

ESTRUCTURA TEMPORAL DE LOS TIPOS DE INTERÉS: TEORÍA Y EVIDENCIA EMPÍRICA*

Pilar Abad Romero

Universidad de Vigo

M^a Dolores Robles Fernández

Universidad Complutense de Madrid

Este trabajo revisa la literatura teórica y empírica sobre la estructura temporal de los tipos de interés (ETTI). Clasificamos los modelos teóricos en macroeconómicos, interesados en determinar la relación entre las variables de la economía y la ETTI, y financieros, que parten de la valoración por arbitraje en tiempo continuo. La literatura empírica se centra en contrastar la Hipótesis de las Expectativas (HE), y en analizar las primas por plazo. Los primeros generalmente rechazan algunas implicaciones de la HE, lo cual indica la existencia de primas variables. Estas primas se analizan en función del riesgo sobre la evolución futura de los tipos.

Palabras clave: estructura temporal de los tipos de interés, hipótesis de las expectativas, primas por plazo.

1. INTRODUCCIÓN

A diferencia del supuesto de partida de muchos modelos económicos, en la economía real podemos encontrar múltiples tipos de interés en base a los cuales los agentes toman sus decisiones de inversión y financiación. Es destacable la variedad de activos financieros existente, los cuales se

(*) Agradecemos los comentarios de J. L. Fernández-Serrano, R. Flores, A. Novales y de un evaluador anónimo. Este trabajo ha sido financiado en parte por la Universidad Complutense, a través del Proyecto de Investigación Complutense PR78/02-11045. Pilar Abad agradece la financiación conjunta del Ministerio de Ciencia y Tecnología y del Fondo Europeo de Desarrollo Regional, dentro del Plan Nacional de I+D (DGI CYT), a través del proyecto BEC2002-01995. M^a Dolores Robles agradece la financiación de Fundación Caja de Madrid.

diferencian por aspectos tales como el organismo emisor, el riesgo de impago, las provisiones de convertibilidad, el plazo de vencimiento, el tratamiento fiscal, etc. Sin embargo, las diferencias entre tipos de interés que comparten las mismas características y se generan en un mismo mercado se deben exclusivamente al diferente plazo de vencimiento asociado a cada uno de ellos. Esta relación se denomina Estructura Temporal de los Tipos de Interés (ETTI). Puesto que la ETTI no se observa directamente, salvo en mercados como el interbancario, el de Letras del Tesoro o el euromercado, se requiere un proceso previo de estimación, para el cual se suelen considerar instrumentos de deuda pública, pues en ellos el riesgo de impago es inexistente.

La ETTI constituye una herramienta muy útil para los agentes económicos en general y para los operadores y analistas de los mercados financieros en particular. Conocer su comportamiento es básico pues contiene información importante desde distintas perspectivas económicas. Desde un punto de vista macroeconómico el interés es inmediato. Mientras que las autoridades monetarias controlan los tipos a más corto plazo, las decisiones de ahorro e inversión de los agentes económicos dependen de los tipos a largo. Por ello, conocer los determinantes de la ETTI permite comprender el impacto de la política monetaria en la economía, así como sus mecanismos de transmisión. Desde el punto de vista de las finanzas, el análisis de la ETTI es de especial importancia ya que permite la valoración de gran cantidad de activos financieros, la evaluación del riesgo, así como el diseño de estrategias de cobertura.

Existe una abundante literatura dedicada al análisis de los determinantes de la ETTI, que dadas las distintas dimensiones anteriormente comentadas, se puede agrupar en dos bloques: los estudios que parten de un enfoque macroeconómico y los que lo hacen desde el punto de vista de las finanzas. La literatura macroeconómica se centra en la búsqueda de los determinantes de la ETTI en dos direcciones: (1) a través del análisis de las primas por plazo y su relación con el resto de variables de la economía y (2) a través del análisis de las relaciones entre los tipos de interés al contado y los tipos futuros. Generalmente el objetivo es contrastar las diferentes hipótesis teóricas establecidas sobre la ETTI: Expectativas, Hábitat Preferido, Preferencia por la Liquidez o Segmentación. La literatura financiera se interesa por llegar a fórmulas de valoración para los bonos a partir de las cuales determinar el comportamiento de la estructura temporal.

El objetivo de este trabajo es exponer los principales aspectos estudiados por la literatura existente sobre la ETTI. El número de trabajos sobre este tema es enorme, por lo que no se pretende explorar la literatura de forma meticulosa, sino mostrar los rasgos principales de los distintos enfoques. Se trata de mostrar las diferentes preguntas formuladas en la literatura, las diferentes perspectivas desde las cuales se ha tratado de dar respuestas y los resultados obtenidos en cada caso. Para ello, se hace hincapié en las diferencias existentes tanto entre los desarrollos teóricos que parten de distintos enfoques, como entre los modelos teóricos y el análisis empírico de la ETTI. De este modo, se ha diseñado una guía que sirva para enfocar futuros trabajos de investigación en este área.

Se pueden encontrar otros trabajos panorámicos de algunos de los aspectos aquí tratados. Por ejemplo, Vetzal (1994); Campbell, Lo y McKinlay (1997) o Moreno (2000) examinan distintos aspectos de la literatura teórica, centrándose en el enfoque financiero. En Shiller (1990) se realiza una revisión de los trabajos desarrollados bajo el enfoque macroeconómico, centrándose en la evidencia encontrada a través de análisis econométricos, mientras que Pagan, Hall y Martin (1996) muestran las conexiones entre ambos enfoques.

El resto del trabajo se estructura como sigue: En el apartado 2 se introducen algunos conceptos básicos sobre la ETTI. En el apartado 3 se describen brevemente los métodos habituales para su estimación. En el 4 se exponen las principales hipótesis o teorías desarrolladas para explicar el comportamiento de la ETTI. Se continúa en el apartado 5 con un breve repaso de los modelos teóricos de la estructura temporal, tanto macroeconómicos como financieros, mientras que en el 6 se revisa la literatura empírica, distinguiendo entre aquellos trabajos en los que se contrastan las teorías explicativas y los que analizan los determinantes de las primas por plazo. Por último, el apartado 7 resume los principales resultados y conclusiones.

2. CONCEPTOS BÁSICOS

Los activos que se aproximan más al objeto de la estructura temporal son los activos de renta fija, en particular aquéllos que se emiten al descuento (depósitos interbancarios y Letras del Tesoro). Estos activos, que se caracterizan por realizar un único pago en una fecha futura conocida, son denominados *bonos cupón cero*. Los elementos que componen el activo son el pago, conocido como valor nominal, la fecha en la que se realiza el mismo, denominada fecha de vencimiento, y el tiempo que queda para que llegue esa fecha, denominado plazo o madurez del bono.

Los instrumentos de deuda con plazos superiores al año prometen una corriente de pequeños pagos (cupones) en el futuro y un pago grande en la fecha de vencimiento (el último cupón más el nominal). Es posible considerar estos activos como carteras de bonos cupón cero. De todos modos, es necesario conocer los precios de los bonos cupón cero implícitos en estos activos para tener la estructura temporal completa, lo cual ha llevado al desarrollo de modelos y métodos para la estimación de la curva de tipos cupón cero, que se exponen en el siguiente apartado.

En lo que sigue, la exposición se centra en los instrumentos de deuda al descuento, aunque es posible modificar todas las definiciones siguientes para considerar activos que pagan cupón, tal como se muestra en Shiller (1990) o en Campbell, Lo y McKinlay (1997).

2.1. Curva de tipos de interés y estructura temporal

La curva de tipos es la relación, en un momento del tiempo dado, entre el rendimiento al vencimiento de los bonos al descuento y su madu-

rez, entendida ésta como el periodo de tiempo que queda para que venza el bono. Generalmente esta curva tiene pendiente creciente, es decir, los tipos a corto plazo son menores que los tipos a largo. Sin embargo se pueden encontrar curvas decrecientes (invertidas), planas y "jorobadas" ("jorobadas invertidas") con tipos a medio plazo mayores (menores) que los tipos a corto y a largo¹.

Se denota por $R_{t,1}, R_{t,2}, \dots, R_{t,n}$ a los *tipos de interés al contado o rendimientos* en t para los diferentes vencimientos², donde el primer subíndice indica el periodo en que comienza la inversión y el segundo el número de periodos que restan hasta el vencimiento, es decir, el plazo. Ese conjunto de tipos y sus relaciones constituye la estructura temporal de tipos de interés. Una manera simple de computar $R_{t,n}$ es tomar un bono cupón cero con plazo n periodos. Si denominamos $P_{t,n}$ el precio de tal bono (valor nominal = 1 unidad):

$$R_{t,n} = P_{t,n}^{-1/n} - 1 \quad (1)$$

El rendimiento bruto es $1 + R_{t,n}$. Equivalentemente a la expresión (1):

$$P_{t,n} = \frac{1}{(1 + R_{t,n})^n} \quad (2)$$

es decir, el tipo de interés al contado $R_{t,n}$ es la tasa a la que el mercado descuenta un pago que se realizará dentro de n periodos. El precio del bono a n periodos proporciona la *función de descuento*, que es el valor presente de una unidad de renta dentro de n periodos. Esta función, denotada por $D_{t,n}$, es tal que $0 \leq D_{t,n} \leq 1$.

Por otro lado, es posible determinar el rendimiento implícito en los tipos en t de una inversión realizada entre dos fechas futuras. Es el llamado tipo *forward* que se define como:

$$(1 + F_{t+n-s,t}^t)^s = \frac{(1 + R_{t,n})^n}{(1 + R_{t,n-s})^{n-s}} \quad (3)$$

Es el tipo implícito determinado en t de una inversión con plazo s periodos que comenzará en $t+n-s$. Por lo tanto, si se conocen todos los tipos al contado se pueden calcular todos los tipos *forward* a través de la expresión (3). Igualmente se pueden expresar los tipos al contado en función de los tipos implícitos:

$$(1 + R_{t,n})^n = (1 + F_{t,1}^t)(1 + F_{t+1,1}^t)(1 + F_{t+2,1}^t) \dots (1 + F_{t+n-1,1}^t) \quad (4)$$

(1) Algunos ejemplos de estos tipos de curvas para la economía española pueden encontrarse en Gómez y Novales (1997).

(2) El tipo de interés, $R_{t,n}$, es el tipo por periodo aplicable a un intervalo de n periodos. Si se considera como periodo el año, entonces $R_{t,n}$ será el tipo anual para una inversión que dura n años.

Nótese que $F_{t,1}^t = R_{t,1}$. Según las expresiones (2) y (4) la relación entre la función de descuento y los tipos *forward* es:

$$D_{n,t} = \frac{1}{(1+F_{t,1}^t)(1+F_{t+1,1}^t)(1+F_{t+2,1}^t)\dots(1+F_{t+n-1,1}^t)} \quad (5)$$

Por otro lado, se define el rendimiento del periodo de posesión (*Holding Return*), que se denota por $H_{t,s}^{t+s}(n)$, con $s \leq n$, como la rentabilidad en $t+s$ de un bono a n periodos que se emite en t y se vende en $t+s$:

$$[1+H_{t,s}^{t+s}(n)]^s = \frac{P_{t+s,n-s}}{P_{t,n}} = \frac{(1+R_{t,n})^n}{(1+R_{t+s,n-s})^{n-s}} \quad (6)$$

El rendimiento del periodo de posesión no es conocido con certeza en t , pues depende del precio del bono en $t+s$. De manera equivalente a lo que ocurre con los tipos *forward*, se puede escribir el tipo al contado a n periodos en función de los tipos del periodo de posesión a corto plazo futuros:

$$(1+R_{t,n})^n = [1+H_{t,1}^{t+1}(n)][1+H_{t+1,1}^{t+2}(n-1)][1+H_{t+2,1}^{t+3}(n-2)]\dots[1+H_{t+n-1,1}^{t+n}(1)] \quad (7)$$

Nótese que $H_{t+n-1,1}^{t+n}(1) = R_{t+n-1,1}$. También es posible expresar la función de descuento como una función del rendimiento del periodo de posesión.

Dadas estas relaciones, en el estudio de la ETTI se utilizan indistintamente tipos al contado, las funciones de descuento, los tipos *forward* o los rendimientos del periodo de posesión.

Generalmente, el análisis de la ETTI se realiza con tipos de interés compuestos en tiempo continuo. Esto simplifica el álgebra (las relaciones entre los tipos de interés pasan a ser aditivas) y evita problemas derivados de la desigualdad de Jensen³. Los tipos de interés compuestos en tiempo continuo se calculan como el logaritmo natural del rendimiento bruto:

$$r_{t,n} = \ln(1+R_{t,n}) \quad (8)$$

Del mismo modo se puede definir la función de descuento, el tipo *forward* y el rendimiento del periodo de posesión en tiempo continuo de la siguiente manera:

Función de descuento: $d_{t,n} = e^{-nr_{t,n}}$

Tipo *forward*: $f_{t,s}^{t+s} = \frac{n}{s} r_{t,n} - \frac{(n-s)}{s} r_{t+n-s,n-s}$

Rendimiento del periodo de posesión: $h_{t,s}^{t+s}(n) = \frac{n}{s} r_{t,n} - \frac{(n-s)}{s} r_{t+n-s,n-s}$

El hecho de trabajar con tipos en tiempo continuo tiene la ventaja adicional de que éstos tienen una relación directa con el logaritmo del precio del bono cupón cero. De la expresión (2) se tiene que $\ln P_{t,n} = -nr_{t,n}$, lo cual implica que una variación de un punto porcentual en tipo al contado induce

(3) Este problema tiene que ver con las teorías explicativas de la ETTI, por lo que se trata con más detalle en el apartado 4.

a una disminución en el precio de \underline{n} puntos porcentuales. Por tanto, el plazo de vencimiento mide la elasticidad del precio respecto al tipo al contado.

2.2. Primas por plazo

Como ya se indicó anteriormente, el análisis de la ETTI se puede enfocar a través de la relación entre los tipos al contado y los tipos implícitos, o bien a través del análisis de las primas por plazo. Éstas, en caso de haberlas, son la diferencia en la remuneración de estrategias de inversión equivalentes que sólo se diferencian en el plazo de los activos que las componen. En este sentido es posible definir tres tipos de primas por plazo:

(1) Prima *forward*: es la diferencia entre el rendimiento esperado de la inversión en un bono al descuento de plazo \underline{n} en \underline{t} y el rendimiento esperado de la inversión sucesiva en dos bonos al descuento: uno en \underline{t} de plazo $\underline{n-s}$ y otro en $\underline{t+n-s}$ de plazo \underline{s} :

$$\pi_{t,s}^f = nr_{t,n} - (n-s)r_{t,n-s} - sE_t(r_{t+n-s,s}) = s[f_{t+n-s,s} - E_t(r_{t+n-s,s})] \quad (9)$$

(2) Prima *de reinversión*: es la diferencia entre el rendimiento de la inversión en un bono al descuento de plazo \underline{n} en \underline{t} y el rendimiento esperado de la reinversión sucesiva en \underline{k} bonos de plazo \underline{m} ($\underline{km} = \underline{n}$):

$$\pi_{t,n}^r = nr_{t,n} - E_t(m \sum_{i=0}^{k-1} r_{t+im,m}) \text{ con } km=n \quad (10)$$

(3) Prima *del periodo de posesión*: es la diferencia entre el rendimiento esperado de la posesión de un bono a plazo \underline{n} durante \underline{s} periodos ($\underline{s} \leq \underline{n}$) y el tipo al contado para un bono a \underline{s} periodos.

$$\pi_{t,s}^{PP} = s(E_t[h_{t,s}^{t+s}(n)] - r_{t,s}) \quad (11)$$

En las tres expresiones $E_t(\cdot)$ indica la esperanza condicionada al conjunto de información disponible en \underline{t} . Como puede verse, la prima *forward* no es más que un caso particular de la prima de reinversión. Para $\underline{k}=\underline{2}$ ambas son la misma. Para que coincidan también con la prima del periodo de posesión es necesario un supuesto acerca de la racionalidad de las expectativas⁴, es decir:

$$nr_{t,n} = sE_t[h_{t,s}^{t+s}(n)] + (n-s)E_t(r_{t+s,n-s}), \quad s=1, 2, \dots, n-1 \quad (12)$$

La igualdad de las primas se debe a que se están considerando tipos de interés en tiempo continuo⁵, lo cual justifica que sean los utilizados

(4) Véase Freixas (1992).

(5) Dado que la relación entre los tipos continuos es aditiva no aparecen covarianzas entre los tipos en la definición de las primas que sí habría que tener en cuenta en tiempo discreto. En este caso la definición de las primas ya no es equivalente y no existen criterios que permitan elegir una frente a las demás. Sin embargo, Fama (1984b) ha puesto de manifiesto que, para plazos cortos, las diferencias entre los tipos simples y los tipos continuos son muy pequeñas, lo cual hace que la elección de una u otra definición de la prima no sea relevante.

para el análisis de la ETTI, siendo la prima *forward* la que se ha venido empleando con más frecuencia.

3. MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE LA ETTI

Como se ha comentado, la ETTI no se observa directamente. Salvo en el caso de los activos cupón cero o al descuento, la estructura temporal debe ser estimada. Las diferentes aproximaciones a este problema han generado diferentes métodos de estimación de la ETTI. Por lo general, el instrumento financiero para el que se pretende obtener la estructura temporal condiciona la elección del método a utilizar. Por tanto, el objetivo, en este apartado, es resumir brevemente los métodos alternativos de estimación de la ETTI más frecuentemente utilizados. Se ofrece una visión panorámica de los mismos con sus restricciones y sus ventajas. Un análisis comparativo de los resultados obtenidos por los diferentes métodos de estimación de la ETTI, aplicados en el mercado español de deuda pública, puede verse en Núñez (1995).

La mayor parte de las aplicaciones de estos métodos se han efectuado en los mercados de bonos de deuda pública. Esto es así porque se trata de un instrumento que cumple los requisitos de homogeneidad de riesgo crediticio y grado de liquidez que debe exigirse a los instrumentos utilizados para obtener la ETTI. Como es bien sabido, excepto en los plazos inferiores al año, los bonos que se comercializan en el mercado pagan cupones. La información disponible es el precio del bono, junto con su cupón y su plazo. Así, el precio en t de un bono con una unidad monetaria de nominal, con cupón periódico c , y con vida de m periodos enteros hasta el vencimiento, se define como:

$$P_{t,m} = \sum_{i=1}^{m-1} \frac{c}{(1+R_{t,i})^i} + \frac{1+c}{(1+R_{t,m})^m} \quad (13)$$

donde $R_{t,i}$ es el tipo de interés al contado a plazo i o la tasa de rendimiento de un bono cupón cero con plazo i . El conjunto de los tipos al contado para cada plazo forma la ETTI.

Habitualmente, los métodos para la estimación de la ETTI se agrupan en dos grandes bloques, según impliquen estimaciones econométricas o no. Inicialmente se desarrollaron los conocidos como *métodos no econométricos*. Se caracterizan, como su propio nombre indica, por no requerir procesos de estimación econométrica para obtener los tipos al contado. Su principal inconveniente es que generan una estructura temporal discreta, aunque puede ser transformada en continua mediante métodos de interpolación.

Dentro del primer bloque, *el método recursivo o bootstrapping* requiere para su aplicación que se disponga de igual número de bonos que de fechas de pago, que éstas sean las mismas para todos ellos y, además, que cada fecha de pago coincida con el día de vencimiento de algún bono. Los tipos al contado de la ETTI se obtienen de forma recursiva a partir de un sistema de k ecuaciones –una ecuación de precio para cada bono

[expresión (13)]-, con k incógnitas –los tipos al contado para k plazos consecutivos. Este método no resulta recomendable en los mercados de deuda pública, puesto que el número de referencias vivas generalmente no satisface las exigencias anteriores⁶. Para una discusión sobre los problemas de este método, véase Caks (1977). Sin embargo, este método resulta muy adecuado y sencillo de aplicar en la estimación de la ETTI a partir de las cotizaciones de la rama fija de los *swaps* de tipos de interés⁷.

Un procedimiento habitualmente utilizado por su sencillez es la obtención de la ETTI aproximando los tipos al contado por la tasa interna de rendimiento de un bono del mismo plazo. La tasa interna de rendimiento (TIR) se define como el tipo de interés constante en el tiempo al que se descuenta la corriente de pagos del bono para obtener su precio. Sustituyendo en la expresión (13),

$$P_{t,m} = \sum_{i=1}^{m-1} \frac{c}{(1+TIR)^i} + \frac{1+c}{(1+TIR)^m} \quad (14)$$

El principal inconveniente de este método es el sesgo que se comete al aproximar la curva de rentabilidades internas del mercado a la curva cupón cero. Una explicación más exhaustiva de los problemas de este método puede encontrarse en Buse (1970).

Adicionalmente, los tipos al contado de la ETTI también pueden obtenerse a partir de los tipos *forward* que se negocian en los mercados de FRAs (*Forward Rate Agreement*). Sin embargo, este método sólo es adecuado para la estimación de la ETTI a corto plazo, ya que en este mercado sólo se cotizan tipos *forward*, $f_{t+n,m}$, para valores reducidos de m y n . Este método también puede ser aplicado a otros futuros sobre tipos de interés a corto plazo que cotizan a fechas más prolongadas.

El segundo bloque incluye los *métodos que estiman la función de descuento*, bien directamente o bien restringiendo la misma a una cierta forma funcional. Su principal ventaja es que generan una ETTI continua. A partir de los precios y las estructuras de pagos de los bonos comercializados en el mercado, junto con la ecuación de precios, se estiman las funciones de descuento para los distintos plazos. Una restricción de estos modelos es que los grados de libertad deben ser positivos, es decir, que el número de activos disponibles debe ser superior al número de parámetros que se van a estimar. La función de descuento tiene una serie de propiedades que estos modelos deben presentar: monótona decreciente

(6) Para evitar este problema se han desarrollado métodos que generan bonos a la par para cada uno de los plazos, a partir de ajustes de regresión de las TIR de los bonos efectivamente cotizados sobre los plazos. A partir de estos bonos ficticios, los tipos al contado se obtienen aplicando el método recursivo. Sin embargo, los problemas de estos métodos con escaso fundamento teórico son numerosos (en Bierwag, 1987 se ponen de manifiesto algunos de estos problemas).

(7) De esta forma se obtiene la ETTI de *swaps* de tipos de interés en Lamothe, Soler y Leber (1995) y Abad (2003a).

y acotada entre cero y uno. Por otra parte, los tipos *forward*, además de ser siempre positivos, deben presentar un comportamiento asintótico en el largo plazo, dado que es lógico suponer que a partir de un determinado vencimiento las expectativas sobre los tipos de interés tiendan a no variar significativamente.

Los trabajos pioneros de McCulloch (1971, 1975b) imponen que los precios deben variar suavemente respecto al plazo. Para conseguirlo se aproxima la función de descuento mediante *splines* de orden cúbico o cuadrático⁸. Estas aproximaciones son suficientemente flexibles como para captar las diferentes formas funcionales, y son muy sencillas al permitir estimaciones lineales. Sin embargo, tienen dos propiedades poco deseables: en la práctica, generan formas poco suaves para los plazos más largos, y no aseguran que los tipos *forward* sean positivos para todos los plazos. Vasicek y Fong (1982) intentan solucionar este problema utilizando *splines* exponenciales, pero, como muestra Shea (1984), en la práctica no está claro que las aproximaciones exponenciales ofrezcan soluciones superiores a las polinómicas. El problema que plantea este modelo es que se desconocen las funciones concretas empleadas por estos autores en sus estudio. Por ello, Contreras y Navarro (1993)⁹ siguiendo la metodología de estos autores proponen un modelo cuya función de descuento cumple las propiedades mencionadas.

Algunos autores imponen restricciones en la pendiente de la curva cupón cero. Nelson y Siegel (1987) suponen que el tipo *forward* converge asintóticamente a cierto nivel, donde tanto el nivel como la tasa de convergencia son parámetros a estimar. Bajo este supuesto, el tipo *forward* instantáneo es la solución de una ecuación diferencial de segundo orden a partir de la cual se obtiene el tipo contado y la función de descuento. La ecuación de precios de los bonos resultante no es lineal, por lo que su estimación se realiza por máxima verosimilitud, por mínimos cuadrados no lineales, o por otros métodos similares. Por último, en el trabajo de Svensson (1994) se añade al método de Nelson y Siegel (1987) un término adicional que permite mayor flexibilidad en la estructura temporal de los tipos *forward*.

Finalmente, ha de destacarse que no existe acuerdo en la literatura sobre qué método de estimación de la ETTI debe utilizarse en los mercados de deuda pública. Núñez (1995) concluye que los métodos más adecuados en el mercado de Deuda Pública español son los propuestos por Nelson y Siegel (1987) o por Svensson (1994) porque proporcionan estructuras temporales flexibles y suaves. Posteriormente, en Núñez (1997) se

(8) Las aproximaciones mediante *spline* son aproximaciones polinómicas donde se permite que los parámetros tomen diferentes valores en los distintos intervalos en los que se divide el espectro temporal, a la vez que se impone la igualdad de valores de los polinomios en los extremos de dos intervalos sucesivos.

(9) Contreras y Navarro (1993) y Contreras, Ferrer, Navarro y Nave (1996) adaptan el modelo de Vasicek y Fong (1982) al Mercado de Deuda Pública Anotada español.

concluye que, por el mismo motivo, el método de Svensson (1994) es más adecuado que el método recursivo en el mercado de swaps de tipos de interés en varias divisas. A pesar de ello, estos métodos tienen dos importantes limitaciones: (1) la obtención previa de los datos necesarios para proceder a la estimación es laboriosa y costosa, y (2) como han argumentado algunos autores, si bien estos métodos proporcionan funciones de descuento con buenas propiedades matemáticas, sus curvas cupón cero pueden estar alisadas de forma artificial¹⁰. Más recientemente, Morini y Calatayud (1999), que comparan las cualidades de las curvas de descuento y de los tipos forward que se obtienen tras ajustar las funciones más comúnmente utilizadas, muestran que únicamente la función de descuento del modelo de Contreras y Navarro (1993) cumple los requisitos anteriormente mencionados, mientras que los modelos de Nelson y Siegel (1987) y Svensson (1994), entre otros, las incumplen o necesitan condiciones adicionales para cumplirlas.

4. HIPÓTESIS EXPLICATIVAS DE LA ETTI

Tradicionalmente se han considerado dos hipótesis o teorías básicas para explicar la estructura temporal de los tipos de interés: la Hipótesis de las Expectativas y la Hipótesis del Hábitat Preferido, en sus diferentes versiones.

La evolución futura de los tipos de interés es incierta, de modo que en un momento del tiempo sólo se tiene certeza sobre el rendimiento al vencimiento de los bonos, lo cual determina el denominado *riesgo de mercado*. Un agente queda expuesto al mismo cuando ha de vender o comprar deuda en un periodo futuro, pues los precios a los que podrá realizar sus operaciones responderán a funciones de descuento diferentes de las actuales. Este riesgo será tanto mayor cuanto mayor sea el nivel de incertidumbre o volatilidad del mercado. Por ello, los agentes se caracterizan por su grado de *aversión al riesgo*, su *hábitat preferido* o periodo en el que disponen o precisan de fondos (según presten o pidan prestado) y sus *expectativas* sobre la evolución futura de los tipos de interés. Si los participantes hacen coincidir el plazo de sus inversiones con su hábitat evitan el riesgo de mercado, mientras que, en otro caso, quedan expuestos a él.

4.1. Hipótesis de las expectativas

Esta hipótesis parte del supuesto de que los agentes son neutrales al riesgo, por lo que elegirán entre las diferentes estrategias de inversión sólo según sea la rentabilidad esperada de cada una de ellas¹¹. Por tanto,

(10) Lamothe y Soler (1996) indican que el alisado puede, en algunos casos, diluir las cotizaciones de instrumentos reales, disminuyendo significativamente la sensibilidad de la curva a los movimientos de mercado.

(11) Es posible derivar la Hipótesis de las Expectativas a partir de supuestos distintos de la neutralidad al riesgo (Cox, Ingersoll y Ross, 1981).

son las expectativas las únicas variables que juegan un papel importante en la determinación de la ETTI. Los fundamentos de esta teoría se encuentran en Fisher (1930), Hicks (1946) y Lutz (1940). Existen varias versiones de ella: Hipótesis de las Expectativas Puras o Insesgadas e Hipótesis de las Expectativas Locales o de la Rentabilidad al Vencimiento.

La Hipótesis de las Expectativas Insesgadas postula que los tipos de interés se moverán para igualar la rentabilidad esperada de estrategias de inversión equivalentes, independientemente del plazo de los bonos de cada una de ellas. Esto implica que bajo esta hipótesis las primas por plazo deben ser cero. Partiendo de la definición de la prima *forward* (expresión [9]) esta hipótesis implica que:

$$E_t(r_{t+n-s,s}) = f_{t+n-s,s} \tag{15}$$

es decir, el tipo *forward* es un predictor insesgado del tipo al contado.

Es posible expresar esta teoría a partir de las demás definiciones de la prima. Partiendo de la prima de reinversión (expresión [10]) y tomando $m=1$, sin pérdida de generalidad, se tiene:

$$nr_{t,n} = r_{t,1} + \sum_{i=1}^{n-1} E_t(r_{t+i,1}) \tag{16}$$

es decir, el tipo a largo plazo es una suma ponderada de los tipos de interés esperados a corto plazo.

Si se parte de la prima del periodo de posesión (expresión [11]), la Hipótesis de las Expectativas implica que el rendimiento esperado para un determinado periodo es el mismo independientemente del plazo de inversión:

$$r_{t,s} = E_t[h_{t,s}^{t+s}(n)] \quad \forall n > s \tag{17}$$

Esta versión es la denominada Hipótesis de las Expectativas Locales. Sin embargo, debido a la desigualdad de Jensen¹² esta formulación de la teoría entra en conflicto con la versión recogida en (16) si no se especifica el plazo de inversión para el que se cumple.

Cox, Ingersoll y Ross (1981) mostraron que sólo la Hipótesis de las Expectativas Locales es consistente con un modelo de equilibrio general

(12) Partiendo de los tipos compuestos en tiempo discreto esta teoría implica que el tipo de interés a un periodo esperado cumple que :

$$(1+R_{t,1}) = (1+R_{t,n})^n E_t\left(\frac{1}{(1+R_{t+1,n-1})^{n-1}}\right) \tag{A}$$

También implica que el tipo a largo plazo se puede descomponer de la siguiente manera:

$$(1+R_{t,n})^n = (1+R_{t,1}) E_t[(1+R_{t+1,n-1})^{n-1}] \tag{B}$$

Por la desigualdad de Jensen las expresiones [A] y [B] son incompatibles.

en tiempo continuo, ya que las otras versiones permiten oportunidades de arbitraje. Campbell (1986a) matiza este resultado demostrando que en periodos en los que la volatilidad es baja las diferencias entre las diferentes versiones de la teoría son de segundo orden.

4.2. Hipótesis del Hábitat Preferido (*Expectativas Modificadas*)

Esta teoría surge con el trabajo de Modigliani y Sutch (1966). Se supone que los individuos son adversos al riesgo, por lo que sólo estarán dispuestos a no hacer coincidir el horizonte de sus inversiones con su hábitat a cambio de una compensación: la prima por plazo. Ésta puede ser de cualquier signo, dependiendo de los hábitats preferidos de los oferentes y los demandantes. Si existe un exceso de oferta de los activos de un determinado plazo los oferentes estarán dispuestos a ofrecer una prima positiva para compensar el riesgo que supone para los inversores salirse de su hábitat. Si, por el contrario, existe un exceso de demanda, estos inversores estarán dispuestos a aceptar una menor rentabilidad para compensar a los oferentes que renuncian a su hábitat.

En la formación de los distintos tipos de interés del mercado participan no sólo las expectativas que forman los individuos, como en la teoría anterior, sino que es determinante el hábitat que prefieren. En este caso el tipo de interés *forward* no es un predictor insesgado del tipo al contado, pudiendo ser el sesgo (la prima por plazo) de cualquier signo, es decir, $\pi_{t,s}^f \neq 0$.

Longstaff (1990) muestra que la Hipótesis de las Expectativas es compatible con la existencia de primas variables si el periodo en el que se supone que la teoría se cumple no coincide con el periodo en el que se miden los precios de los bonos. Por ello, algunos autores consideran a la Hipótesis del Hábitat Preferido como una versión modificada de la Hipótesis de las Expectativas.

La Hipótesis del Hábitat Preferido engloba como casos particulares a la Hipótesis de la Preferencia por la Liquidez y a la Hipótesis de la Segmentación. La Hipótesis de la Preferencia por la Liquidez se debe a Hicks (1946). Según ella, los inversores prefieren el corto plazo y sólo invertirán en plazos más largos a cambio de una prima. Ésta será mayor cuanto mayor sea el plazo de vencimiento de los bonos. Como consecuencia $\pi_{t,s}^f > 0$ con $\partial \pi_{t,s}^f / \partial s > 0$, es decir, el tipo *forward* es un predictor sesgado del tipo al contado, siendo el sesgo siempre positivo y creciente con el plazo. Campbell, Lo y McKinlay (1997) distinguen entre la Hipótesis de las Expectativas Puras y la Hipótesis de las Expectativas Modificada en la que incluyen la posibilidad de que existan primas por plazo constantes. En este sentido, consideran la Hipótesis de la Preferencia por la Liquidez dentro de las Expectativas Modificadas. Esta distinción se puede encontrar también en Mankiw y Summers (1984) o Jones y Roley (1983).

Por último, la Hipótesis de la Segmentación (Culberston, 1957) considera individuos con total aversión al riesgo, que no están dispuestos a invertir fuera de su hábitat. Esto supone que no existe un mercado global de bonos sino que el rendimiento de los mismos se determina en merca-

dos independientes para cada plazo. Esta teoría es la que ha recibido menos atención, pues la evidencia empírica muestra que los agentes están dispuestos a cambiar el plazo de sus inversiones por una prima suficientemente grande.

5. MODELOS TEÓRICOS PARA LA ETTI

Los modelos teóricos son modelos generales econométricos que tratan de estimar patrones de comportamiento en las curvas de tipos de interés de forma que su comportamiento pueda ser previsible. Es posible distinguir varios enfoques según el ámbito de la economía del que parte el análisis: macroeconómico o financiero. El enfoque macroeconómico examina la ETTI a través de modelos de equilibrio general con objeto de encontrar la relación existente entre las primas y el resto de variables de la economía. Singleton (1989) revisa los primeros trabajos en esta línea. El análisis desde el punto de vista financiero parte de relaciones de no arbitraje con las que se llega a fórmulas para la valoración de activos. En general se parte de modelos en tiempo continuo. Melino (1988), Vetzal (1994) o, más recientemente, Moreno (2000) revisan las principales aportaciones en este área. También en Pagan, Hall y Martin (1996) o Campbell, Lo y McKinlay (1997) se encuentran excelentes revisiones de los trabajos correspondientes a ambos enfoques.

5.1. Enfoque macroeconómico

Entre los estudios desarrollados destacan los trabajos de Campbell (1986b), Backus, Gregory y Zin (1989), Saylor (1990), Costantinides (1992), Boudoukh (1993) o Backus y Gregory (1993). En general, parten de la maximización intertemporal de la utilidad esperada de un agente representativo:

$$\max_{\{C\}} E_t \sum_{s=0}^{\infty} \beta^s U(C_{t+s}) \quad (18)$$

donde β es el factor de descuento, que se supone generalmente constante, $U(\cdot)$ es la función de utilidad y C_{t+s} es el consumo del periodo $t+s$. Si se denota por v_t al valor de la cartera óptima de activos en términos del bien de consumo, la condición de primer orden o ecuación de Euler es:

$$E_t \left[\left(\frac{v_{t+s}}{v_t} \right) \beta^s \frac{U'(C_{t+s})}{U'(C_t)} \right] = 1 \quad (19)$$

A partir de esta ecuación es posible obtener los precios de los bonos cupón cero para cualquier plazo. Si el nivel de precios es fijo y con la restricción de que el valor nominal de los bonos es una unidad del bien de consumo, se tiene:

$$P_{t,s} = E_t [\beta^s U'(C_{t+s}) / U'(C_t)] = E_t m_{t+s} \quad (20)$$

donde m_{t+s} es la *relación marginal de sustitución intertemporal*, también denominado *factor de descuento estocástico* (para más detalles véase Campbell, Lo y McKinlay, 1997).

Este enfoque permite una mejor comprensión de los determinantes de la prima y proporciona una base para relacionar los cambios en las variables de la economía con la ETTI.

Sin embargo, para obtener el equilibrio es necesario hacer supuestos concretos sobre las preferencias, las dotaciones, etc. Adicionalmente, su desarrollo se suele hacer en términos reales y se requieren supuestos muy restrictivos sobre la inflación para garantizar su consistencia en términos nominales. Este hecho dificulta su contrastación empírica que, además, sufre los mismos problemas que la aplicación empírica de los modelos de valoración de activos intertemporales como el CCAPM (*Consumption Capital Asset Pricing Model*). A este respecto, Backus, Gregory y Zin (1989) y Salyer (1990) comparan las propiedades de los precios de los bonos cupón cero y los generados por una versión monetaria del modelo de Mehra y Prescott (1985). Sus resultados indican que el modelo no puede explicar la magnitud ni el signo ni la variabilidad de las primas.

Domínguez (1995) señala que la sencillez de los modelos de partida puede ser la causa de que no puedan replicar el comportamiento de la ETTI. Muestra cómo una vez que se incluye en la economía un sector productivo, el gobierno, el dinero, así como varias fuentes de incertidumbre, es posible reproducir gran parte de las regularidades empíricas de la ETTI, aunque a costa de una mayor dificultad a la hora de resolver el modelo.

5.2. Enfoque financiero

El análisis de la ETTI por parte de la economía financiera surge de la teoría de valoración de activos en tiempo continuo. Los primeros trabajos, entre los que se encuentran los de Vasicek (1977), Dothan (1978) o Brennan y Schwartz (1979), se basan en la imposición de condiciones de no arbitraje y de un proceso concreto para el tipo de interés, el cual depende de un conjunto de variables de estado o factores¹³.

En general, se supone que el comportamiento de la economía viene determinado por un vector de k variables de estado. Estas variables evolucionan según el siguiente sistema de ecuaciones diferenciales estocásticas:

$$dX = \mu(X,t) dt + \sigma(X,t)dB_t \quad (21)$$

donde X es el vector de variables de estado y B es un proceso de Wiener estándar k dimensional. Para asegurar la ausencia de oportunidades de arbitraje es necesario imponer dos tipos de restricciones: (1) las estrategias de inversión de los agentes deben depender sólo de la información disponible en t y (2) el valor descontado de una cartera bajo una medida de probabilidad equivalente es una martingala. En esta economía todos

(13) En general, el número de factores empleado es bajo. Este hecho es debido a que la solución de los modelos es muy compleja con más de dos factores. En las aplicaciones empíricas los factores se aproximan por el tipo a corto plazo, su volatilidad, el cambio tecnológico, la tasa de inflación, etc.

los activos son funciones de X y t . A partir de estos dos elementos se obtiene una ecuación de valoración que incluye el precio del riesgo asociado a cada factor. Por ejemplo, en los modelos de un factor se considera que el tipo de interés instantáneo, r_t , es la única variable de estado subyacente en la economía. El proceso de difusión que gobierna la evolución de este tipo de interés es del tipo:

$$dr_t = (\alpha + \beta r_t) dt + \sigma r_t^\gamma dB_t \quad (22)$$

donde α , σ , y γ son parámetros no negativos con $\gamma \in [0,1]$ y β es negativo¹⁴. Dando valores a esos parámetros se encuentran los procesos utilizados en la literatura. Por ejemplo, en el modelo de Vasicek (1977) se parte de $\gamma=0$, Dothan (1978) supone $\alpha=\beta=0$ y $\gamma=1$, Cox, Ingersoll y Ross (1985b) consideran $\gamma=0.5$, mientras que Brennan y Schwartz (1980) fijan $\gamma=1$. En Chan, Karolyi, Longstaff y Sanders (1992), en Dahlquist (1996) o, para el caso español, en Rico (2000) o Fernández-Serrano y Robles (2004) se puede encontrar un análisis comparativo de los distintos procesos propuestos para los tipos de interés.

Es importante destacar que en la literatura financiera no se considera la posibilidad de que las series temporales de tipos de interés sigan procesos estocásticos con una o más raíces unitarias autorregresivas, dado que esto podría implicar tipos de interés negativos. Sin embargo, la evidencia empírica indica que son procesos integrados de primer orden. En muchos casos, el tipo de modelos elegidos por parte de los economistas financieros recogen la posibilidad de reversión a la media de los tipos ($\beta \neq 0$) y el llamado "efecto nivel" en la volatilidad (la volatilidad es una función del nivel de los tipos de interés cuando $\gamma \neq 0$).

A partir de (22) es posible determinar completamente la estructura temporal según la siguiente ecuación diferencial:

$$\frac{1}{2} \sigma^2 r^{2\gamma} P_{rr} + [(\alpha + \beta r) - \sigma r_t^\gamma \phi] P_r + P_t - rP = 0 \quad (23)$$

sujeta a la restricción de que el precio final del bono sea una unidad. En esta expresión P_{rr} y P_r son la segunda y la primera derivadas parciales del precio respecto al tipo instantáneo, P_t es la primera derivada parcial del precio respecto al tiempo y $\sigma r_t^\gamma \phi P_r$ es el precio de mercado del riesgo asociado al factor. Generalmente este precio se especifica a través de una forma funcional que garantice la existencia de una solución cerrada para el modelo (véase Vetzal, 1994).

Sin embargo, Cox, Ingersoll y Ross (1985a, b) muestran cómo la elección arbitraria de la función del precio del riesgo puede dar lugar a un modelo inconsistente, en el que existan posibilidades de arbitraje. Estos autores proponen especificar los precios del riesgo de los distintos facto-

(14) Chan, Karolyi, Longstaff y Sanders (1992) muestran que la restricción sobre el parámetro γ puede ser muy severa ya que al estimarlo con datos reales encuentran que su valor está muy por encima de la unidad.

res a través de un modelo de equilibrio general, que permita encontrar los determinantes de la estructura temporal. En este sentido, el análisis que proponen es similar al seguido desde el punto de vista macroeconómico¹⁵. Las diferencias principales están en la introducción de un sector productivo y la imposición de condiciones que limiten las posibilidades de arbitraje. Al igual que en el caso de la valoración por arbitraje, en estos modelos el comportamiento de la economía se hace depender de uno o varios factores, los cuales condicionan el comportamiento del tipo de interés instantáneo y, por tanto, de la estructura temporal.

En la contrastación empírica del modelo de Cox, Ingersoll y Ross (1985b) se ha encontrado que sus previsiones están lejos de las curvas de tipos observadas. Trabajos como los de Brown y Dybvig (1986) o Brown y Schaefer (1994) revelan la posible especificación incorrecta del modelo, que se asocia al uso de un único factor. Esto restringe las posibles pendientes de la curva de tipos que el modelo puede generar. Por ello, algunos autores, como Longstaff y Schwartz (1992) o Chen y Scott (1992), proponen modelos de equilibrio con dos factores que parten del modelo unifactorial de Cox, Ingersoll y Ross (1985b), para los cuales encuentran soluciones cerradas¹⁶.¹⁷ En el ámbito español, algunos de los trabajos que analizan el comportamiento empírico de estos modelos son Fernández-Serrano y Robles (2004), Navas (1999), Rico (1999a) y Moreno (1996).

En ocasiones los modelos para la ETTI se desarrollan únicamente con objeto de servir como base para la valoración de activos derivados sobre los tipos de interés como, por ejemplo, opciones de compra y venta (*call* y *put*). Este hecho ha tenido como consecuencia el desarrollo de los llamados "modelos de réplica perfecta" que se diseñan para reproducir exactamente la estructura temporal real. Se trata de modelos de valoración por arbitraje desarrollados a partir del trabajo de Ho y Lee (1986) en tiempo discreto y Heat, Jarrow y Morton (1992) en tiempo continuo. Estos últimos autores parten de los tipos *forward* en vez de los tipos al contado y modelan la evolución de la curva de tipos *forward*

(15) También tienen en común el mismo tipo de problemas en su contrastación empírica. Adicionalmente, para analizar empíricamente los modelos en tiempo continuo es necesario hacerlos discretos previamente.

(16) La complejidad de las expresiones algebraicas que surgen en este tipo de modelos crece con el número de factores. Por ello, en muchos casos no se especifica la relación entre los factores y los tipos de interés a través de un modelo de equilibrio general, sino que se propone directamente el proceso para el tipo de interés y el tipo de dependencia de dichos factores. En esta línea están los trabajos de Penacchi (1991), Vetzal (1992), Chaplin y Sharp (1993) o Moreno (1996) con modelos bifactoriales, o Kraus y Smith (1993) con un modelo de tres factores.

(17) Otros autores, como Moreno y Peña (1996), intentan superar las limitaciones de los modelos unifactoriales partiendo de procesos de salto para el tipo de interés instantáneo. De este modo se incorporan al modelo efectos exógenos que pueden ser útiles para el análisis, por ejemplo, de los tipos del mercado monetario, que se ven sometidos a las intervenciones sobre el tipo a corto plazo por parte de las autoridades monetarias.

completa¹⁸. En otros casos la curva de tipos observada se ajusta completamente con modelos unifactoriales con parámetros cambiantes, como en Jamshidian (1991) y Hull y White (1990, 1993).

6. ANÁLISIS EMPÍRICO DE LA ETTI

Los análisis aplicados se han centrado tradicionalmente en la contrastación de las diferentes teorías planteadas sobre la ETTI desde una perspectiva empiricista. En Shiller (1990) se puede encontrar una revisión de la literatura.

En muchos casos se pretende *contrastar la Hipótesis de las Expectativas* (en adelante HE). Para ello se parte de las relaciones entre los tipos al contado y los tipos *forward* a distintos plazos recogidas por las expresiones (15) a (17). Éstas, junto con el supuesto de expectativas racionales, permiten especificar modelos econométricos con los que contrastar HE. Algunos ejemplos en esta línea son Fama (1984a, 1984b), Shiller (1979), Shiller, Campbell y Schoenholtz (1983) o Mankiw (1986). Del mismo modo, las implicaciones de HE sobre las relaciones a largo plazo entre los tipos al contado a diferentes plazos permite contrastar esta teoría con herramientas que recojan relaciones de cointegración. Campbell y Shiller (1987, 1991), Hall, Anderson y Granger (1992) o Johnson (1994) son algunos ejemplos.

En otros casos el objetivo es la estimación y *análisis del comportamiento de las primas por plazo y de sus posibles determinantes*, como en los trabajos de Fama (1976a, 1976b), Jones y Roley (1983), Mishkin (1982) o Engle, Lilien y Robins (1987). Se parte de las definiciones de las primas dadas por (9) a (11), junto con algún supuesto que permita calcular las expectativas. Con este tipo de análisis se rechaza HE si se encuentran primas distintas de cero o de una constante.

En los siguientes apartados se revisa la literatura que ha abordado estos temas. Se hace especial énfasis en los trabajos realizados en la última década, ya que no están recogidos en la revisión de la literatura de Shiller (1990).

6.1. Contraste de la Hipótesis de las Expectativas

En general, para el contraste de las teorías o hipótesis explicativas de la ETTI es necesario suponer qué mecanismo generador de expectativas

(18) Estos autores toman como variable de estado la curva de tipos *forward* completa y como precio del riesgo la estructura temporal de volatilidades, la cual se suele estimar a través de modelos GARCH. También suponen que un número finito de movimientos Brownianos causan las variaciones de la curva *forward*. Esto, junto con el hecho de que el tipo instantáneo dependa de toda su historia, complica computacionalmente el tratamiento de dichos modelos.

utilizan los individuos. Por ello, la hipótesis que se contrasta es conjunta y su rechazo no implica necesariamente el rechazo de la teoría sobre el comportamiento de la ETTI que se esté contrastando. Del mismo modo, si el objeto de análisis es la racionalidad de las expectativas es necesario partir de una modelización concreta de las primas por plazo.

En algunos casos se ha planteado directamente el análisis de las hipótesis con el estudio de datos procedentes de encuestas. Algunos ejemplos son Kane y Malkiel (1967) o Froot (1989). Este último encuentra que la hipótesis se rechaza para los tipos a corto plazo pero no para los tipos a largo plazo. Sin embargo, el uso de este tipo de datos no está exento de problemas. Friedman (1980), utilizando la misma encuesta que Froot (1989), con menos observaciones, muestra que las expectativas de los agentes no son racionales en el sentido de Muth (1961); es decir, las respuestas de los agentes no son previsiones insesgadas de los tipos de interés ni utilizan de manera eficiente la información contenida en el pasado de esos tipos. Este resultado no se considera un indicio de un comportamiento irracional por parte de los individuos, sino que apunta a que los datos procedentes de encuestas no miden correctamente las expectativas de los mismos.

Por ello, la mayoría de los modelos desarrollados para contrastar la HE parten del supuesto de expectativas racionales, según el cual:

$$E_t(r_{t+n,s}) = r_{t+n,s} - \epsilon_{t+n,s}^i \quad (24)$$

donde $\epsilon_{t+n,s}^i$ es el error de previsión del tipo a plazo s , $t+n-s$ periodos hacia adelante del tipo a plazo s . El superíndice i indica el origen de la previsión. Este error debe estar incorrelado con las variables del conjunto de información disponible en t ¹⁹.

El contraste de dicha teoría parte generalmente de la expresión de la prima *forward* dada en (9):

$$E_t(r_{t+n,s}) = -\frac{\pi_{t,s}^f}{s} + f_{t+n,s}^f \quad (25)$$

(19) En algunos trabajos se supone que las expectativas son de tipo adaptativo. En esta línea se encuentra el proceso de aprendizaje del error utilizado por Meiselman (1962) o Diller (1969), el cual supone que las expectativas sobre los tipos a largo plazo se revisan según una función lineal del error cometido en el periodo anterior. Si se fija $s=1$ se tiene:

$$f_{t,1}^{t+n} - f_{t-1,1}^{t+n} = a + b(r_{t,1} - f_{t-1,1}^t)$$

Otro ejemplo es el modelo de regreso a la normalidad de Malkiel (1966) o Diller (1969) en el que la expectativa se forma según el grado de desviación del tipo de interés al contado del tipo de interés que se considera normal, $\bar{r}_{t,j}$:

$$r_{t+i,j}^e = a + b(r_{t,j} - \bar{r}_{t,j})$$

Por último, el modelo propuesto por Mankiw y Summers (1984) en el que las expectativas se generan de la siguiente forma :

$$r_{t+i,j}^e = \omega + (1-\omega)E_t(r_{t+i,1}) \text{ con } E_t(r_{t+i,1}) = r_{t+i,1} - \epsilon_{t+i,1}$$

donde $s=1$ y $n=2$. Si $\omega=0$ se tienen expectativas racionales.

Si se combinan (24) y (25):

$$r_{t+n-s,s} = -\pi_{t,s}^f + f_{t+n-s,s}^f + \varepsilon_{t+n-s,s} \quad (26)$$

donde para simplificar la notación se suprime el superíndice t del término de error. A partir de (26), para contrastar si la prima por plazo es constante o cero basta con estimar con el procedimiento adecuado:

$$r_{t+n-s,s} = \alpha_s + \beta_s f_{t+n-s,s}^f + \varepsilon_{t+n-s,s} \quad (27)$$

Este modelo permite contrastar la Hipótesis de las Expectativas Insesgadas contrastando $H_0: \alpha_s = 0, \beta_s = 1$ y $\varepsilon_{t+n-s,s}$ incorrelado con las variables del conjunto de información o bien $H_0: \beta_s = 1$ y $\varepsilon_{t+n-s,s}$ incorrelado, si se contrasta la versión débil de la teoría en la que la prima puede ser constante.

Tanto los tipos al contado como los tipos *forward* son variables no estacionarias, en particular, variables integradas de orden 1, $I(1)$, por lo que generalmente se ha propuesto la estimación del modelo en términos de diferenciales de tipos, que suelen ser estacionarios, $I(0)$:

$$r_{t+n-s,s} - r_{t,s} = \alpha_s + \beta_s (f_{t+n-s,s}^f - r_{t,s}) + \varepsilon_{t+n-s,s} \quad (28)$$

Fama (1984a) propone la estimación del modelo (27) en primeras diferencias, con la que obtiene una pendiente significativamente inferior a la unidad. También demuestra que la obtención de pendientes en la expresión (28) sesgadas a la baja puede ser consecuencia de la existencia de primas variables correlacionadas positivamente con la variable $(f_{t+n-s,s}^f - r_{t,s})$ ²⁰.

Entre los trabajos que siguen esta línea se pueden destacar los de Shiller (1979), Shiller, Campbell y Schoenholtz (1983), Mankiw (1986), Fama (1984a), Fama y Bliss (1987) o Shiller (1986). Los resultados indican, en general, que el tipo *forward* no es un buen predictor del tipo al contado, pues se rechaza sistemáticamente la hipótesis $H_0: \beta_s = 1$. Para valores de s y n pequeños (ambos menores o iguales que un año), los coeficientes suelen ser positivos pero significativamente menores que la unidad. Para valores de s grandes (más de veinte años) y de n pequeños la pendiente tiende a ser negativa y muy superior a la unidad en valor absoluto. Fama y Bliss (1987) encuentran un resultado contraintuitivo. Muestran como los tipos *forward* van teniendo mayor poder predictivo de los tipos al contado conforme el horizonte de predicción es más largo.

Otro resultado interesante es el de Mankiw y Miron (1986) quienes encuentran que antes de la creación de la Reserva Federal el tipo *forward*

(20) Bajo HE expresiones como (27) implican relaciones de cointegración que se mantienen aunque en el lado derecho aparezca una variable estacionaria (la prima por plazo). A este respecto, Evans y Lewis (1994) indican que los contrastes de regresión estándar pueden estar sesgados para horizontes largos debido a la existencia de primas por plazo no estacionarias. Según sus resultados, la prima en el mercado de Letras del Tesoro estadounidense entre 1964 y 1988 no es estacionaria. Más adelante se trata con más detalle este tema.

es un buen predictor de los cambios en los tipos, mientras que los tipos a corto se comportan como un paseo aleatorio cuando son controlados vía política monetaria. Estos autores indican que esto último es compatible con la racionalidad de las expectativas²¹. Estos resultados han motivado el análisis de la ETTI en modelos en los que se permiten cambios de régimen. Hamilton (1988) muestra que si se incluye en el modelo tal posibilidad no se puede rechazar la HE.

Investigaciones más recientes han abordado la estimación de esta misma expresión en otros mercados y de forma paralela para un conjunto de países. Dentro de este grupo se puede destacar el trabajo de Jorion y Mishkin (1991) que estudia el mercado estadounidense, alemán, suizo y del RU. Estos autores únicamente encuentran coeficientes significativos para Alemania y Suiza cuando se consideran horizontes de predicción de cinco años. Jorion (1992) estudia eurodepósitos nominados en dólares y marcos alemanes con plazos desde un mes a cinco años, y encuentra evidencia acerca de que el diferencial entre el tipo *forward* y el tipo contado actual contienen información sobre la prima por plazo, que varía en el tiempo. Por otra parte, Abad (2003a) rechaza la existencia de una relación estable entre los tipos *forward* y los tipos de contado futuros en el mercado de swaps de tipos de interés en varias divisas.

En el caso de la economía española están los trabajos de Ezquiaga (1990), Martín y Pérez Villarreal (1990), Ezquiaga y Freixas (1991) o Freixas y Novales (1992). En general todos ellos llegan a que el tipo *forward* es un predictor sesgado del tipo al contado. Freixas y Novales (1992) señalan que la especificación (28) sólo es válida bajo la hipótesis nula, ya que bajo la alternativa el modelo a estimar sería:

$$r_{t+n-s,s} - r_{t,s} = \alpha_s + \beta_s (f_{t+1,1}^t - r_{t,s}) + (\beta_s - 1) r_{t+n-s,s} - \varepsilon_{t+n-s,s} \quad (29)$$

Otra línea de investigación que ha tratado de contrastar la Hipótesis de las Expectativas basándose en la expresión (16) surge del trabajo de Campbell y Shiller (1987, 1991). Estos autores parten de la formulación de la HE dada por (16), según la cual el tipo a largo plazo no es más que una media ponderada de los tipos a corto plazo esperados en el futuro:

$$r_{t,n} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} E_t(r_{t+i,1}) \quad (30)$$

De (30) se tiene que el diferencial de tipos a largo respecto a los tipos a corto es un predictor insesgado de los cambios en los tipos a largo:

$$E_t(r_{t+1,n-1} - r_{t,n}) = \frac{1}{n-1} (r_{t,n} - r_{t,1}) \quad (31)$$

(21) Rudebusch (1995) realiza un ejercicio de simulación del objetivo de control sobre los tipos de interés de la Reserva Federal estadounidense bajo el supuesto de expectativas racionales. Muestra cómo el hecho de que los diferenciales de tipos de interés no sean capaces de prever el comportamiento de los tipos de interés a distintos horizontes no es evidencia en contra de la formación racional de las expectativas, sino que se debe al propio control sobre los tipos de interés por parte de la Reserva.

y también es un predictor insesgado de una suma ponderada de los cambios en los tipos a corto plazo:

$$E_t \left(\sum_{i=1}^{n-1} \frac{n-i}{n} \Delta r_{t+i,1} \right) = (r_{t,n} - r_{t,1}) \quad (32)$$

Estas dos expresiones, junto con el supuesto de expectativas racionales, proporcionan dos contrastes de regresión para la HE. Adicionalmente Campbell y Shiller (1987, 1991) desarrollan un contraste basado en la estimación de un vector autorregresivo (VAR, *Vector Autoregression*) para $\Delta r_{t,1}$ y $r_{t,n} - r_{t,1}$.

Estos autores analizan datos de la economía americana y encuentran que los cambios en los tipos a largo se mueven de manera contraria a la que predice la teoría, al contrario de lo que ocurre con los tipos a corto.

Más recientemente, Evans y Lewis (1994) llegan a ese mismo resultado utilizando los contrastes de regresión basados en (31) y (32). Sin embargo, Stambaugh (1988) muestra que los resultados del contraste con la expresión (32) son muy sensibles a posibles errores de medida en el tipo a largo plazo, dado que tal error aparece en ambos lados del igual con signo contrario, lo cual puede ser la causa del resultado encontrado. A pesar de ello, los resultados obtenidos por Evans y Lewis (1994) se mantienen cuando la relación se estima por variables instrumentales.

Campbell, Lo y Mackinlay (1997) también estudian directamente las relaciones de las expresiones (31) y (32) con rentabilidades de bonos estadounidenses²². Para ambas regresiones, los coeficientes estimados son significativamente distintos de cero, indicando que el *spread* tiene algún poder predictivo sobre los tipos futuros a corto y largo plazo. Sin embargo, en la expresión (31) encuentran coeficientes negativos e inferiores a la unidad, lo que indica que cuando el *spread* es alto los tipos tienden a caer, ampliando dicho diferencial en lugar de reducirlo como exige la hipótesis de expectativas²³. Por otra parte, los resultados de la estimación de la expresión (32) muestran que el *spread* tiene poder predictivo sobre los movimientos de los tipos a corto sobre un horizonte de dos o tres meses y sobre horizontes de varios años. Estos autores justifican el nulo poder predictivo a horizonte de un año por las políticas de control de la volatilidad llevadas a cabo por la Reserva Federal. Idénticos resultados se obtienen en Campbell

(22) Estos autores comentan que hay varias dificultades econométricas con esta aproximación directa. En primer lugar, se pierden n datos al final de la muestra. En segundo lugar, la perturbación es una media móvil de orden $n-1$ y, en tercer lugar, el regresor presenta autocorrelación y está correlacionado con retardos de la variable dependiente.

(23) Campbell y Shiller (1991) también observan que incrementos en el *spread* son seguidos de disminuciones, en lugar de aumentos, en los tipos a largo plazo.

(1995) para una submuestra de los datos utilizados por Campbell, Lo y Mackinlay (1997)²⁴.

Sorprendentemente, la HE parece tener más apoyo en países en los que los mercados son pequeños y poco desarrollados respecto al estadounidense. Hardouvelis (1994) analiza esta cuestión para el grupo de los siete países más industrializados. Sus resultados indican que cuando se utilizan los contrastes de regresión basados en (31) y (32) no se rechaza la teoría de las expectativas en Francia e Italia. Sin embargo, basta con agregar un proceso ruido blanco al tipo a largo plazo para que no se rechace la teoría de las expectativas en todos los países excepto el caso de Estados Unidos. Este resultado se confirma cuando el contraste se realiza utilizando la metodología VAR²⁵. Gerlach y Smets (1997), estimando directamente la expresión (32) para eurotipos de 17 países, obtienen resultados similares a Campbell, Lo y Mackinlay (1997) y concluyen que, aunque en el caso de EEUU se rechaza que el coeficiente estimado sea la unidad, esto no ocurre en general y, por tanto, para muchos países la hipótesis de las expectativas es compatible con los datos. Otros autores como Driffill, Psaradakis y Sola (1997) analizan tipos a uno y tres meses de Estados Unidos y del Reino Unido. Muestran cómo los resultados con los contrastes de regresión están sesgados si no se incluye un elemento aleatorio en la prima por plazo. No encuentran evidencia contra la HE en un contexto VAR. Análoga evidencia se presenta en los trabajos más recientes de Bekaert y Holdrick (2001), con tipos de interés en dólares USA, libras esterlinas y marcos alemanes, y de Longstaff (2000), con tipos americanos a muy corto plazo.

Con el uso de esta metodología, MacDonald y Speight (1988) no rechazan la teoría en un análisis del mercado de bonos del Reino Unido. Más recientemente Taylor (1992) y Hurn, Moody y Muscatelli (1995) analizan también la estructura temporal de tipos de interés británica. Mientras que el primero rechaza la HE para la deuda a largo plazo, los segundos encuentran evidencia a favor de la misma en el mercado interbancario. Para el mercado interbancario español el trabajo de Pérez, Sáez y Murillo (1997) utiliza esta metodología para mostrar que se incumple la teoría de las expectativas. Evidencia contraria es presentada en Prats y Beyaert (1998) para este mismo mercado, utilizando una adaptación, para activos a corto plazo, de la metodología propuesta por Campbell y Shiller (1987). Más recientemente, los resultados de Massot y Nave (2003) están a favor de esta hipótesis en el mercado de deuda pública española.

(24) Algunos autores han ofrecido varias respuestas a esta controversia: ¿cómo pueden los movimientos de tipos a corto futuros seguir la dirección predicha por la hipótesis de las expectativas, al mismo tiempo que los movimientos en el corto plazo de los tipos a largo no lo hacen? (Véase Hardouvelis, 1994).

(25) Bekaert, Hodrick y Marshall (1997) muestran que los contrastes de regresión basados en (31) y (32) están fuertemente sesgados al alza si el tipo de interés a corto plazo sigue un proceso muy persistente. Este problema es mucho menor en el contraste basado en la metodología VAR. Cuando estos autores evalúan la HE a través de un VAR-GARCH hallan que la evidencia en contra de esta teoría se refuerza.

Engsted (1996) muestra que en el mercado monetario de Dinamarca el diferencial $r_{t,n} - r_{t,1}$ predice mejor los cambios en los tipos futuros en periodos en los que la volatilidad es alta. Engsted y Tanggaard (1995) encuentran evidencia a favor de la HE en el mercado de bonos danés en aquellos periodos en los que la autoridad monetaria controla la oferta monetaria. Sin embargo, se rechaza la hipótesis cuando se pasa a controlar los tipos de interés, tal como habían detectado Mankiw y Miron (1986) para la economía americana. En esta misma línea, Sola y Driffill (1994) rechazan la HE con una extensión del trabajo de Hamilton (1988) para la economía americana, en la que incorporan el cambio de régimen en la modelización VAR de la teoría de las expectativas. Del mismo modo señalan que los métodos habituales de contraste están sesgados en el caso de que se haya producido un cambio de régimen²⁶.

Otra vía para el contraste de la HE ha sido el análisis de las relaciones de equilibrio a largo plazo entre los tipos implícitas en ella. Así, la relación (27) bajo la hipótesis $\alpha_s=0$, $\beta=1$, $\varepsilon_{t+n-s,s}$ incorrelado con las variables del conjunto de información y con tipos $I(1)$, el tipo de interés al contado y el tipo *forward* están cointegrados con vector de cointegración $(1, -1)$. Domínguez y Novales (2000) estudian la existencia de la relación de cointegración de $r_{t+n-s,s}$ y $f_{t+n-s,s}$ en el euromercado para nueve divisas y muestran múltiple evidencia acerca del poder predictivo de los tipos *forward* sobre los tipos futuros, sin rechazar en algunas comparaciones de plazo la HE en su versión más estricta, mientras que en Abad (2003a) no se encuentra evidencia de una relación de equilibrio a largo plazo entre ambos tipos del mercado *swaps* de tipos de interés, rechazándose dicha hipótesis.

Por otro lado, partiendo de la expresión de la teoría en función de la prima de reinversión, si expresamos (30) en términos del diferencial respecto al tipo a corto plazo:

$$r_{t,n} - r_{t,1} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} E_t(r_{t+i,1} - r_{t,1}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n-1} (n-i) E_t \Delta r_{t+i,1} \quad (33)$$

lo cual implica que si los tipos son variables $I(1)$, el diferencial será $I(0)$; es decir, $r_{t,n}$ y el tipo a corto plazo comparten una tendencia estocástica. El vector de cointegración es $(1, -1)$, por lo que el diferencial de tipos determina el término del corrección del error. Nótese que la expresión (33) implica que cualquier diferencial de tipos de interés al contado debe ser estacionario²⁷.

Es importante resaltar que los tipos estarán cointegrados aunque en el lado derecho de (33) aparezca una constante o una variable estaciona-

(26) Aplican los contrastes de regresión y VAR habituales a los datos generados de manera artificial por un modelo en el que se cumple la teoría de las expectativas y contiene cambios de régimen estocásticos. Tales contrastes rechazan la teoría de las expectativas y dan resultados similares a los obtenidos con datos reales.

(27) El diferencial entre dos tipos puede expresarse como una combinación lineal de dos diferenciales con respecto al tipo a un periodo, y puesto que una combinación lineal de variables estacionarias es estacionaria, se deduce que cualquier diferencial debe ser estacionario (Hall, Anderson y Granger, 1992).

ria, por lo que la cointegración entre los tipos de interés es una condición necesaria, aunque no suficiente, para que se cumpla la HE.

Esta teoría implica que, para un conjunto de n plazos $\{r_{t,1}, r_{t,2}, \dots, r_{t,n}\}$, existen $n-1$ relaciones de cointegración, o, equivalentemente, una única tendencia común. En este caso, contrastar la HE requiere contrastar si la matriz de los vectores de cointegración tiene la forma:

$$\alpha' = \begin{pmatrix} -1 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ -1 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -1 & 0 & 0 & \dots & 1 \end{pmatrix} \quad (34)$$

El resultado habitual que se encuentra en trabajos como Bradley y Lumpkin (1992), Nourzad y Grennier (1995) o Siklos y Wohar (1996) es compatible con la HE, pues generalmente se detecta una única tendencia en la estructura temporal. Sin embargo, la evidencia aportada por Hall, Anderson y Granger (1992), Johnson (1994), Engsted y Tanggaard (1994) o Domínguez y Novales (2000) indica que, si bien existe una única tendencia común, se rechaza que α' está contenida en el espacio de cointegración. Para realizar los análisis se utilizan generalmente los contrastes de cointegración de Johansen (1988) y Johansen y Juselius (1990). Pagan, Hall y Martín (1996) señalan que ese rechazo puede ser debido a un efecto del nivel de los tipos sobre la distribución de los contrastes que hace que los valores críticos considerados sean demasiado pequeños.

Sin embargo, aunque se rechaza que α' esté contenida en el espacio de cointegración, no se puede rechazar, en general, que los diferenciales de tipos de interés, analizados individualmente, sean estacionarios. Ejemplos de este resultado se pueden encontrar en Hall, Anderson y Granger (1992), Johnson (1994), Engsted y Tanggaard (1994), Hurn, Moody y Muscatelli (1995) o Domínguez y Novales (2000).

Otros autores, como Mougoué (1992) y Zhang (1993) encuentran 3 tendencias comunes en una muestra de 19 tipos de interés estadounidenses²⁸ y de 4 tipos de eurodepósitos nominados en 6 divisas respectivamente. Abad (2003b), en un análisis de los tipos *swaps* en 3 divisas distintas y con plazos de 1 mes a 10 años, también observa más de una tendencia común. Del mismo modo Martín y Treadway (1997), quienes analizan una gran variedad de tipos de interés estadounidenses utilizando una metodología alternativa, encuentran que los tipos a plazos menores o iguales a 2 años están cointegrados con el tipo de interés objetivo establecido por la Reserva Federal para el *Federal Funds Rate*. Sin embargo, los tipos a más largo plazo no parecen comportarse según predice la

(28) Johnson (1994) indica que los resultados obtenidos por Zhang (1993) pueden ser debidos a que éste analiza simultáneamente tipos cupón cero y tipos de bonos con cupón. No obstante, también puede ser resultado de la baja potencia del contraste de Johansen cuando el número de variables es elevado (véase Johansen, 1991).

HE pues presentan dos tendencias comunes: el tipo objetivo y cualquier otro tipo superior a 2 años.

6.2. Estimación de las primas por plazo

El rechazo de la Hipótesis de las Expectativas señalado en el apartado anterior ha llevado a considerar primas por plazo que varían en el tiempo. Tales primas no son observables en t , pues dependen de las expectativas que en ese momento del tiempo se realicen sobre los tipos de interés futuros. Por ello, el análisis de las mismas ha partido de tres estrategias diferentes: (1) evaluación de las expectativas de los agentes a través de encuestas, (2) estimación del mecanismo generador de expectativas y (3) estimación indirecta.

En cuanto a la primera de las estrategias, utilizada por Kane y Malkiel (1967), está sujeta a la crítica de Friedman (1980) a este tipo de datos mencionada en el apartado anterior. Los posibles errores de medida en las expectativas medidas a través de encuestas afectarán también a las primas estimadas con este procedimiento.

La estrategia (2) implica construir un modelo econométrico para el tipo de interés a corto plazo en la definición de la prima, a partir del cual estimar $E_t(r_{t+1,1})$. Un ejemplo en esta línea es Modigliani y Shiller (1973). McCulloch (1975a) muestra que este tipo de análisis implica una serie de restricciones, relacionadas con la elección del conjunto de variables relevantes, que limitan su validez para la estimación de las primas por plazo.

La última estrategia tiene su origen en el trabajo de Kessel (1965) y ha sido el método más frecuente en la literatura. Se parte de dos supuestos: expectativas racionales (expresión [24] más las restricciones indicadas sobre el término de error) y una ecuación de comportamiento para la prima. Estos supuestos, junto con la definición de la misma dada por (9) permiten llegar a expresiones del tipo:²⁹

$$f_{t+n-s,s}^t - r_{t+n-s,s} = \alpha_1 X_{1t} + \alpha_2 X_{2t} + \dots + \alpha_k X_{kt} - \varepsilon_{t+n-s,s} \quad (35)$$

donde $\{x_{1t}, x_{2t}, \dots, x_{kt}\}$ son las variables relevantes para explicar el comportamiento de la prima. La estimación de (35) proporciona una estimación consistente de la misma³⁰.

La clase de ecuaciones elegidas, generalmente, implica una serie de restricciones que limitan la existencia de relaciones dinámicas entre la

(29) Aunque en el desarrollo se utiliza la prima *forward* se podría usar cualquier otra versión de la prima.

(30) El procedimiento equivale a estudiar regresiones de las primas dadas por (9), (10) o (11), realizadas en el mercado, sobre las variables que forman el conjunto de información disponible en t . A estas primas generalmente se las denomina primas *ex-post* y se evalúan numéricamente sustituyendo la expectativa por la realización del tipo en cuestión.

prima y las variables que forman el conjunto de información. Este tema, así como la evaluación de los determinantes de la prima en un contexto en el que existen tales relaciones dinámicas son tratados con más detalle en Flores (1995a, 1995b), Robles (2003) y Robles y Flores (2000).

Otras críticas al método indirecto están relacionadas con la existencia de pocos avances en el análisis teórico de la ETTI que permitan seleccionar las variables relevantes para explicar la prima. En algunos casos se analiza si la prima está relacionada con el nivel de los tipos de interés. Shiller (1979) elige el tipo a largo plazo, encontrando un coeficiente positivo que interpreta como un exceso de volatilidad en su análisis de los mercados de bonos estadounidense y británico. Campbell y Shiller (1984) encuentran que existe una infrarreacción de los tipos a largo respecto al tipo a corto, pues el diferencial contado-*forward* a largo plazo depende negativamente del tipo a corto³¹. En España, Ezquiaga y Freixas (1991) hallan una relación creciente entre la prima y los tipos en el mercado de repos sobre Letras del Tesoro. Ayuso, Novales y de la Torre (1992) analizan la relación entre el nivel de las primas, medido como el valor absoluto de las mismas, y el nivel de los tipos del mercado interbancario, donde sus resultados indican que tal relación es creciente, mientras que Rico (1999b) observa una relación negativa entre las primas a corto plazo del mercado de deuda español y el tipo de interés al contado.

Otros estudios se centran en el análisis de las primas por plazo como una función de variables del entorno macroeconómico y/o de indicadores del nivel de riesgo o volatilidad. Mishkin (1982) encuentra relación entre la prima y la tasa de inflación, la tasa de crecimiento del dinero y la tasa de crecimiento de la renta. Jones y Roley (1983) consideran la oferta de bonos, la tasa de desempleo, el nivel de los tipos de interés y la deuda en manos de extranjeros. Sólo las dos últimas variables parecen tener información relevante. Shiller, Campbell y Schoenholtz (1983) obtienen que las primas dependen de las sorpresas en el volumen de oferta monetaria. Otros autores han considerado la relación de las primas con aspectos institucionales. En este sentido Mankiw, Miron y Weil (1987) encuentran que las primas se vieron afectadas por la creación de la Reserva Federal. Mankiw y Miron (1986) y Hardouvelis (1988) llegan a que la variabilidad en las primas se debe a los cambios en los objetivos de la política monetaria. En el caso español, Fernández-Serano y Robles (2003) encuentran un cambio estructural en los tipos españoles del mercado interbancario en 1993, relacionado con la crisis del Sistema Monetario Europeo que afectó a la estacionariedad de las primas.

(31) Ederington y Huang (1995) han mostrado que, bajo el supuesto de primas constantes, encontrar parámetros significativamente distintos de cero en este tipo de formulaciones puede deberse a que se contrasta conjuntamente la HE y un supuesto de expectativas racionales según el cual los individuos conocen con certeza los parámetros determinantes del comportamiento futuro de los tipos de interés. Si por expectativas racionales se entiende que los agentes utilizan de manera eficiente toda la información disponible, la diferencia entre los parámetros estimados y los verdaderos puede causar la correlación entre el diferencial contado-*forward* y los tipos de interés.

La importancia del riesgo para explicar las variaciones en el tiempo de las primas ha sido estudiada por muchos autores. Suponen que los movimientos no anticipados en los tipos de interés (o riesgo) son los que causan la variación en la prima. Partiendo de (35), particularizando para $n=2$ y $s=1$:

$$\begin{aligned} f_{t+1,1}^i - r_{t+1,1} &= \pi_{t,1}^f - \varepsilon_{t+1} \\ \pi_{t,1}^f &= \pi_1 + \delta g(h_t^2) \end{aligned} \quad (36)$$

donde $g(h_t^2)$ es una medida del riesgo asociado a la evolución de los tipos de interés a corto plazo y h_t^2 es la varianza condicional de los mismos. Frecuentemente se ha encontrado que medidas de volatilidad que aproximan este riesgo han resultado estadísticamente significativas. Modigliani y Shiller (1973), Shiller, Campbell y Schoenholtz (1983), Ezquiaga y Freixas (1991), Ayuso y de la Torre (1991), Freixas y Novales (1992) o Rico (1999b) utilizan una desviación típica móvil de los tipos de interés como aproximación del nivel de incertidumbre (volatilidad). Fama (1976a) propone una transformación de esta medida que consiste en calcular la media del valor absoluto de los cambios en el tipo a corto plazo. Esta medida ha sido utilizada también por Jones y Roley (1983) y Mishkin (1982). Robles (2003) y Robles y Flores (2000) utilizan la familia de medidas de volatilidad propuesta por Luce (1980). En la mayoría de los casos se detecta que la volatilidad afecta positivamente a las primas³². Por otra parte, Novales y Abad (2002) observan que las primas del mercado de *swaps* de tipos de interés responden tanto al riesgo de tipos de interés, medido a través de la volatilidad de los tipos, como al riesgo de impago y liquidez, medido como el diferencial de los tipos de deuda respecto a los tipos *swaps*.

Sin embargo, a partir del trabajo de Engle, Lilien y Robins (1987) se ha generalizado el análisis de las primas por plazo a través de modelos GARCH-M (*Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedasticity in Mean*) para representar conjuntamente la variación en la varianza condicional de los tipos de interés y la prima por plazo³³. En este caso h_t^2 es la varianza condicional del tipo de interés a corto plazo, la cual evoluciona según algún modelo tipo GARCH. Engle, Lilien y Robins (1987) encuentran que el logaritmo de la varianza estimada con un modelo ARCH es significativo para explicar el comportamiento de la prima.

Otros trabajos en esta línea son Taylor (1992), quien no encuentra efectos de la volatilidad ARCH en la prima en el Reino Unido, o Tzavalis y Wickens (1995), cuyos resultados indican que la alta persistencia en la volatilidad detectada para la economía americana es debida al cambio en los objetivos de la política monetaria de finales de los 70. Henry (1998)

(32) En el caso de la economía española los resultados difieren de los encontrados para la economía americana, ya que el efecto de la volatilidad es en unos casos negativo (Ayuso y de la Torre, 1991 y Freixas y Novales, 1992) y en otros positivo (Ezquiaga y Freixas, 1991 y Rico, 1999b).

(33) Este tipo de modelos, así como otras medidas de volatilidad, son tratados detalladamente en Bollerslev, Chou y Kroner (1992); Nijman y Palm (1991); Bera y Higgins (1993); Bollerslev, Engle y Nelson (1993); Palm (1996) o Robles (2002).

retoma el trabajo de Tzavalis y Wickens (1995) y, con una muestra de datos mayor, llega al resultado contrario, es decir, la persistencia en la varianza es independiente del cambio en la política monetaria. En el caso de la economía española, Ayuso, Novales y de la Torre (1991) estiman la volatilidad con un modelo ARCH y encuentran que ésta afecta positivamente al nivel de las primas (valor absoluto de las mismas)³⁴.

Bollerslev, Engle y Wooldridge (1988) proponen el análisis de la prima por plazo en un contexto GARCH-M multivariante. Partiendo del modelo de valoración de activos CAPM muestran que la prima viene determinada por la covarianza entre los tipos y los rendimientos de una cartera de activos de referencia. En esta línea Engle, Ng y Rothschild (1990), que analizan los tipos de las Letras del Tesoro americanas de 2 a 12 meses entre 1964 y 1985, hallan que es posible prever la prima con una cartera de Letras con la misma ponderación utilizando el modelo Factor-ARCH. Engle y Ng (1993), partiendo de este mismo modelo y con una muestra mayor encuentran que el efecto combinado de las expectativas y la prima variable es capaz de reproducir las curvas de tipos observadas en la economía. En periodos de volatilidad alta es la prima el factor determinante de la pendiente, mientras que en periodos de baja volatilidad el papel más importante lo juegan las expectativas.

Es importante destacar la relación entre los modelos GARCH y la contrastación empírica de los modelos teóricos financieros mostrados en el apartado 4. Los modelos GARCH se pueden considerar aproximaciones en tiempo discreto a procesos de difusión (Nelson, 1990). Por ello los modelos de valoración financieros aproximan el factor de volatilidad condicional con una especificación GARCH en tiempo discreto. Un ejemplo en esta línea se puede encontrar en Longstaff y Schwartz (1992).

Por último, frente al análisis de los determinantes de las primas por plazo vía modelización del riesgo, otros autores, como Mayfield y Murphy (1996) estiman modelos que permiten contrastar si efectivamente el rechazo de la HE se debe a la presencia de primas por plazo variables. Estos autores analizan el mercado de eurodepósitos partiendo del CAPM, el cual relaciona la prima de riesgo con un factor inobservable común entre las distintas divisas. Este factor se aproxima utilizando efectos fijos temporales y entre divisas en un modelo de datos de panel que permite mejorar la capacidad predictiva de la estructura temporal.

7. RESUMEN Y CONCLUSIONES

En este trabajo se ha realizado una revisión de la literatura tanto teórica como empírica sobre la estructura temporal de los tipos de interés. Se

(34) Robles (2003) compara el efecto de la volatilidad sobre el comportamiento de las primas en el mercado interbancario utilizando un conjunto de 10 medidas de volatilidad diferentes, entre las que se encuentran las medidas GARCH, la desviación típica móvil, el modelo de Fama o el de Luce entre otras. Encuentra que ese efecto depende de la medida de volatilidad utilizada.

ha tratado el análisis teórico de la ETTI tanto desde el punto de vista macroeconómico como desde el financiero. Del mismo modo se ha mostrado el análisis empírico de la ETTI.

En el caso del análisis macroeconómico, el interés principal está en determinar la relación entre las variables de la economía y la ETTI, con objeto de comprender los mecanismos de transmisión de las decisiones de política monetaria a la economía real. Para ello se parte de modelos de equilibrio general. Sin embargo, las propiedades de las series generadas por tales modelos distan mucho de ser similares a las de las variables financieras reales.

La economía financiera está más interesada en utilizar la estructura temporal para valorar activos financieros, para lo cual se analiza la ETTI a través de modelos de valoración por arbitraje en tiempo continuo. A partir del trabajo de Cox, Ingersol y Ross (1985b), se incorporan al análisis modelos de equilibrio general. Al igual que en el enfoque anterior, el contraste empírico de estos modelos es complejo y, en general, ha proporcionado resultados contradictorios.

En cuanto al análisis empírico de la ETTI es posible distinguir también dos enfoques: el contraste de la Hipótesis de las Expectativas y el análisis de las primas por plazo. En el primer caso, el resultado más frecuente ha sido el rechazo de esta teoría en sus distintas formulaciones, aunque se encuentran algunos aspectos que sí se ajustan a la misma, como la estacionariedad de los diferenciales de tipos de interés.

En general, ese rechazo se ha relacionado con la existencia de primas variables, existiendo consenso sobre que tal variabilidad se debe al riesgo o incertidumbre sobre la evolución futura de los tipos de interés. Sin embargo, el análisis del efecto del riesgo o cualquier otro posible determinante se encuentra con varios problemas. El primero de ellos es la no observabilidad de las primas. Para superarlo se han desarrollado métodos de estimación indirecta que conllevan la especificación de ecuaciones de comportamiento estáticas para las mismas.

El segundo problema está relacionado con la no observabilidad del riesgo. Generalmente se aproxima con alguna medida de volatilidad de los tipos. Sin embargo, no existe unanimidad sobre cuál es la medida más apropiada, al contrario, hay muchos métodos propuestos por la literatura. Se ha tratado de superar este problema con la aplicación al análisis de los modelos GARCH-M, que permiten la modelización conjunta de las primas, la volatilidad y la dependencia existente entre ambas, aunque los resultados obtenidos no son concluyentes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abad, P. (2003a): "Inestabilidad en la relación entre los tipos forward y los tipos de contado futuros en la estructura temporal del mercado de swaps de tipos de interés", *Moneda y Crédito*, nº 217, pp. 101-138.

- Abad, P. (2003b): "Un contraste alternativo de la hipótesis de las expectativas en swaps de tipos de interés", *Revista de Economía Financiera*, en prensa.
- Ayuso, J. y De La Torre, M. L. (1991): "Riesgo y volatilidad en el mercado interbancario", *Investigaciones Económicas*, vol. 15, n^o 1, pp. 89-119.
- Ayuso, J.; Novales, A. y De La Torre, M. L. (1991): "Estructura intertemporal y primas por plazo en el mercado interbancario", *Cuadernos Aragoneses de Economía*, vol. 1, n^o 1, pp. 35-53.
- Ayuso, J.; Novales, A. y De La Torre, M. L. (1992): "¿Incorporan los tipos del interbancario una evaluación del riesgo?", *Revista Española de Economía*, vol. 9, n^o 2, pp. 343-379.
- Backus, D. K. y Gregory, A. W. (1993): "Theoretical relations between risk premiums and conditional variances", *Journal of Business and Economic Statistics*, vol. 11, n^o 12, pp. 177-185.
- Backus, D. K.; Gregory, A. W. y Zin, S. E. (1989): "Risk premiums in the term structure: Evidence from artificial economies", *Journal of Monetary Economics*, vol. 24, n^o 3, pp. 371-399.
- Bekaert, G. y Hodrick, R. J. (2001): "Expectation hypotheses test", *Journal of Finance*, vol. 56, n^o 4, pp. 1357-1394.
- Bekaert, G.; Hodrick, R. J. y Marshall, D. A. (1997): "On biases of the expectation hypothesis of the term structure of interest rates", *Journal of Financial Economics*, vol. 44, n^o 3, pp. 309-348.
- Bera, A. K. y Higgins, M. L. (1993): "A survey of ARCH models: Properties, estimation and testing", *Journal of Economic Surveys*, vol. 7, n^o 4, pp. 305-366.
- Bierwag, G. O. (1987): *Duration analysis, Managing Interest Rate Risk*, Ballinger Publishing Company, Cambridge.
- Bollerslev, T.; Engle, R. F. y Wooldridge, J. M. (1988): "A capital asset pricing model with time-varying covariances", *Journal of Political Economy*, vol. 96, n^o 1, pp. 116-131.
- Bollerslev, T.; Chou, R. Y. y Kroner, K. F. (1992): "ARCH modeling in finance, a review of the theory and empirical evidence", *Journal of Econometrics*, vol. 52, n^o 1-2, pp. 5-59.
- Bollerslev, T.; Engle, R., F. y Nelson, D. B. (1994): "ARCH models", en Engle, R. F. y McFadden, D. L. (eds.), *Handbook of Econometrics*, vol. 4, Elsevier Science B. V., Amsterdam, pp. 2960-3037.
- Boudoukh, J. (1993): "An equilibrium model of nominal bond prices with inflation-output correlation and stochastic volatility", *Journal of Money, Credit and Banking*, vol. 25, n^o 3, pp. 636-665.

- Bradley, M. G. y Lumpkin, A. (1992): "The treasury yield curve as a cointegrated system", *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, vol. 27, nº 3, pp. 449-463.
- Brennan, M. J. y Schwartz, E. S. (1979): "A continuous time approach to the pricing of bonds", *Journal of Banking and Finance*, vol. 3, nº 2, pp. 133-155.
- Brennan, M. J. y Schwartz, E. S. (1980): "Analyzing convertible bonds", *Journal of Finance and Quantitative Analysis*, vol. 15, nº 4, pp. 907-929.
- Brown, S. J. y Dybvig, P. H. (1986): "The empirical implication of the Cox, Ingersoll and Ross theory of the term structure of interest rates", *Journal of Finance*, vol. 41, nº 3, pp. 617-632.
- Brown, R. y Schaefer, S. (1994): "The term structure of real interest rates and the Cox, Ingersoll and Ross model", *Journal of Financial Economics*, vol. 35, nº 1, pp. 3-42.
- Buse, A. (1970): "Expectations, prices, coupons and yields", *Journal of Finance*, vol. 25, nº 4, pp. 291-315.
- Caks, J. (1977): "The coupon effect on yield to maturity", *Journal of Finance*, vol. 32, nº 1, pp. 103-115.
- Campbell, J. Y. (1986a): "A defence of traditional hypotheses about the term structure of interest rates", *Journal of Finance*, vol. 41, nº 1, pp. 183-193.
- Campbell, J. Y. (1986b): "Bond and stock returns in a simple exchange model", *Quarterly Journal of Economics*, vol. 101, nº 4, pp. 786-803.
- Campbell, J. Y. (1995): "Some lessons from the yield curve", *Journal of Economic Perspectives*, vol. 9, nº 3, pp. 129-152.
- Campbell, J. Y. y Shiller, R. J. (1984): "A simple account of the behavior of long-term interest rates", *American Economic Review*, vol. 74, nº 2, pp. 44-48.
- Campbell, J. Y. y Shiller, R. J. (1987): "Cointegration and tests of present value models", *Journal of Political Economy*, vol. 95, nº 5, pp. 1062-1088.
- Campbell, J. Y. y Shiller, R. J. (1991): "Yield spreads and interest rates movements: A bird's eye view", *Review of Economics Studies*, vol. 58, nº 3, pp. 495-514.
- Campbell, J. Y.; Lo, A. W. y McKinlay, A. C. (1997): *The Econometrics of Financial Markets*, Princeton University Press, New Jersey.
- Chan, K. G.; Karolyi, G. A.; Longstaff, F. A. y Sanders, A. B. (1992): "An empirical comparison of alternative models of the short-term interest rate", *Journal of Finance*, vol. 48, nº 4, pp. 1209-1227.

- Chaplin, G. B. y Sharp, K. P. (1993): "Analytic solutions for bonds and bond options under correlated stochastic processes", Research Report n° 93-16, Institute of Insurance and Pension Research, U. of Waterloo.
- Chen, R. R. y Scott, L. O. (1992): "Pricing interest rate options in a two-factor Cox- Ingersoll-Ross model of the term structure", *Review of Financial Studies*, vol. 5, n° 4, pp. 613-636.
- Constantinides, G. (1992): "A theory of the nominal structure of interest rates", *Review of Financial Studies*, vol. 5, n° 4, pp. 531-552.
- Contreras, D. y Navarro, E. (1993): "The use of exponential splines for the estimation of the intertemporal structure of the interest rates in the Spanish market", Asset Meeting, Barcelona.
- Contreras, D.; Ferrer, R.; Navarro, E. y Nave, J. M. (1996): "Análisis factorial de la estructura temporal de los tipos de interés en España", *Revista Española de Financiación y Contabilidad*, vol. 25, n° 86, pp. 139-160.
- Cox, J. C.; Ingersoll, J. E. y Ross, S. A. (1981): "A re-examination of traditional hypotheses about the term structure of interest rates", *Journal of Finance*, vol. 36, n° 4, pp. 769-799.
- Cox, J. C.; Ingersoll, J. E. y Ross, S. A. (1985a): "An intertemporal general equilibrium model of asset prices", *Econometrica*, vol. 53, n° 2, pp. 363-384.
- Cox, J. C.; Ingersoll, J. E. y Ross, S. A. (1985b): "A theory of the term structure of interest rates", *Econometrica*, vol. 53, n° 2, pp. 385-407.
- Culbertson, J. M. (1957): "The term structure of interest rates", *Quarterly Journal of Economics*, vol. 71, n° 4, pp. 485-517.
- Dahlquist, M. (1996): "On alternative interest rates processes", *Journal of Banking and Finance*, vol. 20, n° 6, pp. 1093-1119.
- Diller, S. (1969): "Expectations and the term structure of interest rates", en Mincer, J. (ed.), *Economic Forecast and Expectations: Analysis of Forecasting Behavior and Performance*, NBER, Nueva York, pp. 47-62.
- Domínguez, E. J. (1995): "Características de la estructura temporal de las rentabilidades en un modelo de equilibrio general estocástico", Tesis Doctoral, Dpto. Economía Cuantitativa, Universidad Complutense de Madrid.
- Domínguez, E. y Novales, A. (2000): "Testing the expectations hypothesis in Eurodeposits", *Journal of International Money and Finance*, vol. 19, n° 5, pp. 713-736.
- Dothan, L. U. (1978): "On the term of interest rates", *Journal of Financial Economics*, vol. 6, n° 1, pp. 59-69.

- Driffill, J.; Psaradakis, Z. y Sola, M. (1997): "A reconciliation of some paradoxical empirical results on the expectations model of the term structure", *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, vol. 59, nº 1, pp. 29-42.
- Ederington, L. H. y Huang, C. H. (1995): "Parameter uncertainty and the rational expectations model of the term structure", *Journal of Banking and Finance*, vol. 19, nº 2, pp. 207-223.
- Engle, R. F. y Ng, V. K. (1993): "Time-varying volatility and the dynamic behavior of the term structure", *Journal of Money, Credit and Banking*, vol. 25, nº 3-1, pp. 337-349.
- Engle, R. F.; Lilien, D. M. y Robins, R. P. (1987): "Estimating time varying risk premia in the term structure: The ARCH-M model", *Econometrica*, vol. 55, nº 2, pp. 391-407.
- Engle, R. F.; Ng, V. K. y Rothschild, M. (1990): "Asset pricing with factor ARCH covariance structure", *Journal of Econometrics*, vol. 45, nº 1-2, pp. 213-238.
- Engsted, T. (1996): "The predictive power of the money market term structure", *International Journal of Forecasting*, vol. 12, nº. 2, pp. 289-295.
- Engsted, T. y Tanggaard, C. (1994): "Cointegration and the US term structure", *Journal of Banking and Finance*, vol. 18, nº 1, pp. 167-181.
- Engsted, T. y Tanggaard, C. (1995): "The predictive power of yield spreads for future interest rates: evidence from the danish term structure", *Scandinavian Journal of Economics*, vol. 97, nº 1, pp. 145-159.
- Evans, M. D. D. y Lewis, K. K. (1994): "Do stationary risk premia explain it all? Evidence from the term structure", *Journal of Monetary Economics*, vol. 33, nº 2, pp. 285-318.
- Ezquiaga, I. (1990): "El análisis de la estructura temporal de los tipos de interés en el mercado español", *Información Comercial Española*, nº 668, pp. 119-140.
- Ezquiaga, I. y Freixas, X. (1991): "El mercado repo de Letras del Tesoro: Análisis empírico", Documento de Trabajo nº 89-09, vers. 1991, FEDEA.
- Fama, E. F. (1976a): "Inflation uncertainty and expected return on Treasury bills", *Journal of Political Economy*, vol. 84, nº 3, pp. 135-162.
- Fama, E. F. (1976b): "Forward rates as predictors of future spot rates", *Journal of Financial Economics*, vol. 3, nº 4, pp. 316-377.
- Fama, E. F. (1984a): "The information in the term structure", *Journal of Financial Economics*, vol. 13, nº 4, pp. 509-528.

- Fama, E. F. (1984b): "Term premiums in bond returns", *Journal of Financial Economics*, vol. 13, n^o 4, pp. 529-546.
- Fama, E. F. y Bliss, R. R. (1987): "The information in long-maturity forward rates", *American Economic Review*, vol. 77, n^o 4, pp. 680-692.
- Fernández-Serrano, J. L. y Robles, M. D. (2003): "Teoría de las expectativas y cambio estructural: un análisis de las primas por plazo en los tipos a corto españoles", mimeo, Universidad Complutense de Madrid.
- Fernández-Serrano, J. L. y Robles, M. D. (2004): "Política Monetaria y cambios de régimen en los tipos de interés del mercado interbancario", *Investigaciones Económicas*, en prensa.
- Fisher, I. (1930): *Theory of Interest*, The MacMillan Company, Nueva York.
- Flores, R. (1995a): "A VARMA approach to estimating term premia: The case of the Spanish interbank money market", *Applied Financial Economics*, vol. 5, n^o 6, pp. 409-418.
- Flores, R. (1995b): "Estimación de las primas por plazo sobre tipos de interés en un contexto multivariante", *Revista Española de Economía*, vol. 12, n^o 2, pp. 191-218.
- Freixas, X. (1992): "Estructura temporal de los tipos de interés: Hipótesis teóricas y resultados empíricos", *Investigaciones Económicas*, vol. 16, n^o 2, pp. 187-203.
- Freixas, X. y Novales, A. (1992): "Primas de riesgo y cambio de habitat", *Revista Española de Economía*, Monográfico: Mercados Financieros Españoles, pp. 135-162.
- Friedman, B. M. (1980): "Survey evidence on the rationality of interest rate expectation", *Journal of Monetary Economics*, vol. 6, n^o 4, pp. 453-465.
- Froot, K. A. (1989): "New hope for the expectations hypothesis of the term structure of interest rates", *Journal of Finance*, vol. 44, n^o 2, pp. 283-305.
- Gerlach, S. y Smets, F. R. (1997): "The term structure of Euro-rates: some evidence in support of the expectations hypothesis", *Journal of International Money and Finance*, vol. 16, n^o 2, pp. 305-323.
- Gómez, I. y Novales, A. (1997): "Estrategias de inmunización ante posibles desplazamientos de la estructura temporal", Documento de Trabajo n^o 9707, ICAE, Universidad Complutense de Madrid.
- Hall, A. D.; Anderson, H. M. y Granger, C. W. J. (1992): "A cointegration analysis of treasury bill yield", *Review of Economics and Statistics*, vol. 74, n^o 1, pp. 116-125.
- Hamilton, J. D. (1988): "Rational-expectation econometric analysis of changes in regime. An investigation of the term structure of interest rates", *Journal of Economic Dynamics and Control*, vol. 12, n^o 2-3, pp. 385-423.

- Hardouvelis, G. A. (1988): "The predictive power of the term structure during recent monetary regimes", *Journal of Finance*, vol. 43, nº 2, pp. 339-356.
- Hardouvelis, G. A. (1994): "The term structure spread and future changes in long and short rates in the G7 countries: Is ther a puzzle?", *Journal of Monetary Economics*, vol. 33, nº 2, pp. 255-283.
- Heath, D.; Jarrow, R. y Morton, A. (1992): "Bond pricing and the term structure of interest rates: a new methodology for contingent claims valuation", *Econometrica*, vol. 60, nº 1, pp. 77-105.
- Henry, O. T. (1998): "The volatility of US term structure term premia 1952-1991", Research Paper nº 620, Universidad de Melburne.
- Hicks, J. R. (1946): *Value and Capital*, Oxford University Press, Oxford.
- Ho, T. S. Y. y Lee, S. B. (1986): "Term structure movements and pricing interest rates contingent claims", *Journal of Finance*, vol. 41, nº 5, pp. 1011-1029.
- Hull, J. y White, A. (1990): "Pricing interest-rate derivatives securities", *Review of Financial Studies*, vol. 3, nº 4, pp. 573-592.
- Hull, J. y White, A. (1993): "One-factor interest-rate models and the valuation of interest-rate derivatives securities", *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, vol. 28, nº 2, pp. 235-254.
- Hurn, A. S.; Moody, T. y Muscatelli, V. A. (1995): "The term structure of interest rates in the London interbank market", *Oxford Economic Papers*, vol. 47, nº 3, pp. 418-436.
- Jamshidian, F. (1991): "Bond and option valuation in the Gaussian interest rate model", *Research in Finance*, vol. 9, pp. 131-170.
- Johansen, S. (1988): "Statistical analysis of cointegration vectors", *Journal of Economics Dynamics and Control*, vol. 12, nº 2-3, pp. 231-254.
- Johansen, S. (1991): "Estimation and hypothesis testing of cointegration vectors in gaussian vector autoregressive models", *Econometrica*, vol. 59, nº 6, pp. 1551-1580.
- Johansen, S. y Juselius, K. (1990): "Maximun likelihood estimation and inference on cointegration with applications on the demand of money", *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, vol. 52, pp. 169-210.
- Johnson, P. A. (1994): "On the number of common unit roots in the term structure of interest rates", *Applied Economics*, vol. 26, nº 8, pp. 815-820.
- Jones, D. S. y Roley, V. V. (1983): "Rational expectations and the expectation model of the term structure", *Journal of Monetary Economics*, vol. 12, nº 3, pp. 453-465.

- Jorion, P. (1992): "Term premiums and the integration of the eurocurrency markets", *Journal of International Money and Finance*, vol. 11, n^o 1, pp. 17-39.
- Jorion, P. y Mishkin, F. S. (1991): "A multicountry comparison of term-structure forecasts at long horizons", *Journal of Financial Economics*, vol. 29, n^o 1, pp. 59-80.
- Kane, E. J. y Malkiel, B. (1967): "The term structure of interest rates: An analysis of survey of interest rate expectations", *Review of Economics and Statistics*, vol. 49, n^o 3, pp. 343-355.
- Kessel, R. A. (1965): *The cyclical behavior of the term structure of interest rates*, NBER, Nueva York.
- Kraus, A. y Smith, M. (1993): "A simple multifactor term structure model", *Journal of Fixed Income*, pp. 19-23.
- Lamothe, P. y Soler, J. A. (1996): *Swaps y otros derivados OTC en tipos de interés*, McGraw-Hill, Madrid.
- Lamothe, P.; Soler, J. A. y Leber, M. (1995): "Un estudio sobre la estructura temporal de los tipos cupón cero. Aproximación práctica al caso español", *Actualidad Financiera*, vol. 30, pp. 1069-1108.
- Longstaff, F. A. (1990): "Time varying term premia and traditional hypotheses about the term structure", *Journal of Finance*, vol. 45, n^o 4, pp. 1307-1314.
- Longstaff, F. A. (2000): "The term structure of very short-term rates: New evidence for the expectation hypothesis", *Journal of Financial Economics*, vol. 58, n^o3, pp. 397-415.
- Longstaff, F. A. y Schwartz, E. S. (1992): "Interest rate volatility and the term structure: A two factor general equilibrium model", *Journal of Finance*, vol. 47, n^o 4, pp. 1259-1282.
- Luce, R. D. (1980): "Several possible measures of risk", *Theory and Decision*, vol. 12, pp. 217-228.
- Lutz, F. A. (1940): "The structure of interest rates", *Quarterly Journal of Economics*, vol. 55, n^o 1, pp. 36-63.
- Macdonald, R. y Speight, A. E. H. (1988): "The term structure of interest rates in the UK", *Bulletin of Economic Research*, vol. 40, n^o 4, pp. 287-299.
- Malkiel, B. G. (1966): *The Term Structure of Interest Rates: Expectations and Behavior Patterns*, Princeton University Press, Princeton.
- Mankiw, N. G. (1986): "The term structure of interest rates revisited", *Brooking Papers on Economic Activity*, vol. 1, pp. 61-107.
- Mankiw, N. G. y Summers, L. H. (1984): "Do long-term interest rates overreact to short-term interest rates?", *Brooking Papers on Economic Activity*, vol. 1, pp. 223-247.

- Mankiw, N. G. y Miron, J. A. (1986): "The changing behavior of the term structure of interest rates", *Quarterly Journal of Economics*, vol. 101, nº 2, pp. 211-228.
- Mankiw, N. G.; Miron, J. A. y Weil, D. N. (1987): "The adjustment of expectation of a change in regime: A study of the founding of the Federal Reserve", *American Economic Review*, vol. 77, nº 3, pp. 358-374.
- Martín, A. M. y Pérez Villareal, J. A. (1990): "La estructura temporal de los tipos de interés: El mercado español de depósitos interbancarios", *Moneda y Crédito*, vol. 191, pp. 173-193.
- Martín, R. y Treadway, A. B. (1997): "The Fed controls only one of the two interest rates in the U. S. Economy", Documento de Trabajo nº 9716, ICAE, Universidad Complutense de Madrid.
- Massot, M. y Nave, J. M. (2003): "La hipótesis de las expectativas a largo plazo: Evidencia en el mercado español de deuda pública", *Investigaciones Económicas*, vol. 27, nº 3, pp. 533-564.
- Mayfield, E. S. y Murphy, R. G. (1996): "Explaining the term structure of interest rates: A panel data approach", *Journal of Economics and Business*, vol. 48, nº 1, pp. 11-21.
- Mcculloch, J. H. (1971): "Measuring the term structure of interest rates", *Journal of Business*, vol. 44, nº 1, pp. 19-31.
- Mcculloch, J. H. (1975a): "An estimate of the liquidity premium", *Journal of Political Economy*, vol. 83, nº 1, pp. 95-119.
- Mcculloch, J. H. (1975b): "The tax-adjusted yield curve", *Journal of Finance*, vol. 30, nº 3, pp. 811-830.
- Mehra, R. y Prescott, E. (1985): "The equity premium: A puzzle", *Journal of Monetary Economics*, vol. 15, nº 1, pp. 145-161.
- Meiselman, D. (1962): *The term structure of interest rates*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, Nueva Jersey.
- Melino, A. (1988): "The term structure of interest rates: Evidence and theory", *Journal of Economic Surveys*, vol. 2, nº 4, pp. 335-366.
- Mishkin, F. S. (1982): "Monetary policy and short-term interest rates: An efficient markets-rational expectations approach", *Journal of Monetary Economics*, vol. 37, nº 1, pp. 63-72.
- Modigliani, F. y Sutch, R. (1966): "Innovations and interest rates policy", *American Economic Review*, vol. 56, nº 1, pp. 178-197.
- Modigliani, F. y Shiller, R. J. (1973): "Inflation, rational expectations and the term structure of interest rates", *Economica*, vol. 40, nº 157, pp. 12-43.
- Moreno, M. (1996): "A two-mean reverting-factor model of the term structure of interest rates", Economic Working Paper nº 193, Universidad Pompeu Fabra.

- Moreno, M. (2000): "Modelización de la estructura temporal de los tipos de interés: Valoración de activos derivados y comportamiento empírico", *Revista Española de Financiación y Contabilidad*, vol. 29, n^o 104, pp. 345-376.
- Moreno, M. y Peña, I. (1996): "On the term structure of interbank interest rates: Jump-diffusion processes and option pricing", *Economic Working Paper n^o 191*, Universidad Pompeu Fabra.
- Morini, S. y Calatayud, F. P. (1999): "Un análisis de los modelos de estimación de la estructura temporal de tipos de interés", VII Foro de Finanzas, Valencia.
- Mougoué, M. (1992): "The term structure of interest rates as a cointegrated system: Empirical evidence from the eurocurrency market", *Journal of Financial Research*, vol. 15, n^o 3, pp. 285-298.
- Muth, J. F. (1961): "Rational expectation and the theory of price movements", *Econometrica*, vol. 29, n^o 2, pp. 315-335.
- Navas, J. F. (1999): "Consistent versus non-consistent term structure models: some evidence from Spanish market", *Journal of Fixed Income*, vol. 9, n^o 3, pp. 42-60.
- Nelson, D. B. (1990): "ARCH models as diffusions approximations", *Journal of Econometrics*, vol. 45, n^o 1, pp. 7-38.
- Nelson, C. R. y Siegel, A. F. (1987): "Parsimonious modeling of yield curve for U. S. treasury bills", *Journal of Business*, vol. 60, n^o 4, pp. 473-489.
- Nijman, T. E. y Palm, F. C. (1991): "Recent developments in modeling volatility in financial data", Working Paper n^o 9168, Center of Economic Research, Tilburg University.
- Nourzad, F. y Grennier, R. S. (1995): "Cointegration analysis of the expectation theory of the term structure", *Journal of Economics and Business*, vol. 47, n^o 3, pp. 281-292.
- Novalés, A. y Abad, P. (2002): "Risk premia in the term structure of swaps in pesetas", Documento de Trabajo n^o 0219, ICAE, Universidad Complutense de Madrid.
- Núñez, S. (1995): "Estimación de la estructura temporal de los tipos de interés en España: Elección entre métodos alternativos", Documento de Trabajo n^o 9522, Banco de España.
- Núñez, S. (1997): "Estimación de estructuras temporales para diversas monedas: El método de Svensson frente al de sustitución sucesiva", *Boletín Económico del Banco de España*, octubre, pp. 73-80.
- Pagan, A. R.; Hall, A. D. y Martin, V. (1996): "Modeling the term structure", en Maddala, G. S. y Rao, C. R. (eds.), *Handbook of Statistics*, Elsevier Science B. V., Amsterdam, pp. 91-118.

- Palm, F. C. (1996): *GARCH models for volatility*, Elsevier Science B. V., Amsterdam.
- Penacchi, G. (1991): "Identifying the dynamics of real interest rates and inflation: Evidence using survey data", *Review of Financial Studies*, vol. 4, nº 1, pp. 53-86.
- Pérez, J. V.; Sáez, M. y Murillo, C. (1997): "Expectativas y volatilidad condicionada. Los tipos de interés en el mercado interbancario", *Revista de Economía Aplicada*, vol. 5, nº 13, pp. 83-107.
- Prats, M. A. y Beyaert, A. (1998): "Testing the expectations theory in a market of short-term financial assets", *Applied Financial Economics*, vol. 8, nº 1, pp. 101-109.
- Rico, P. (1999a): "Primas por plazo en el mercado español de deuda pública", *Revista de Economía Aplicada*, vol. 19, pp. 61-83.
- Rico, P. (1999b): "La estructura temporal de los tipos de interés en España: el modelo de Cox, Ingersoll y Ross", *Investigaciones Económicas*, vol. 23, nº 3, pp. 451-470.
- Rico, P. (2000): "Procesos estocásticos del tipo de interés a corto plazo", *Revista de Economía Aplicada*, vol. 22, pp. 57-70.
- Robles, M. D. (2002): "Medidas de volatilidad", *Revista Española de Financiación y Contabilidad*, vol. 31, nº 114, pp. 1073-1110.
- Robles, M. D. (2003): *Medidas de volatilidad y primas por plazo dentro de la estructura temporal de los tipos de interés: el mercado interbancario español*, Editorial Complutense, Madrid.
- Robles, M. D. y Flores, R. (2000): "Time varying term premia and risk: The case of the Spanish Interbank Money Market", *Applied Financial Economics*, vol. 10, nº 3, pp. 243-260.
- Rudebusch, G. D. (1995): "Federal reserve interest rate targeting, rational expectation and the term structure", *Journal of Monetary Economics*, vol. 35, nº 2, pp. 245-274.
- Salzer, K. D. (1990): "The term structure and time series properties of nominal interest rates: Implications from theory", *Journal of Money, Credit and Banking*, vol. 22, nº 4, pp. 478-490.
- Shea, G. (1984): "Pitfalls in smoothing interest rate term structure data: Equilibrium models and spline approximations", *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, vol. 19, nº 3, pp. 253-269.
- Shiller, R. J. (1979): "The volatility of long-term interest rates and expectation models of the term structure", *Journal of Political Economy*, vol. 87, nº 6, pp. 1190-1219.

- Shiller, R. J. (1986): "Comment on N. G. Mankiw, 'The term structure of interest rates revisited'", *Brooking Papers on Economic Activity*, vol. 1, pp. 100-107.
- Shiller, R. J. (1990): "The term structure of interest rates", en Friedman, B. M. y Han, F. H. (ed.) *Handbook of Monetary Economics*, North Holland, Amsterdam, pp. 626-723.
- Shiller, R. J.; Campbell, J. Y. y Schoenholtz, K. L. (1983): "Forward rates and future policy: Interpreting the term structure of interest rates", *Brooking Papers on Economic Activity*, vol. 1, pp. 173-224.
- Siklos, P. L. y Wohar, M. E. (1996): "Cointegration and the term structure: A multicountry comparison", *International Review of Economics and Finance*, vol. 5, n° 1, pp. 21-34.
- Singleton, K. J. (1989): "Modeling the term structure of interest rates in general equilibrium", en Bhattacharya, S. y Costantinides, G. M. (ed.) *Theory of Valuation: Frontiers of Modern Financial Theory*, Rowman y Littlefield, Totowa, Nueva Jersey, pp. 152-164.
- Sola, M. y Driffill, J. (1994): "Testing the term structure of interest rates using a stationary vector autoregression with regime switching", *Journal of Economic Dynamics and Control*, vol. 18, n° 3-4, pp. 601-628.
- Stambaugh, R. (1988): "The information in forward rates: Implications for models of the term structure", *Journal of Financial Economics*, vol. 21, n° 1, pp. 41-70.
- Svenson, L. (1994): "Estimating and interpreting forward interest: Sweden 1992-1994", Working Paper n° 4871, NBER.
- Taylor, M. P. (1992): "Modeling the yield curve", *Economic Journal*, vol. 102, n° 412, pp. 524-537.
- Tzavalis, E. y Wickens, M. R. (1995): "The persistence in volatility of the US term premium 1970-1986", *Economic Letters*, vol. 49, n° 4, pp. 381-389.
- Vasicek, O. A. (1977): "An equilibrium characterization of the term structure", *Journal of Financial Economics*, vol. 5, n° 2, pp. 177-188.
- Vasicek, O. A. y Fong, H. G. (1982): "Term structure modeling using exponential splines", *Journal of Finance*, vol. 37, n° 2, pp. 339-348.
- Vetzal, K. R. (1992): "The impact of stochastic volatility on bond option prices", Working Paper n° 92-08, Universidad de Waterloo, Institute of Insurance and Pension Research.
- Vetzal, K. R. (1994): "A survey of stochastic continuous time models of the term structure of interest rates", *Insurance: Mathematics and Economics*, vol. 14, n° 2, pp. 139-161.
- Zhang, H. (1993): "Treasury yield curves and cointegration", *Applied Economics*, vol. 25, n° 3, pp. 361-367.

ABSTRACT

This work reviews the theoretical and empirical literature on the term structure of interest rates (TSIR). We classify theoretical models in macroeconomic ones, interested in determining the relation between the variables of the economy and the TSIR, and financial ones, which start from the arbitrage valuation continuous time. The empirical literature is focused on testing the Expectations Hypothesis (EH), and on analyzing the term premia. The first ones generally reject several implications of EH, indicating the existence of variable term premia. These premia are analyzed as a function of the risk on the future evolution of the rates.

Key words: term structure of interest rates, expectations hypothesis, term premia.