cada vencimiento estudiado, el valor del estadístico de Dickey-Fuller Aumentado (ADF) y el parámetro que acompaña a la variable explicada retardada un periodo.

(14) Este procedimiento ha sido utilizado entre otros por Yadav (1992) con datos cada quince minutos para el S&P 500 y con datos cada hora para el FT-SE 100 y por Caballero-Novales (1995) con datos cada hora para el IBEX-35.

(15) Interesa cancelar anticipadamente, es decir, deshacer las posiciones en el mercado de acciones y en el mercado de futuros antes del vencimiento del contrato de futuro siempre que la diferencia entre el precio real del contrato y el precio teórico sin costes cambie de signo con respecto al signo del arbitraje inicial y el valor de dicha desviación compense el impacto del mercado de futuros. Para un mayor detalle véase Merrick (1989).

(16) Dickey, D.A. y W. A. Fuller (1981).

(17) "Una serie estacionara se caracteriza por una media constante, que no varía con el tiempo; una varianza también constante y finita; una limitada memoria de su conducta pasada, con efectos transitorios de una perturbación aleatoria. Gráficamente serían series que tienden a volver a su media y cruzarla repetidamente, fluctuando a su alrededor con una amplitud relativamente constante.", Anchuelo (1993), pág. 152.

Cuadro 2: RESULTADOS DEL TEST DE RAÍCES UNITARIAS.

Vencimiento	ADF	γ
Marzo	-10,42003	-0,042432
Abril	-10,97172	-0,052435
Mayo	-10,41215	-0,037111

Para los tres vencimientos se rechaza la hipótesis de existencia de una raíz unitaria (el valor crítico para rechazar la hipótesis de raíz unitaria es de -3,4346 con 1% de probabilidad) y, por lo tanto, la serie de desviaciones es una serie estacionaria sin necesidad de tomar primeras diferencias y se puede concluir que las desviaciones D_t siguen un proceso de reversión a la media.

Las infravaloraciones o sobrevaloraciones observadas no implican necesariamente la existencia de *oportunidades de arbitraje* puesto que para detectar estas últimas, hay que tener en cuenta los costes de transacción. Por ello, se han obtenido los límites de *la ventana de no arbitraje* (ecuaciones [8] y [9]) para todos los minutos examinados y considerando un abanico de costes de transacción entre 0,35% y 0,45%, a la vista de lo expuesto anteriormente. Se ha comparado el precio real con esta ventana y se han constatado diversas oportunidades de arbitraje.

En el Anexo I se recoge la totalidad de oportunidades de arbitraje (expresadas en minutos) detectadas para cada una de las semanas en los vencimientos de marzo, abril y mayo de 1994, en función de los costes de transacción, incluyendo los volúmenes de transacciones del contrato de futuro de vencimiento más cercano (en número) y el de contado (en pesetas efectivas). Se observa que la mayor cantidad de oportunidades de arbitraje se centran en la tercera y segunda últimas semanas de negociación, coincidiendo con los máximos en la contratación de futuros en los vencimientos de marzo y mayo. El volumen de contratos negociados durante la última semana disminuye con respecto a la segunda en los tres vencimientos y dicha disminución viene acompañada de descensos en el número total de oportunidades de arbitraje. En el Cuadro 3 se recoge un resumen del Anexo I, indicando el número de minutos en los que se detectaron esas oportunidades y su cuantía, distinguiendo entre oportunidades de arbitraje directo e inverso para diferentes niveles de costes de transacción:

Se observa que:

- el número de oportunidades lógicamente disminuye a medida que aumentan los costes de transacción,
- el número de oportunidades de arbitraje inverso es superior al de oportunidades de arbitraje directo. Dado que el límite inferior calculado se refiere sólo a oportunidades de arbitraje inverso para algunos arbitrajistas (aquéllos que disponen de las acciones que componen el índice bursátil), el predominio de infravaloraciones que superan los costes de transacción indica la dificultad para que se eliminen con rapidez dichas oportunidades, es decir, para que el precio real vuelva a estar dentro de *la ventana de no arbitraje* (ecuación [10]) cuando se producen infravaloraciones.

Para el nivel del 0,40% se ha estudiado con mayor detenimiento las oportunidades de arbitraje señaladas en el Anexo I: en primer lugar, agrupando el número de las

Cuadro 3: NÚMERO DE OPORTUNIDADES DE ARBITRAJE DETECTADAS Y CUANTÍA DE LAS DESVIACIONES PARA DIFERENTES NIVELES DE COSTES DE TRANSACCIÓN DURANTE LOS DÍAS 21-2-94 - 20-5-94.

Costes %	Número de oportunidades					Cuantía Media
	En minutos			Porcentaje		
	Total	D(+)	D(-)	D(+)	D(-)	
0,00%	20659	8692	11967	42,07%	57,93%	-0,082
0,35%	1729	133	1596	7,69%	92,31%	-0,086
0,40%	1061	50	1011	4,71%	95,29%	-0,085
0,45%	688	20	668	2,91%	97,09%	-0,076

oportunidades de arbitraje en función del momento de la sesión en el que se detectan (Anexo II) y, en segundo lugar, obteniendo el número de minutos consecutivos en los que se mantiene la oportunidad de arbitraje (Anexo III), agrupándolas para cada una de las semanas de los vencimientos estudiados. Ambos Anexos se resumen en los Cuadros 4 y 5, respectivamente.

Nótese que en los Cuadros 1, 3 y 4 cada uno de los minutos en los que se detectan desviaciones no explicadas por los costes de transacción es señalado como una oportunidad de arbitraje distinta, mientras que en el Cuadro 5 estas oportunidades de arbitraje se agrupan teniendo en cuenta su duración en minutos.

Cuadro 4: MOMENTO DE LA SESIÓN EN EL QUE SE DETECTAN LAS OPORTUNIDADES DE ARBITRAJE CON UNOS COSTES DE TRANSACCIÓN DEL 0,40% (PERIODO 21-2-94 - 20-5-94).

Intervalo	Número de oportunidades			Porcentaje		
	Directo	Inverso	Total	Directo	Inverso	Total
11:00-11:59	33	263	296	3,11%	24,76%	27,87%
12:00-12:59	1	144	145	0,09%	13,56%	13,65%
13:00-13,59	8	148	156	0,75%	13,94%	14,69%
14:00-14,59	6	121	127	0,57%	11,40%	11,97%
15:00-15,59	0	138	138	0,00%	12,99%	12,99%
16:00-17:00	2	197	199	0,19%	18,55%	18,74%
Total	50	1011	1061	4,71%	95,29%	100,00%

Cuadro 5: CLASIFICACIÓN DE LAS OPORTUNIDADES DE ARBITRAJE EN FUNCIÓN DE SU DURACIÓN EN MINUTOS CON UNOS COSTES DE TRANSACCIÓN DEL 0,40% (PERIODO 21-2-94 - 20-5-94).

Duración	Número de oportunidades			Porcentaje		
	Directo	Inverso	Total	Directo	Inverso	Total
1	17	78	95	6,80%	31,20%	38,00%
2	4	40	44	1,60%	16,00%	17,60%
3	2	26	28	0,80%	10,40%	11,20%
4	2	20	22	0,80%	8,00%	8,80%
5	1	7	8	0,40%	2,80%	3,20%
6	1	13	14	0,40%	5,20%	5,60%
7	0	5	5	0,00%	2,00%	2,00%
8	0	6	6	0,00%	2,40%	2,40%
9	0	3	3	0,00%	1,20%	1,20%
Más de 9	0	25	25	0,00%	10,00%	10,00%

La mayoría de las oportunidades de arbitraje directo se detectan al principio de la sesión, mientras que las de arbitraje inverso al principio y al final de la misma. En el Cuadro 5 se advierte que las oportunidades de arbitraje directo tienen una duración inferior a 6 minutos y que los arbitrajistas disponen de una duración media de 2 minutos para aprovecharlas. Las oportunidades de arbitraje inverso se mantienen hasta más de nueve minutos y su duración media resulta de 6 minutos. Respecto a las oportunidades de arbitraje con mayor duración indicar que se detectan en las terceras últimas semanas de negociación.

4. FACTORES QUE DIFICULTAN LA REALIZACIÓN DE OPERACIONES DE ARBITRAJE EN EL MERCADO ESPAÑOL

El modelo de bandas recoge las fricciones del mercado pero no tiene en cuenta una serie de factores adicionales que dificultan la realización de arbitrajes en el mercado español. Las características de los mercados de contado y de futuro, así como la operatoria a crédito en España, provocan la aparición de unos costes o “barreras ocultas”, difíciles de cuantificar, que obstaculizan la realización del arbitraje.

4.1. *El elevado número de acciones que forman el IBEX-35*

La realización de un arbitraje implica comprar o vender en descubierto la totalidad de las 35 acciones que forman el índice y en la misma proporción. La compra o venta de las mismas puede llevar a unos costes de transacción que agoten el posible beneficio de arbitraje. Para evitar estos elevados costes de transacción es posible:

– Seleccionar un subconjunto de títulos del índice con el fin de intentar duplicar su comportamiento, lo que daría lugar a la aparición de un riesgo derivado del posible comportamiento diferencial de la subcartera de arbitraje utilizada con respecto a la cartera total del índice. Se trata pues de un riesgo de correlación que, de ser elevado, puede llevar a que la operación realizada esté más cerca de la especulación que del arbitraje.

– Utilizar cestas de valores al contado compuestas por las acciones que componen el índice. Estas cestas de valores son elaboradas por una entidad que adquiere los títulos que forman el índice en la misma proporción para posteriormente emitir títulos o “participaciones del índice” que se negocian en el mercado secundario. En este sentido, cabe señalar que el American Stock Exchange de New York y el Toronto Stock Exchange están negociando los SPDRs y los TIPs, acrónimos respectivos de Standard and Poor’s Depository Receipts y Toronto Index Participations Units¹⁸. Ambos son títulos representativos de cestas de acciones diseñadas para seguir los movimientos del índice y permiten a los arbitrajistas reducir considerablemente los costes de transacción de las operaciones de arbitraje.

4.2. Cambios en la composición del IBEX-35

El IBEX-35 está sujeto a revisiones ordinarias cada seis meses y a revisiones extraordinarias a petición del Gestor del Índice. La modificación en la composición de las acciones que componen el índice provoca cambios cuantitativos y cualitativos en las operaciones de arbitraje abiertas. La exclusión de acciones provoca la venta (compra) de las acciones en el arbitraje directo (inverso) mientras que la inclusión de acciones origina la compra (venta) de acciones en el arbitraje directo (inverso).

Además, la nueva composición del índice obliga a recalcular los precios teóricos del futuro teniendo en cuenta la nueva rentabilidad por dividendo. La nueva composición del índice y la nueva rentabilidad por dividendo pueden desaconsejar la continuidad de la operación de arbitraje, pudiéndose plantear, si la base real en ese momento lo permite, una cancelación anticipada de la misma.

4.3. Operatoria del mercado de venta a crédito

La normativa referente al sistema de crédito comprador y vendedor en operaciones bursátiles está recogida en la Orden de 25 de marzo de 1991. Para poder efectuar operaciones de venta a crédito se tienen que cumplir los siguientes requisitos: la orden de venta debe comprender un número mínimo de 500 títulos, los títulos deberán estar comprendidos entre los fijados para tal fin por la Sociedad Rectora de cada Bolsa, el acreditado debe aportar las garantías exigibles, que son del 35 % del importe de la operación y tiene que depositar también como garantía el importe de la venta realizada.

Esto tiene dos consecuencias para el arbitraje inverso que se plantea con la venta a crédito:

– imposibilidad de inversión del importe de la venta al tener que depositar ésta como garantía adicional;

(18) Véase “The Wall Street Journal Europe”, 13-14 de marzo de 1992, Futures & Options World, septiembre 1994 y Park-Switzer (1995).

– como las operaciones de arbitraje no requieren dotación de fondos, el hecho de tener que depositar garantías del 35 % del importe de la operación implica la disposición previa de efectivo, con lo que la operación de arbitraje no sería pura.

La eliminación o relajación de los requerimientos exigidos en cuanto a número de títulos y garantías daría más fluidez a las operaciones de arbitraje además de incrementar la liquidez de los títulos que componen el IBEX-35.

En este sentido cabe destacar el desarrollo de las operaciones de préstamo de valores pactados al margen del sistema bursátil de crédito¹⁹. Estas operaciones son concertadas, con carácter esporádico u ocasional, por inversores institucionales o entidades profesionales del sector financiero. En este tipo de operaciones las partes quedan en libertad absoluta para establecer los mecanismos adecuados para cifrar la cuantía y periodificación de las remuneraciones, el periodo de duración del préstamo, la posibilidad de prorrogar el contrato cuantas veces se estime conveniente y por el periodo que se desee, así como para determinar los sistemas de compensación de derechos económicos, y, por descontado, el volumen de la operación, no limitado en mínimo ni en máximo.

El préstamo de valores es la modalidad que permite el arbitraje entre acciones negociadas en dos o más plazas financieras o entre las acciones y sus productos derivados²⁰.

4.4. *Convergencia de la base a cero el día del vencimiento del contrato de futuro sobre IBEX-35*

El beneficio que obtiene el arbitrajista el día del vencimiento se corresponde con la diferencia entre la base real y el coste de transformación para el arbitraje directo y la diferencia entre el ingreso de transformación y la base real para el arbitraje inverso, siempre bajo el supuesto de convergencia de la base real a cero en el momento del vencimiento, es decir, coincidencia entre el precio de contado y futuro del índice bursátil (hipótesis previamente planteada en el punto dos).

Esta convergencia es difícil que se verifique con exactitud en el mercado español debido a que el precio de liquidación en la fecha de vencimiento del contrato de futuro se calcula como la media aritmética de los valores del IBEX-35 a contado tomados minuto a minuto de las 16:15 horas a las 16:45, mientras que el valor del índice al contado está obtenido a partir de los precios de las últimas negociaciones de acciones efectuadas en el mercado. La no convergencia de la base real en el momento del vencimiento provoca un *riesgo de base*, derivado de tener que deshacer posiciones en contado y futuro a precios dispares. Para hacer coincidir el precio de liquidación de la posición en contado con el precio de liquidación del futuro, y eliminar con ello este riesgo, hay que construir 30 cestas de acciones del IBEX-35 y liquidarlas minuto a

(19) Véase Orden del Ministerio de Economía y Hacienda del 25 de marzo de 1991 y la Instrucción Operativa n° 38/1992 de 18 de septiembre de 1992 de la Bolsa de Madrid.

(20) La contratación del préstamo de valores ha pasado de 122.325,7 a 576.957,9 millones de pesetas de 1993 a 1994 (Fuente: Informe Anual de 1994 de la CNMV). De igual forma el número de títulos con los que se puede operar bajo esta modalidad ha pasado de 31, el 15 de mayo de 1994, a 45, el 30 de septiembre de 1994, estando recogidos entre ellos todos los títulos que componen el Ibex-35. (Fuente: Información de Bolsa de Madrid).

minuto entre las 16:15 y las 16:45 el día del vencimiento, con el fin de que el precio medio resultante de esta operatoria se acerque lo más posible al precio de liquidación del futuro sobre IBEX-35.

Al deshacer las operaciones implicadas en el arbitraje en el momento del vencimiento del contrato de futuro se pueden provocar incrementos de la volatilidad en el mercado de contado el último día de negociación del contrato de futuro, ya que en dicho día se deshacen todas las operaciones de arbitraje realizadas para ese vencimiento. Para comprobar este efecto se ha distinguido los viernes con vencimiento de los viernes sin vencimiento en el periodo estudiado (nueve y tres, respectivamente) y se ha calculado las volatilidades observadas²¹ de las rentabilidades minuto a minuto durante la última hora de negociación, obteniendo que la volatilidad de los viernes con vencimiento es superior a la de los viernes sin vencimiento, siendo dicha diferencia estadísticamente significativa para niveles del 5% (Cuadro 6).

Además, se han estudiado las volatilidades registradas durante la penúltima y última hora de negociación para los vencimientos de marzo, abril y mayo de 1994 (Cuadro 7). En los tres vencimientos se acepta la significatividad de la diferencia de las volatilidades para niveles del 1%.

4.5. Prohibición de negociación de órdenes cesta en el mercado continuo

La Sociedad de Bolsas prohíbe la conexión al mercado continuo de programas que detecten las oportunidades de arbitraje y que permitan la introducción de órdenes en paquetes. Esta imposibilidad obliga al arbitrajista a la introducción de 35 órdenes diferentes con el fin de diseñar una cartera de arbitraje que replique perfectamente el

Cuadro 6: VOLATILIDAD DE LAS RENTABILIDADES MINUTO A MINUTO DEL IBEX-35 DURANTE LA ÚLTIMA HORA DE NEGOCIACIÓN DE LOS VIERNES CON VENCIMIENTO VS. VIERNES SIN VENCIMIENTO (PERIODO 21-2-94 - 20-5-94).

	Nº de minutos	Volatilidad
Viernes con vencimiento	540	0,055195%
Viernes sin vencimiento	180	0,047007%
F-test (*)	1,3786	
p-value	0,0112	

(*) El test de igualdad de varianzas (F-test) y el p-value corresponden al contraste de las varianzas, registradas durante la última hora de negociación, entre los viernes con vencimiento y los viernes sin vencimiento de contrato de futuro.

(21) La volatilidad se ha calculado como la desviación típica por cien de las rentabilidades obtenidas como logaritmos neperianos del cociente de los valores del Ibex-35 al contado de dos minutos consecutivos.

Cuadro 7: VOLATILIDAD REGISTRADA EN EL IBEX-35 DURANTE LAS DOS ÚLTIMAS HORAS DE NEGOCIACIÓN EL DÍA DEL VENCIMIENTO DEL CONTRATO.

Vencimiento	Última Hora	Penúltima hora	F-test
Marzo (18/3/94)	0.066411%	0.030647%	8.8064
Abril (15/4/94)	0.040281%	0.022379%	3.2398
Mayo (20/5/94)	0.037728%	0.026752%	1.9889

(*) El test de igualdad de varianzas (F-test) corresponden al contraste de las varianzas, registradas durante la penúltima y la última hora de negociación de los viernes con vencimiento.

IBEX-35, con lo que se deben soportar retardos en la negociación de los mercados de acciones que perjudican la fluidez que debe caracterizar al arbitraje y que puede recortar o anular el beneficio esperado.

5. CONCLUSIONES

En este artículo se ha desarrollado un modelo de valoración de contratos de futuro sobre índice bursátil que recoge los costes de transacción soportados al realizar una operación de arbitraje. El precio de mercado del contrato de futuro puede no coincidir con el precio teórico sin fricciones sin dar lugar a oportunidades de arbitraje cuando las desviaciones entre esos dos precios no compensan los costes de transacción. La inclusión de éstos en la valoración del contrato provoca la aparición de una banda dentro de la cual el precio de mercado puede oscilar sin dar lugar a oportunidades de capturar beneficio sin riesgo.

Las operaciones de arbitraje son operaciones en las que la agilidad y rapidez juegan un papel fundamental, siendo los arbitrajistas más activos aquéllos que tengan costes de transacción más bajos y, por tanto, *ventanas de no arbitraje* más estrechas, principalmente los Creadores de Mercado en el mercado de futuros sobre IBEX-35 y los Miembros de las Bolsas de Valores.

Del estudio realizado sobre las desviaciones del precio de mercado del contrato de futuro sobre IBEX-35 con respecto a su precio teórico, sin tener en cuenta los costes de transacción, se obtienen los siguientes resultados:

- Las desviaciones negativas son mayores que las positivas en cuanto a número y amplitud.

- Las infravaloraciones o sobrevaloraciones siguen un proceso de reversión a la media, con lo que es posible plantearse la cancelación anticipada de operaciones de arbitraje en curso, o el inicio de nuevas con la expectativa de cancelarlas tan pronto como la desviación cambie de signo con respecto al signo de la desviación inicial.

Al incorporar los costes de transacción que se soportan al realizar una operación de arbitraje se obtiene que:

- Las oportunidades de arbitraje inverso superan en frecuencia a las oportunidades del arbitraje directo. Las primeras se detectan al principio y al final de la sesión y

las segundas tan sólo al principio. Este hecho puede ser debido a que al comienzo de la sesión la horquilla de precios es más estrecha como consecuencia de la obtención del precio de apertura.

– La duración media es, igualmente, superior en los arbitrajes inversos, lo que indica que los operadores aprovechan con mayor rapidez las oportunidades de arbitraje directo.

– La mayor cantidad de desviaciones que superan los costes de transacción se centran en la tercera y segunda últimas semanas de negociación, mientras que en la última semana se registran escasas oportunidades.

Las operaciones de arbitraje se definen como operaciones exentas de riesgo, si bien hay que tener en cuenta que existen factores que dificultan su realización y que se consideran como barreras ocultas, que provocan la aparición de diversos riesgos y restricciones que afectan al arbitraje: el riesgo de correlación si se duplica el índice con una cesta de acciones y no con la totalidad de las acciones que lo componen; el riesgo de cambios en la composición del índice; el *riesgo de base* al tener que deshacer posiciones en contado y en futuro a precios distintos al vencimiento de los contratos; y el efecto de las posibles restricciones derivadas de la operatoria del mercado. El claro predominio del arbitraje inverso frente al directo en el mercado español de contratos de futuro sobre índice bursátil puede atribuirse, previsiblemente, a las barreras ocultas que dificultan la realización del primero.



Anexo I: NÚMERO DE OPORTUNIDADES DE ARBITRAJE (EXPRESADAS EN MINUTOS) DETECTADAS CADA UNA DE LAS SEMANAS PARA LOS VENCIMIENTOS DE MARZO, ABRIL Y MAYO DE 1994, EN FUNCIÓN DE LOS COSTES DE TRANSACCIÓN.

	5ª semana		4ª semana		3ª semana		2ª semana		1ª semana		TOTAL		SUMA
	directo	inverso	directo	inverso	directo	inverso	directo	inverso	directo	inverso	directo	inverso	TOTAL
MARZO													
0,35%			11	6	3	320	0	29	5	0	19	355	374
0,40%			3	1	3	237	0	12	3	0	9	250	259
0,45%			1	1	3	160	0	5	2	0	6	166	172
Vol.fut. (*)			263832		263293		366382		265393				
Vol.ctdo. (**)			138917,3		173220,74		113841,67		139452,67				
ABRIL	directo	inverso	directo	inverso	directo	inverso	directo	inverso	directo	inverso	directo	inverso	
0,35%			1	58	0	4	2	60	9	15	12	137	149
0,40%			0	26	0	0	1	23	2	3	3	52	55
0,45%			0	11	0	0	1	14	0	1	1	26	27
Vol.fut. (*)			367891		115090		272888		132884				
Vol.ctdo. (**)			138283,92		95501,75		165364,42		132038,88				
MAYO	directo	inverso	directo	inverso	directo	inverso	directo	inverso	directo	inverso	directo	inverso	
0,35%	0	299	0	75	1	562	7	168	94	0	102	1104	1206
0,40%	0	139	0	41	1	415	3	114	34	0	38	709	747
0,45%	0	71	0	23	0	297	3	85	10	0	13	476	489
Vol.fut. (*)	173025		169367		152833		363501		280571				
Vol.ctdo. (**)	131170,25		146263,2		116767,02		173926,92		173120,05				

(*) Volumen de contratos negociados en el mercado de futuros (en número).

(**) Volumen negociado en valores del IBEX-35 expresado en millones de pesetas, incluyendo operaciones bursátiles especiales y operaciones resultado de Ofertas Públicas de Adquisición y de Venta.

Anexo II: LOCALIZACIÓN DE LAS OPORTUNIDADES DE ARBITRAJE DURANTE LA SESIÓN BURSÁTIL PARA CADA UNO DE LOS VENCIMIENTOS CON UNOS COSTES DE TRANSACCIÓN DEL 0,40% SOBRE EL ÍNDICE BURSÁTIL.

	5ª semana		4ª semana		3ª semana		2ª semana		1ª semana		Total		
	directo	inverso	directo	inverso	directo	inverso	directo	inverso	directo	inverso	directo	inverso	Total
MARZO													
11:00-11:59			1	1	3	54		5	2		6	60	66
12:00-12:59						51					0	51	51
13:00-13:59						29		6			0	35	35
14:00-14:59						18			1		1	18	19
15:00-15:59						42					0	42	42
16:00-17:00			2			43		1			2	44	46
	5ª semana		4ª semana		3ª semana		2ª semana		1ª semana		Total		
	directo	inverso	directo	inverso	directo	inverso	directo	inverso	directo	inverso	directo	inverso	Total
ABRIL													
11:00-11:59				9			1	10	1		2	19	21
12:00-12:59											0	0	0
13:00-13:59				5						1	0	6	6
14:00-14:59				1					1		1	1	2
15:00-15:59				7				3		1	0	11	11
16:00-17:00				4				10		1	0	15	15
	5ª semana		4ª semana		3ª semana		2ª semana		1ª semana		Total		
	directo	inverso	directo	inverso	directo	inverso	directo	inverso	directo	inverso	directo	inverso	Total
MAYO													
11:00-11:59		33		34	1	61	2	56	22		25	184	209
12:00-12:59		10		1		53		29	1		1	93	94
13:00-13:59		47		2		54		4	8		8	107	115
14:00-14:59		13				79	1	10	3		4	102	106
15:00-15:59		12		1		59		13			0	85	85
16:00-17:00		24		3		109		2			0	138	138

Anexo III: DISTRIBUCIÓN DEL NÚMERO DE LAS OPORTUNIDADES DE ARBITRAJE DURANTE LA SESIÓN BURSÁTIL POR SU DURACIÓN EN MINUTOS (COSTES DE TRANSACCIÓN DEL 0,40% SOBRE EL ÍNDICE BURSÁTIL).

	5ª semana		4ª semana		3ª semana		2ª semana		1ª semana		Total		SUMA
	directo	inverso	directo	inverso	directo	inverso	directo	inverso	directo	inverso	directo	inverso	
MARZO													
1			1	1		12		2	1		2	15	17
2			1			5		1	1		2	6	8
3					1	5		1			1	6	7
4						2					0	2	2
5						2		1			0	3	3
6						5					0	5	5
7						3					0	3	3
8						2					0	2	2
9						1					0	1	1
Más de 9						7					0	7	7
	5ª semana		4ª semana		3ª semana		2ª semana		1ª semana		Total		
ABRIL	directo	inverso	directo	inverso	directo	inverso	directo	inverso	directo	inverso	directo	inverso	SUMA
1				3			1	4	2	3	3	10	13
2				2				5			0	7	7
3				1				1			0	2	2
4				4							0	4	4
5											0	0	0
6								1			0	1	1
7											0	0	0
8											0	0	0
9											0	0	0
Más de 9											0	0	0

Anexo III: DISTRIBUCIÓN DEL NÚMERO DE LAS OPORTUNIDADES DE ARBITRAJE DURANTE LA SESIÓN BURSÁTIL POR SU DURACIÓN EN MINUTOS (COSTES DE TRANSACCIÓN DEL 0,40% SOBRE EL ÍNDICE BURSÁTIL). (Continuación)

	5ª semana		4ª semana		3ª semana		2ª semana		1ª semana		Total		SUMA	
	directo	inverso	directo	inverso	directo	inverso	directo	inverso	directo	inverso	directo	inverso		
MAYO														
1		26		4	1	14	3	9		8		12	53	65
2		12		2		11		2	2			2	27	29
3		5		1		10		2	1			1	18	19
4		4		2		7		1	2			2	14	16
5		2		1		1			1			1	4	5
6		2				2		3	1			1	7	8
7		1				1						0	2	2
8				1		3						0	4	4
9				1				1				0	2	2
Más de 9		1				13		4				0	18	18

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anchuelo, A. (1993): "Series integradas y cointegradas: Una introducción", *Revista de Economía Aplicada*, Número I, vol. I, págs. 151-164.
- Bergés, A. y Soria, P. (1993): "Contratación continua en la nueva bolsa: La horquilla de precios de compra y venta", *Revista Española de Financiación y Contabilidad*, vol. XXI, págs. 925-943.
- Brennan, M. y Schwartz E. (1990): "Arbitrage in Stock Index Futures", *Journal of Business*, vol. 63, nº 1, págs. 8-31.
- Brenner, M.; Subrahmanyam, M. y Uno, J. (1989): "The behaviour prices in the Nikkei Spot and Futures Markets", *The Journal of Portfolio Management*, Vol. 23, págs. 51-57.
- Bricheux, B.; Guillaumot, C.; Kharroubi, T. y Werren, J. (1990): "Le contract CAC 40 du MATIF., 1er Colloque International AFIR, págs. 191-218.
- Caballero, J.M. y Novales, A (1995): "The Spanish Stock market futures contract: A first analysis", II Jornadas de Economía Financiera, Vol. I.
- Chung, P. (1991): "A transaction data test of stock index futures market efficiency and index arbitrage profitability", *The Journal of Finance*, vol. XLVI, nº 5, págs. 1791-1809
- Cornell, B. y French, K. (1983a): "The pricing of stock index futures", *The Journal of Futures Markets*, vol. 3, págs. 1-14.
- Cornell, B. y French, K. (1983b): "Taxes and the pricing of stock index futures", *Journal of Finance*, vol. 38, Nº3, págs. 675-694.
- Cox, J.C., J.E. Ingersoll y S.A. Ross (1981): "The relationship between forward prices and futures prices", *Journal of Financial Economics*, vol. 9, nº 4, December, págs. 321-346.
- Dickey, D.A. y W. A. Fuller (1981): "Likelihood ratio statistics for autoregressive time series with a unit root", *Econometrica*, nº 49, págs. 1057-1072.
- Figlewski, S. (1984): "Explaining the early discounts in Stock Index Futures. The case for disequilibrium", *Financial Analysts Journal*, julio-agosto, págs. 43-47.
- Kolb, R. (1990): "Understanding futures markets". Editorial New York Institute of Finance.
- Mackinlay, C. y Ramaswamy, K. (1988): "Index futures arbitrage and the behaviour of stock index futures prices", *Review of Financial Studies*, vol. 1, págs. 137-158.
- Maguire, F. (1994): "Little Gems", *Futures & Options World*, september.
- Meneu, V.; Jordá, M.P. y Barreira M.T. (1994): "Operaciones Financieras en el mercado español", 1ª Edición. Barcelona: Editorial Ariel.
- Merrick, J.Jr. (1989): "Early undwindings and rollovers of stock index futures arbitrage programs: analysis and implications for predicting expiration day effects", *The Journal of Futures Markets*, vol. 9, nº 2, págs. 101-111.
- Modest, D. (1984): "On the pricing of stock index futures", *The Journal of Portfolio Management*. págs. 51-57.
- Modest, D. y Sundaresan, M. (1983): "The relationship between spot and futures prices in Stock Index Futures Markets: some preliminary evidence", *The Journal of Futures Markets*, vol. 3, nº 1, págs. 15-41.
- Park, T.H. y Switzer, L.N. (1995): "Index Participation Units and the performance of index futures markets: evidence from the Toronto 35 Index participation units market", *The Journal of Futures Markets*, vol. 15, nº 2, págs. 187-200.
- Pardo, A. (1994): "Arbitraje con contratos de futuro sobre índice bursátil", Trabajo de Investigación del Departamento de Economía Financiera y Matemática de la Facultad de Ciencias EE. y EE. de la Universitat de València.
- Pozo, E.J. (1993): "Análisis de eficiencia en el mercado español de futuros sobre índices bursátiles: Una primera aproximación". 1er Foro de Finanzas . Sevilla 1993.
- Steiner, R. (1992): "Amex plans to introduce "spider" securities that track movements in S&P 500 stock index", *Wall Street Journal Europe*, march, 13-14.

- Strickland, C. y Xu, X. (1992): "Behaviour of the FTSE 100 Basis", Financial Options Research Center Working Paper, University of Warwick.
- Yadav, P.K. y Pope, P. (1990): "Stock index futures arbitrage: international evidence", *The Journal of Futures Markets*, vol. 10, nº 6, págs. 573-603.
- Yadav, P.K. (1992): "*Studies on stock index futures pricing: a UK perspective*", PhD Thesis, University of Strathclyde, UK.



REFERENCIAS LEGISLATIVAS Y NORMATIVAS

- Orden del Ministerio de Economía y Hacienda del 25 de marzo de 1991 sobre sistema de crédito de operaciones de contado.
- Instrucción operativa nº 38/1992 de 18 de septiembre de 1992 de la Bolsa de Madrid sobre comunicación de los préstamos de valores admitidos a negociación en la Bolsa de Madrid efectuados al margen del sistema de crédito.
- Circulares 17-18-19 del 23/12/93 del MEF Renta Variable sobre comisiones a aplicar en la tarifa general, creadores de mercado y operaciones por cuenta propia, respectivamente.
- Informe mensual de abril y junio de 1994 de la Sociedad de Bolsas.

Fecha de recepción del original: junio, 1995

Versión final: mayo, 1996

ABSTRACT

The differences between the theoretical and real prices of a futures contract may indicate whether it is overpriced or underpriced. If these deviations are not justified by transaction costs, index arbitrage opportunities will appear. In this paper we will price the IBEX-35 index futures contract in a frictionless market.

By relaxing the strong constraints of a frictionless market, we develop a band that is defined by the theoretical prices that would be obtained if a direct or reverse cash and carry index arbitrage were made. The width of this band would be dictated by the transaction costs of the most favorably situated arbitrageurs. After the *no arbitrage opportunities window* is obtained, we study the arbitrage opportunities using minute by minute data on the IBEX-35 index futures contract from 2-21-94 to 5-20-94.

Keywords: theoretical price, arbitrage, transaction costs, stock index.