Banco de México
Documentos de Investigación

Banco de México
Working Papers

N° 2008-07

**Un Análisis Empírico de la Estructura Temporal de
Tasas de Interés en México**

Josué Fernando Cortés Espada
Banco de México

Manuel Ramos-Francia
Banco de México

Alberto Torres García
Banco de México

Julio 2008

La serie de Documentos de Investigación del Banco de México divulga resultados preliminares de trabajos de investigación económica realizados en el Banco de México con la finalidad de propiciar el intercambio y debate de ideas. El contenido de los Documentos de Investigación, así como las conclusiones que de ellos se derivan, son responsabilidad exclusiva de los autores y no reflejan necesariamente las del Banco de México.

The Working Papers series of Banco de México disseminates preliminary results of economic research conducted at Banco de México in order to promote the exchange and debate of ideas. The views and conclusions presented in the Working Papers are exclusively the responsibility of the authors and do not necessarily reflect those of Banco de México.

Un Análisis Empírico de la Estructura Temporal de Tasas de Interés en México*

Josué Fernando Cortés Espada[†]
Banco de México

Manuel Ramos-Francia[‡]
Banco de México

Alberto Torres García[§]
Banco de México

Resumen

Se estudia la dinámica de la estructura temporal de tasas de interés en México. En particular, se investiga la variación en las primas de riesgo implícitas en los bonos gubernamentales y los factores comunes que afectan el comportamiento de la curva de rendimientos. La evidencia sugiere que las primas de riesgo varían a través del tiempo. Posteriormente se estima un modelo de componentes principales. Se encuentra que más del 95 % de la variación total en la curva de rendimientos puede ser explicada por 2 factores. El primer factor captura movimientos en el nivel de la curva de rendimientos, mientras que el segundo captura movimientos en la pendiente. Adicionalmente, se encuentra que el primer factor muestra una correlación positiva con indicadores de expectativas de inflación de largo plazo, mientras que la correlación del segundo factor con la tasa de interés de corto plazo es negativa.

Palabras Clave: Estructura-Temporal, Primas de Riesgo Variables, Componentes Principales.

Abstract

We study the dynamics of the term-structure of interest rates in Mexico. Specifically, we investigate time variation in bond risk premia and the common factors that have influenced the behavior of the yield curve. We find that term-premia in government bonds appear to be time-varying. We then estimate a principal components model. We find that over 95 % of the total variation in the yield curve can be explained by two factors. The first factor captures movements in the level of the yield curve, while the second one captures movements in the slope. Moreover, we find that the level factor is positively correlated with measures of long-term inflation expectations and that the slope factor is negatively correlated with the overnight interest rate.

Keywords: Term-Structure, Time-Varying Risk Premia, Principal Components.

JEL Classification: C13, E43, G12.

*Este documento se presentó en mayo de 2008 en el Taller de Economistas en Jefe, del Centro de Estudios de Banca Central del Banco de Inglaterra. Agradecemos a los participantes por sus comentarios. Este artículo es parte de un proyecto de investigación del Banco de México. Agradecemos a Juan Pedro Treviño por su contribución a este proyecto. De igual manera agradecemos a Ana María Aguilar, Arturo Antón, Emilio Fernandez-Corugedo y Carlos Capistrán por sus valiosos comentarios y sugerencias. Julieta Alemán, Jorge Mejía, Claudia Ramírez y Diego Villamil proporcionaron excelente ayuda en la investigación.

[†] Dirección General de Investigación Económica. Email: jfcortes@banxico.org.mx.

[‡] Dirección General de Investigación Económica. Email: mrfran@banxico.org.mx.

[§] Dirección General de Investigación Económica. Email: atorres@banxico.org.mx.

1. Introducción

En contraste con la amplia y creciente literatura teórica y empírica sobre la estructura temporal dinámica que estudia el comportamiento de la curva de rendimientos en los mercados desarrollados de bonos gubernamentales, no hay prácticamente ningún estudio sistemático del comportamiento de la curva de rendimientos ni del desempeño de los modelos dinámicos de la estructura temporal en los mercados emergentes. En este trabajo se estudia la información contenida en la estructura temporal de las tasas de interés en México. Más concretamente, se estudia la dinámica de la estructura temporal de las tasas de interés entre los años 2001 y 2008. Al igual que en Campbell (1995), en primer lugar se estudia la variación temporal de los rendimientos en exceso de los bonos para comprobar la existencia de primas de riesgo variables en el tiempo en el mercado mexicano de bonos. En segundo lugar, se presenta una estimación de la curva de rendimientos en México mediante un modelo de componentes principales de acuerdo con Litterman y Scheinkman (1991). Este enfoque nos permite analizar los factores comunes que han influido en el comportamiento de la curva de rendimientos a lo largo del tiempo, y de resumir la información contenida en la estructura temporal de las tasas de interés en un número reducido de componentes principales. A diferencia de la mayoría de los modelos de estructura temporal, los factores que impulsan la dinámica de ésta están vinculados a variables macroeconómicas observables; es decir, a las expectativas de inflación y a la tasa de fondeo bancario. Este trabajo es parte de un proyecto de investigación que estudia la dinámica conjunta de los rendimientos de los bonos y las variables macroeconómicas en México.

En el ámbito de las finanzas y la economía existen diferentes razones por las que es importante entender qué es lo que impulsa la estructura temporal de las tasas de interés. En primer lugar, están los pronósticos. Cuando se ajustan por el riesgo, los rendimientos de los bonos de largo plazo representan los valores esperados del promedio de los rendimientos futuros de corto plazo. Por lo tanto, la curva de rendimientos contiene información acerca del rumbo esperado de la economía en el futuro. En particular, los diferenciales de rendimiento han sido útiles para los pronósticos no sólo de los rendimientos futuros de corto plazo y de las primas de riesgo (Campbell y Shiller 1991, Cochrane y Piazzesi 2002), sino también de

la actividad económica real (Harvey 1988, Estrella 1991, Ang, Piazzesi y Wei 2002) y la inflación (Mishkin 1990, Fama 1990). Estos pronósticos ofrecen una base para las decisiones de inversión de las empresas, las decisiones de ahorro de los consumidores y las decisiones de política económica. La segunda razón está estrechamente vinculada a la política monetaria. Los bancos centrales son capaces únicamente de mover el extremo de la curva de rendimientos correspondiente al corto plazo a través de sus decisiones de política monetaria. Sin embargo, la demanda agregada también depende de los rendimientos de largo plazo. Por lo tanto, es importante entender la manera en que los movimientos en el extremo correspondiente al corto plazo se traducen a los rendimientos de largo plazo (por ejemplo, Balduzzi, Bertola y Foresi 1996, Piazzesi 2001, Evans y Marshall 1998, 2001). La política de deuda constituye una tercera razón. Al emitir nueva deuda, los gobiernos deben decidir sobre el vencimiento de los bonos nuevos. Por ejemplo, Cochrane (2001) caracteriza la dependencia de la estructura temporal nominal de la política de deuda en una economía sin fricciones, Missale (1997) considera los impuestos distorsivos, mientras que Angeletos (2002) supone que los mercados son incompletos. La fijación de precios de los derivados y el comportamiento de las operaciones de cobertura del riesgo son una cuarta razón. Los precios de los títulos de valores complejos, tales como *swaps*, *caps* y *floors*, opciones sobre tasas de interés y futuros pueden calcularse a partir de un modelo determinado de la curva de rendimientos (por ejemplo, Duffie, Pan y Singleton 2000). Además, los bancos necesitan controlar el riesgo de pagar tasas de interés de corto plazo sobre depósitos y recibir tasas de interés de largo plazo sobre préstamos. Las estrategias de cobertura del riesgo dependen de tasas de interés futuras de corto plazo, como los contratos de *swaps*. Para formular las estrategias adecuadas (por ejemplo, Litterman y Scheinkman 1991), los bancos necesitan saber hasta qué punto el precio de los títulos de los valores derivados depende de los factores de riesgo que impulsan la dinámica de las expectativas de las tasas futuras de corto plazo y las primas de riesgo.

El artículo está estructurado de la siguiente manera. El análisis comienza en la Sección 2, donde se presentan algunos indicadores estadísticos que ilustran el comportamiento de la curva de rendimientos en el tiempo. Una primera inspección de los datos sugiere la presencia de primas de riesgo variables en el tiempo. En la Sección 3 se examinan los rendimientos en exceso por tenencia de bonos con distintos vencimientos, al igual que en Campbell (1995). De

manera similar a los estudios sobre los mercados de bonos de las economías desarrolladas, encontramos que las primas por plazo de los bonos gubernamentales parecen variar en el tiempo. En la Sección 4 se lleva a cabo un análisis de componentes principales para identificar los factores comunes que impulsan la dinámica de la estructura temporal de las tasas de interés en México. Al igual que en la literatura para las economías desarrolladas, se concluye que más del 95 % de la variación total de la curva de rendimientos se puede explicar con base en dos factores. Se demuestra que el primer factor captura movimientos en el nivel de la curva de rendimientos, mientras que el segundo factor captura movimientos en la pendiente de la misma. Además, se concluye que el factor de nivel de la curva tiene una correlación positiva con medidas de expectativas de inflación de largo plazo y que el factor de pendiente muestra una correlación negativa con la tasa de fondeo bancario (el instrumento de política monetaria). Esta evidencia estadística sugiere que los choques que afectan las expectativas de inflación de largo plazo tienden a influir sobre el nivel de la curva de rendimientos, mientras que los choques que inducen al banco central a mover la tasa de interés de corto plazo influyen sobre la pendiente de la curva de rendimientos. Por último, en la sección 5 se presentan las conclusiones.

2. Descripción de la Estructura Temporal de las Tasas de Interés en México

Esta sección se divide en dos partes. La primera presenta una breve descripción de la evolución de la curva de rendimientos en México a través del tiempo. La segunda presenta las estadísticas descriptivas para analizar algunas regularidades empíricas de la estructura temporal de las tasas de interés.

2.1. La Curva de Rendimientos en México

Durante los últimos años, México ha convergido a un equilibrio bajo y estable de inflación.¹ Por consiguiente, el ambiente macroeconómico se ha vuelto estable. La estabilidad

¹Chiquiar, Noriega y Ramos Francia (2007) concluyen que la inflación en México parece haber cambiado de un proceso no estacionario a un proceso estacionario a finales del año 2000 o principios del 2001.

macroeconómica, junto con una importante evolución de la regulación, han sido clave para fomentar el desarrollo del sector financiero y, en especial, el mercado de los bonos gubernamentales. En la última década se han desarrollado considerablemente tanto el mercado primario como el secundario de los bonos públicos con diferentes vencimientos. El gobierno mexicano ha emitido bonos a tasa fija de 3 meses desde 1978. En los últimos años ha podido emitir bonos a tasa fija para vencimientos más largos. En el periodo posterior a la crisis de 1995, los bonos con vencimiento superior a un año se emitieron por primera vez en 2000, mientras que los bonos a 30 años se emitieron por primera vez en octubre de 2006. La Figura 1 muestra la evolución de la curva de rendimientos en México.

Figura 1
Curva de Rendimientos Gubernamental

Fuente: Banco de México. Promedio anual. Para 2008, promedio enero-marzo.

2.2. Estadísticas Descriptivas

Para describir la dinámica de la curva de rendimientos se utilizaron bonos cupón cero. La curva de rendimientos correspondiente a los bonos cupón cero es de gran importancia tanto en la teoría como en la práctica. Desde una perspectiva conceptual, la curva de rendimientos

de los bonos cupón cero determina el valor que los inversionistas otorgan hoy a los pagos nominales en todas las fechas futuras y constituye un determinante fundamental de casi todos los precios de los activos y las decisiones económicas. Los rendimientos de los bonos cupón cero representan los pilares fundamentales de los mercados de valores de renta fija. Por ejemplo, los bonos con cupón pueden valuarse como portafolios de bonos cupón cero con beneficios y vencimientos que coincidan con los pagos del cupón.

La muestra completa se compone de observaciones diarias registradas entre el 26 de julio de 2001 y el 20 de marzo de 2008 de los rendimientos provenientes de los bonos cupón cero para los siguientes vencimientos: valores a un día; a 1, 3 y 6 meses; y a 1, 2, 3, 5, 7 y 10 años.² Se emplea esta muestra por dos motivos principales. El primero es que hay pruebas de que la inflación en México parece haber pasado de ser un proceso no estacionario a ser un proceso estacionario en los meses previos al inicio de la muestra (por ejemplo, véase Chiquiar, Noriega y Ramos Francia 2007). Es decir, parece razonable suponer que la inflación en México actualmente sigue un proceso estacionario en el cual fluctúa en torno a una media bien definida.³ El segundo motivo es que el gobierno mexicano ha podido emitir bonos a tasa fija para horizontes de largo plazo (10 años) desde 2001.⁴ En esta sección se pretende analizar la manera en que la curva de rendimientos ha evolucionado durante el periodo objeto de estudio. En concreto, se analiza la evolución del nivel de tasas de interés clave y de estadísticos de la curva de rendimientos en el tiempo, incluidas las propiedades de distribución de dichos niveles, y también se estudian las primeras diferencias (o cambios diarios) de estas tasas de interés clave y de estadísticos de la curva de rendimientos, con la inclusión de las propiedades de distribución.

2.2.1. Estadísticas Descriptivas: Niveles

Antes de analizar la dinámica de la curva de rendimientos correspondiente a los bonos cupón cero, vale la pena ilustrar el comportamiento de la curva de rendimientos a lo largo de

²Se utilizan los rendimientos de los bonos cupón cero correspondientes a los bonos publicados por VALMER. VALMER es una empresa que ofrece precios diarios para la valuación de instrumentos financieros y otros servicios de análisis y gestión de riesgos.

³Se realizó la prueba de Bai-Perron para los cambios estructurales de la inflación y no se encontró ningún cambio en la media ni en la tendencia después de 2001.

⁴Los datos correspondientes a los rendimientos de los bonos cupón cero a 10 años están disponibles desde el 26 de julio de 2001.

toda la muestra. La Figura 2 muestra los rendimientos de los bonos cupón cero durante el periodo de la muestra que se estudia. Como se puede ver, el nivel general de los rendimientos de los bonos cupón cero disminuyó a lo largo de la muestra.⁵ Además, dado que los rendimientos de largo plazo disminuyeron en mayor medida que los rendimientos de corto plazo, la pendiente de la curva de rendimientos también se redujo. Los rendimientos de largo plazo disminuyeron debido a la caída de las expectativas de inflación de largo plazo y de las primas de riesgo.

Figura 2
Rendimiento de los Bonos Nominales Cupón Cero

Fuente: VALMER.

Como primer paso en el análisis de los resultados, la Figura 3 muestra la forma de la curva de rendimientos promedio para toda la muestra. Los rendimientos de los bonos con vencimientos más largos fueron en promedio superiores a los de los bonos con vencimientos

⁵Durante el periodo de muestra las expectativas de inflación y las primas de riesgo de la inflación parecen explicar los movimientos de baja frecuencia en las tasas de interés.

más cortos. Esto significa que la curva de rendimientos tuvo en promedio una pendiente positiva.

Figura 3
Curva de Rendimientos Promedio con Intervalos de Confianza al 95 por ciento

La curva de rendimientos promedio se muestra junto con intervalos de confianza de aproximadamente 95 % (el doble de los errores estándar de Newey-West). La gráfica muestra que, en promedio, el rendimiento de más corto plazo fue significativamente más bajo que el rendimiento de más largo plazo. La curva de rendimientos contiene información acerca de las expectativas del mercado respecto a las tasas de interés futuras de corto plazo y sobre las primas de riesgo. Si la curva de rendimientos tiene una pendiente positiva, significa que se espera que las tasas de interés aumenten en el futuro o que hay primas de riesgo en los bonos de largo plazo. El hecho de que las tasas de interés no se hayan elevado en promedio durante el periodo de la muestra sugiere la presencia de primas de riesgo en los bonos de largo plazo. En vista de que los precios de los bonos fluctúan en el tiempo, existe incertidumbre respecto de los rendimientos provenientes de la tenencia de un bono de largo plazo durante

el siguiente periodo. Además, como se verá en la Sección 3, la incertidumbre aumenta con el vencimiento del bono.

La Figura 4 muestra la pendiente de la curva de rendimientos para toda la muestra. Utilizamos la diferencia entre el rendimiento a 10 años y el rendimiento a 1 día, y la diferencia entre el rendimiento a 10 años y el rendimiento a 3 meses como *proxies* de la pendiente de la curva de rendimientos.⁶

Figura 4
Pendiente de la Curva de Rendimientos (puntos base)

La Figura 4 muestra que la pendiente de la curva de rendimientos de los bonos cupón cero disminuyó a lo largo de la muestra. Como se puede apreciar hay movimientos de baja y alta frecuencia en la pendiente de la curva de rendimientos. La baja frecuencia muestra una reducción paulatina en la pendiente de la curva de rendimientos que se explica principalmente por una reducción en la inflación y en las expectativas de inflación a lo largo de la muestra. Como se explica más adelante, los movimientos de alta frecuencia observados en la pendiente se originaron principalmente por las variaciones en las primas de riesgo y en las expectativas de las tasas de interés futuras de corto plazo.

⁶Ang y Piazzesi (2003) y Diebold, Rudebusch y Aruoba (2006), entre otros han utilizado estos sustitutos.

Por construcción, la curva de rendimientos es prospectiva y contiene información acerca de las expectativas del mercado respecto de las tasas de interés futuras de corto plazo y de las primas de riesgo. Si las primas de riesgo que los inversionistas necesitan como compensación por la tenencia de bonos de largo plazo fueran constantes, entonces los cambios en la pendiente de la curva de rendimientos podrían predecir cambios en las tasas de interés futuras de corto plazo. Sin embargo, en la siguiente sección se presentan pruebas que sugieren que las primas de riesgo de los bonos parecen ser variables en el tiempo. En particular, se analizan los movimientos de alta frecuencia en las tasas de interés nominales y en las primas de riesgo. Los movimientos de las primas de riesgo a través del tiempo son responsables de una fracción importante de los movimientos observados en la pendiente de la curva de rendimientos. Al disminuir las primas de riesgo también disminuye la pendiente, aunque las expectativas de las tasas de interés futuras de corto plazo se mantengan sin cambios.

Cuadro 1
Estadísticas Descriptivas: Niveles

Vencimiento (meses)	0.033	1	3	6	12	24	36	60	84	120
media	7.02 (0.13)	7.07 (0.13)	7.34 (0.13)	7.62 (0.13)	7.88 (0.14)	8.58 (0.16)	9.20 (0.18)	10.40 (0.19)	11.79 (0.20)	13.82 (0.24)
desv est	1.24 (0.09)	1.19 (0.09)	1.19 (0.09)	1.20 (0.09)	1.30 (0.12)	1.47 (0.17)	1.62 (0.19)	1.76 (0.17)	1.84 (0.13)	2.23 (0.10)
sesgo	-0.18 (0.13)	-0.17 (0.13)	0.11 (0.18)	0.37 (0.25)	0.80 (0.25)	1.41 (0.26)	1.49 (0.25)	1.18 (0.23)	0.63 (0.22)	0.17 (0.17)
curtosis	2.94 (0.32)	3.01 (0.35)	3.17 (0.44)	3.52 (0.58)	4.18 (0.68)	5.68 (1.02)	5.73 (1.06)	4.39 (0.76)	2.94 (0.48)	1.86 (0.16)

Mientras que las Figuras 3 y 4 representan la forma general de la curva de rendimientos en el horizonte de la base de datos, el Cuadro 1 presenta algunas estadísticas descriptivas.

Esta evidencia muestra que nuestros datos se caracterizan por algunos hechos estilizados estándar. La curva de rendimientos promedio tiene pendiente positiva, en vista de que los rendimientos promedio aumentan con el vencimiento. Al principio, las desviaciones estándar de los rendimientos disminuyen con el vencimiento, pero luego aumentan con él. Los

rendimientos muestran un ligero exceso de curtosis en los vencimientos a mediano plazo y un sesgo positivo en vencimientos a mediano y largo plazo.

2.2.2. Estadísticas Descriptivas: Primeras Diferencias

Las primeras diferencias (o cambios diarios) de la curva de rendimientos determinan el riesgo de corto plazo y el comportamiento de los rendimientos en el caso de los bonos cupón cero. Dado que un bono cupón cero no tiene pagos de intereses, sus rendimientos están totalmente determinados por los cambios en sus precios. Estos cambios en los precios pueden surgir de dos fuentes. La primera es el simple incremento de los precios hacia el valor de vencimiento que sucede con el paso del tiempo (los bonos cupón cero se emiten con descuento y vencen al valor nominal). La segunda fuente es un cambio en el rendimiento. A lo largo de horizontes que son relativamente de corto plazo, la segunda fuente es por mucho la más significativa. El Cuadro 2 presenta algunas estadísticas descriptivas de las primeras diferencias (o cambios diarios) de los rendimientos durante el periodo de la muestra que se estudia. Se pueden hacer tres observaciones principales. En primer lugar, como era de esperarse, el cambio promedio en los distintos rendimientos fue muy reducido; prácticamente de cero para todos los vencimientos. Dado que éstos representan cambios diarios, esto no es ninguna sorpresa. En segundo lugar, la incertidumbre que rodea la medida promedio fue muy alta, con desviaciones estándar muy grandes en relación con el valor medio. En tercer lugar, la distribución de los cambios en el rendimiento es claramente anormal. Más bien, todas las distribuciones son sumamente leptocúrticas.

3. Primas de Riesgo Variables en el Tiempo

Con el fin de ofrecer pruebas de la variación observada en el tiempo de las primas de riesgo del mercado de bonos, se examinan los rendimientos en exceso por tenencia de bonos para varios vencimientos como se hizo en Campbell (1995). La variación en los rendimientos en exceso sugiere la presencia de primas de riesgo variables en el tiempo en los bonos gubernamentales. La hipótesis de las expectativas, según la cual los rendimientos de largo

Cuadro 2
Estadística Descriptiva: Primeras Diferencias

Vencimiento (meses)	0.033	1	3	6	12
media	-0.0007 (0.004)	-0.0009 (0.004)	-0.001 (0.004)	-0.002 (0.003)	-0.003 (0.003)
desv est	0.26 (0.03)	0.13 (0.01)	0.14 (0.02)	0.13 (0.02)	0.12 (0.02)
sesgo	1.48 (0.63)	1.64 (0.71)	1.70 (1.06)	2.26 (1.07)	1.58 (0.64)
curtosis	32.63 (5.45)	34.01 (10.76)	53.07 (19.73)	51.33 (19.03)	41.45 (14.80)
Vencimiento (meses)	24	36	60	84	120
media	-0.003 (0.003)	-0.004 (0.003)	-0.004 (0.003)	-0.004 (0.004)	-0.004 (0.005)
desv est	0.16 (0.03)	0.17 (0.03)	0.17 (0.02)	0.18 (0.02)	0.23 (0.02)
sesgo	-2.48 (1.04)	-2.83 (0.96)	-1.22 (0.86)	-0.34 (0.85)	-0.30 (0.79)
curtosis	61.23 (9.96)	66.96 (12.45)	37.08 (4.62)	30.45 (6.02)	25.55 (6.85)

plazo son el promedio de las expectativas de los rendimientos futuros de corto plazo más una prima por plazo constante, implica que los rendimientos en exceso deben ser constantes. Se utilizan series de rendimientos históricos para responder a dos preguntas relacionadas con esta hipótesis. En primer lugar: ¿los bonos con distintos vencimientos han ofrecido rendimientos equivalentes para un periodo de tenencia determinado? En segundo lugar: ¿fueron los rendimientos obtenidos por la tenencia de instrumentos de más largo plazo más riesgosos que los de los bonos de menor plazo?

3.1. La Función de Descuento y los Rendimientos de los Bonos Cupón Cero

El punto de partida para la fijación de precios de cualquier activo de renta fija es la función de descuento, o el precio de un bono cupón cero. Esto representa el valor actual para un inversionista de un pago nominal de \$1 dentro de n años a partir de hoy. Denotamos esto como $P_t(n)$. Los rendimientos continuamente compuestos de este bono cupón cero pueden escribirse como:

$$y_t(n) = -\frac{1}{n} \ln P_t(n) \quad (1)$$

donde, $p_t(n) = \ln P_t(n)$ y, por lo tanto, la función de descuento puede escribirse en términos de los rendimientos como:

$$P_t(n) = \exp(-y_t(n)n) \quad (2)$$

La curva de rendimientos muestra los rendimientos a través de diferentes vencimientos. El siguiente paso es definir los rendimientos del periodo de tenencia. El rendimiento de un periodo de tenencia de m días que inicie en el momento t para bonos de n años se define como el rendimiento porcentual neto que se obtiene a partir de la siguiente estrategia hipotética: i) en una fecha determinada t , se compra un bono cupón cero libre de riesgo con vencimiento en n años (es decir, en la fecha $t+n$). El precio de este bono en la fecha t está dado por $P_t(n)$; ii) se mantiene el bono durante m días; iii) en la fecha $t + m/364$ se vende el bono. Nótese que a partir de la fecha $t + m/364$ el bono tendrá un tiempo restante hasta el vencimiento de

$(n - m/364)$ años. El precio de este bono al momento de su venta es $P_{t+m/360}(n - m/364)$; iv) definiendo $d = m/364$, el logaritmo del rendimiento del periodo de tenencia para la estrategia es

$$r_{t+d}(n) = p_{t+d}(n - d) - p_t(n) \quad (3)$$

Expresado en términos de rendimientos cupón cero en lugar de precios, se obtiene

$$r_{t+d}(n) = ny_t(n) - (n - d)y_{t+d}(n - d) \quad (4)$$

Nótese que, en vista de que el rendimiento del periodo de tenencia depende del precio de los bonos en $t + d$, en el momento t se desconoce $r_{t+d}(n)$. Nuestro análisis se centra en el concepto de los rendimientos en exceso por tenencia de bonos. Los rendimientos en exceso se definen como el exceso de los rendimientos por tenencia de bonos en comparación con una tasa de referencia libre de riesgo. La tasa de referencia libre de riesgo se define como los rendimientos de un bono cupón cero con d años hasta el vencimiento. Estos rendimientos están libres de riesgo porque el inversionista no necesita vender el bono en el momento $t + d$, sino que el bono vence con un valor terminal conocido en esa fecha. En consecuencia, los rendimientos que se obtienen se conocen con certeza en el momento t . Los rendimientos en exceso por tenencia de bonos son

$$r_{n,t+1}^x = d(y_t(n) - y_t(d)) - (n - d)(y_{t+d}(n - d) - y_t(n)) \quad (5)$$

3.2. Resultados de los Rendimientos en Exceso por Tenencia de Bonos

Los rendimientos en exceso se calculan para un periodo de tenencia de $m=91$ días y mediante instrumentos cupón cero con vencimientos de $n= 0.5,1,2,3,5,7$ y 10 años. Para calcular los rendimientos en exceso, estos rendimientos se comparan con los rendimientos de un instrumento cupón cero con vencimiento a 91 días. La Figura 5 muestra los rendimientos en exceso por tenencia de bonos para toda la muestra. Como se observa, los rendimientos en exceso fueron muy volátiles durante el periodo de la muestra. Por ejemplo, los inversionistas

Cuadro 3
Rendimientos en Exceso por Tenencia de Bonos

Vencimiento (meses)	0.5	1	2	3	5	7	10
media	0.16 (0.03)	0.26 (0.08)	0.70 (0.2)	1.17 (0.33)	2.06 (0.57)	2.94 (0.85)	4.18 (1.57)
desv est	0.30 (0.03)	0.75 (0.07)	1.84 (0.21)	3.02 (0.33)	5.29 (0.51)	7.97 (0.66)	14.74 (1.14)
sesgo	1.58 (0.28)	0.88 (0.22)	1.14 (0.31)	1.02 (0.32)	0.58 (0.31)	0.05 (0.27)	-0.24 (0.21)
curtosis	5.77 (1.38)	4.41 (0.80)	5.76 (1.15)	5.64 (1.09)	4.61 (0.73)	3.85 (0.48)	3.48 (0.37)

que vendieron bonos de largo plazo en junio de 2006 sufrieron importantes pérdidas de capital (rendimientos en exceso negativos), mientras que los inversionistas que vendieron bonos de largo plazo en septiembre de 2006 obtuvieron ganancias de capital (rendimientos en exceso positivos). El Cuadro 3 muestra un resumen de los resultados para el periodo de la muestra. Inmediatamente se hace patente que los rendimientos en exceso se hacen más grandes y más volátiles a medida que aumenta el periodo de vencimiento de los bonos retenidos. Los resultados se ajustan a la noción según la cual los activos de más largo plazo son más riesgosos, por lo que exigen una prima de riesgo positiva. Parece ser que los activos de más largo plazo tienen una prima de riesgo positiva para compensar la volatilidad adicional de sus rendimientos.⁷

Los datos correspondientes a los rendimientos en exceso apoyan dos conclusiones principales: i) las primas por plazo son variables en el tiempo; ii) el riesgo esperado y los rendimientos esperados aumentan a medida que aumenta también el tiempo restante hasta el vencimiento del bono estudiado. Estos resultados implican que, para ofrecer una caracterización adecuada de la estructura temporal de las tasas de interés en México, se deben tomar en consideración modelos que permitan primas de riesgo variables en el tiempo.

⁷También se calcularon los rendimientos del periodo de tenencia para el caso de periodos de tenencia de 30, 60, 180 y 360 días. Se encontraron resultados similares para estos periodos de tenencia. Los rendimientos medios en exceso se hacen más grandes y más volátiles a medida que aumenta el vencimiento de los bonos retenidos.

Figura 5
Rendimientos en Exceso por Tenencia de Bonos

4. Análisis de Componentes Principales

En esta sección se presenta evidencia de la relación entre la estructura temporal de las tasas de interés y algunas variables macroeconómicas. La primera parte de esta sección estudia la dinámica de la curva de rendimientos mediante el análisis de componentes principales. La segunda parte relaciona los factores comunes que afectan la curva de rendimientos con algunas variables macroeconómicas. Para describir el comportamiento de la curva de rendimientos en el tiempo, se empleó el análisis de componentes principales propuesto por Litterman y Scheinkman (1991). Este enfoque tiene varias ventajas: i) permite resumir toda la información contenida en la curva de rendimientos en unos cuantos factores; ii) ofrece una intuición de lo que determina la dinámica de los rendimientos de los bonos cupón cero.

Desde el trascendental trabajo de Litterman y Scheinkman (1991), varios autores han reconocido la importancia de identificar los factores comunes que afectan la estructura temporal de las tasas de interés. Para explicar la variación de estas tasas, es esencial distinguir los riesgos sistemáticos que tienen un impacto general sobre la curva de rendimientos, de los riesgos específicos que influyen en los bonos individuales. Los componentes principales pueden calcularse a partir de los niveles y de los cambios en los rendimientos, por lo que se

realizarán ambos cálculos.

4.1. Dinámica de la Curva de Rendimientos

El análisis de componentes principales describe el comportamiento de variables aleatorias correlacionadas en términos de unas cuantas variables no correlacionadas llamadas componentes principales.⁸ La idea principal es que la dinámica de las variables originales puede describirse mediante unos cuantos de estos componentes.⁹ Además, el análisis de componentes principales ofrece una intuición sobre los factores que determinan la dinámica de los rendimientos de los bonos cupón cero. Para comenzar, la matriz de las observaciones para cada vencimiento en el tiempo se denota como Y , en donde cada columna representa un rendimiento diferente, y cada renglón ilustra un momento distinto en el tiempo. El primer paso del análisis es calcular la matriz de varianza-covarianza de los rendimientos de los bonos cupón cero:

$$\Sigma = \text{cov}(Y) \quad (6)$$

Nótese que Σ es una matriz simétrica cuadrada de dimensión $n \times n$, donde n es el número de rendimientos utilizados en el análisis. Los elementos diagonales de Σ son las varianzas de los rendimientos de los bonos, mientras que los elementos que están fuera de la diagonal corresponden a las covarianzas entre los rendimientos de diferentes plazos de vencimiento. Siempre y cuando ninguno de los rendimientos sea una combinación lineal exacta de los demás, Σ será una matriz definida positiva. Si Σ es una matriz definida positiva, tiene un conjunto completo de n valores propios distintos y estrictamente positivos y existe una matriz ortogonal Ω (lo que significa que satisface $\Omega' = \Omega^{-1}$) que consiste en los vectores propios de Σ de manera que:

$$\Sigma = \Omega \Lambda \Omega' \quad (7)$$

donde Λ es una matriz diagonal $n \times n$ de valores propios de Σ ; y Ω es una matriz $n \times n$ de vectores propios. Los componentes principales de la curva de rendimientos en el momento

⁸Litterman y Scheinkman (1991) fueron los primeros en usar el análisis de componentes principales para describir el comportamiento de la curva de rendimientos a través del tiempo.

⁹Alemán y Treviño usaron esta metodología en datos de la curva de rendimientos en México. Sus resultados son similares a los presentados en esta sección.

t se obtienen de la siguiente manera:

$$pc_t = \Omega'(Y_t - \bar{Y}) \quad (8)$$

donde Y_t es un vector de columna que contiene n rendimientos diferentes en el momento t y $\bar{Y}$ es la media muestral de los rendimientos. El mismo procedimiento se puede repetir para los cambios de los rendimientos al reemplazar Y_t con ΔY y $\bar{Y}$ con 0 en las fórmulas anteriores. Cada columna de la matriz Ω mide la manera en que los cambios en cada uno de los componentes principales asociados afectan a la curva de rendimientos. Por ejemplo, la primera columna de Ω es el vector propio asociado con el primer valor propio de Σ , y cada entrada corresponde a la forma en que un cambio en el primer componente principal afecta cada plazo de vencimiento a lo largo de la curva de rendimientos. La segunda columna de Ω mide el efecto de un cambio en el segundo componente principal sobre la curva de rendimientos. Denotemos como pc a la matriz de componentes principales a través del tiempo, donde cada columna representa un componente principal y cada renglón representa un momento distinto en el tiempo. Por consiguiente, los componentes principales se definen de la siguiente manera:

$$pc = \tilde{Y}X\Omega \quad (9)$$

donde $\tilde{Y}$ es la matriz de rendimientos expresada en desviaciones respecto de su media. La matriz de covarianzas de pc está dada por:

$$var(pc) = \Omega'\Sigma\Omega = \Omega'\Omega\Lambda\Omega'\Omega = \Lambda \quad (10)$$

Por lo tanto, al hacer la transformación $pc = \tilde{Y}X\Omega$ se construye un conjunto de variables aleatorias no correlacionadas. La varianza del $k^{ésimo}$ componente principal es igual a Λ_k , el $k^{ésimo}$ valor propio de Σ . También es cierto que la $traza(\Sigma)$ de la variación total de los rendimientos es igual a la $traza(\Lambda)$ de la variación total de los componentes principales. Definimos la variación porcentual explicada por el $i^{ésimo}$ componente principal como:

$$100X \frac{\Lambda_i}{traza(\Lambda)} \quad (11)$$

Cuadro 4
Variación en los Cambios y Niveles de los Rendimientos

C.P.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
% explicado de Y_t	78.56	95.01	99.31	99.64	99.77	99.87	99.92	99.96	99.99	100
% explicado de ΔY_t	53.49	75.61	85.15	91.89	94.61	96.65	97.75	98.77	99.45	100

Entonces, el porcentaje explicado indica qué tan grande es un valor propio dado en relación con los demás. La variación porcentual explicada por los primeros k componentes principales puede calcularse como:

$$100X \frac{\sum_{i=1}^k \Lambda_i}{traza(\Lambda)}$$

Si los últimos $n - k$ valores propios son pequeños, esto significa que sólo los primeros k componentes principales son necesarios para describir adecuadamente la variación de los rendimientos de los bonos cupón cero. En otras palabras, solamente hay k fuerzas determinantes que rigen la dinámica de los rendimientos de los bonos.

El análisis realizado revela que gran parte de la varianza de los rendimientos se explica por los primeros componentes principales. En el Cuadro 4 se muestra el porcentaje acumulado de la variación de los cambios y niveles de los rendimientos explicados por los componentes principales. El cuadro muestra que los primeros $k=3$ componentes principales explican más del 99 % de la variación total de los rendimientos. En el caso de los cambios en los rendimientos, los primeros $k=3$ componentes principales explican más del 85 % de su variación total.

Los resultados del Cuadro 4 son interesantes porque indican que, de manera similar a los resultados de Litterman y Scheinkman, el 99 % de la variación en la curva de rendimientos de los bonos cupón cero mexicanos puede explicarse en términos de sólo tres componentes principales no correlacionados. Estos resultados indican que existen tres fuentes principales de riesgo agregado que impulsan la dinámica de la estructura temporal de las tasas de interés en México.

Para usar únicamente $k \leq n$ componentes principales, definimos la matriz de $n \times$

$k, \tilde{\Omega}$, como:

$$\tilde{\Omega}_{ij} = \Omega_{ij} \text{ para } j \leq k$$

y calculamos los $k=3$ componentes principales de los niveles de rendimientos como

$$\widetilde{pc}_t = \tilde{\Omega}'(Y_t - \bar{Y}) \quad (12)$$

Los k componentes principales son combinaciones lineales de $n=10$ rendimientos. Nos referimos a la sensibilidad del rendimiento de un bono a un factor común como la ponderación del rendimiento del bono sobre ese factor. Al usar la información de $\tilde{\Omega}$ es posible graficar cada uno de los vectores propios contra el plazo de vencimiento de los rendimientos. Esto permite identificar la manera en que un choque en cada uno de los k factores afecta la curva de rendimientos. La Figura 6 muestra los coeficientes de estas combinaciones lineales (o ponderaciones), que son las $k=3$ columnas de $\tilde{\Omega}$, como función del vencimiento de los rendimientos en meses. En otras palabras, una curva dada en la gráfica traza los componentes de los vectores propios que corresponden a los primeros tres factores.

Las ponderaciones del primer componente principal son casi horizontales. Este patrón significa que los cambios en el primer componente principal corresponden a desplazamientos paralelos en la curva de rendimientos. Por lo tanto, a este componente principal se le llama factor de nivel. Las ponderaciones del segundo componente principal tienen pendiente negativa. De esta manera, los cambios en el segundo componente principal rotan la curva de rendimientos. Esto significa que el segundo componente es un factor de pendiente. Un cambio positivo en este componente inducirá un aumento del extremo de la curva de rendimientos correspondiente al corto plazo y una caída del extremo de la curva correspondiente al largo plazo. Este factor de pendiente ocasionará que la curva de rendimientos se aplane (cambio positivo), o se incline más (cambio negativo). El tercer componente principal corresponde al factor de curvatura porque hace que los extremos correspondientes al corto y al largo plazo aumenten, mientras que los rendimientos a mediano plazo disminuyen. La Figura 7 luce similar para las ponderaciones de los componentes principales de los cambios de los rendimientos.

Figura 6
Ponderaciones de los Rendimientos de los Componentes Principales

La interpretación de estos componentes principales en términos de nivel, pendiente y curvatura se remonta a Litterman y Scheinkman (1991). Estas denominaciones han resultado ser extremadamente útiles cuando se piensa en las fuerzas determinantes de la curva de rendimientos. Los factores latentes de los modelos afines estimados normalmente se comportan como los componentes principales.

4.1.1. Comportamiento Transversal

Los modelos de factores tradicionales ofrecen un punto de referencia natural para el ajuste transversal. Los modelos de factores basados en k componentes principales predicen los n rendimientos en el corte transversal como

$$\tilde{Y}_t = \bar{Y} + \tilde{\Omega} \tilde{p} \tilde{c}_t \quad (13)$$

donde $\tilde{p} \tilde{c}_t$ está dado por (12). Este modelo implica errores de ajuste para rendimientos que están definidos como la diferencia entre los rendimientos reales Y_t y los rendimientos $\hat{Y}_t$

Figura 7
Ponderaciones de los Rendimientos de los Componentes Principales: Cambios

Cuadro 5

Valor Absoluto de los Errores de Ajuste para los Rendimientos

Vencimiento (meses)	0.033	1	3	6	12	24	36	60	84	120
media	0.13	0.07	0.08	0.10	0.10	0.07	0.07	0.09	0.11	0.06
desv est	0.15	0.08	0.10	0.10	0.09	0.07	0.06	0.09	0.08	0.05
max.	1.59	0.94	1.23	0.81	0.91	0.68	0.41	0.59	0.71	0.49

estimados por el modelo. En el Cuadro 5 se presentan la media, la desviación estándar y el máximo del valor absoluto de estos errores de ajuste para los $k=3$ componentes principales. Los errores de ajuste absolutos son de menos de 13 puntos base para todos los rendimientos en el conjunto de datos. Esto significa que este modelo de factores de baja dimensión no sólo explica buena parte de la varianza de los rendimientos, sino que también se desempeña extremadamente bien de acuerdo a esta métrica adicional.

4.2. Estructura Temporal y Dinámica Macroeconómica

Dado que la mayor parte de la variación de la curva de rendimientos en México se explica con los primeros dos componentes principales (estos componentes explican el 95.01 por ciento de la variación total, como se muestra en el Cuadro 4), únicamente se analiza la dinámica de estos componentes. Es posible construir una serie de tiempo para estos componentes mediante la información contenida en Ω y los rendimientos de los bonos cupón cero. Esto permite comparar estos componentes principales con *proxies* empíricas estándar del nivel y la pendiente. Dejemos que Ω_i denote la $i^{\text{ésima}}$ columna de Ω . De esta forma, podemos calcular el $i^{\text{ésimo}}$ componente principal a través del tiempo de la siguiente manera:

$$pc_{it} = \Omega'_i(Y_t - \bar{Y}) \quad (14)$$

donde pc_{it} es el $i^{\text{ésimo}}$ componente principal en el momento t y Ω'_i es la transposición de la $i^{\text{ésima}}$ columna de Ω .

Los componentes principales son combinaciones lineales de todos los rendimientos, y los coeficientes son los vectores propios de Σ . Podemos calcular las trayectorias de todos los componentes principales a través del tiempo usando las columnas de Ω . Para confirmar nuestra afirmación de que los dos primeros componentes principales de nuestro modelo corresponden al nivel y la pendiente de la curva de rendimientos, respectivamente, en las Figuras 7 y 8 se trazan estos componentes principales junto con los *proxies* empíricas del nivel y la pendiente.

En la Figura 8 se muestra el primer componente principal y una proxy empírica común del nivel (concretamente, el promedio de los rendimientos a 1 día, 1 año y 10 años). La correlación elevada de 0.97 entre estas series respalda nuestra interpretación del primer componente principal como un factor de nivel.

En la Figura 9 se muestra el segundo componente principal y una proxy empírica estándar de la pendiente (el rendimiento a 10 años menos el rendimiento a 1 día). La correlación de 0.75 entre estas series otorga credibilidad a nuestra interpretación del segundo componente principal como un factor de pendiente.¹⁰

¹⁰Ang y Piazzesi (2003) y Diebold, Rudebusch y Aruoba (2006) han utilizado estas proxies, entre otros.

Figura 8
Nivel y Componente Principal 1

Cabe mencionar algunos hechos interesantes. En primer lugar, tanto el primer componente principal como el nivel de la curva de rendimientos disminuyeron acentuadamente durante el periodo de la muestra. En segundo lugar, tanto la pendiente de la curva de rendimientos como el segundo componente principal también cayeron durante el periodo de la muestra, lo que indica un aplanamiento de la curva de rendimientos durante dicho periodo.

El siguiente paso consiste en ofrecer evidencia preliminar sobre la relación entre la estructura temporal de las tasas de interés y algunas variables macroeconómicas.

En la literatura sobre la estructura temporal se ha asociado el nivel de la curva de rendimientos con indicadores de expectativas de inflación de largo plazo. Por ejemplo, Rudebusch y Wu (2004) interpretan la diferencia entre los rendimientos nominales y los rendimientos indexados a la inflación como un indicador de la inflación esperada. La Figura 10 muestra el primer componente principal y un indicador de compensación por inflación en el largo plazo. El último de éstos se mide como el diferencial entre los rendimientos a 10 años sobre valores nominales e indexados. El primer componente principal parece estar estrechamente relacionado a la inflación esperada. La correlación entre este componente y la compensación por inflación en el largo plazo, que es de 0.70, es consistente con un vínculo entre el nivel de

Figura 9
Nivel y Componente Principal 2

la curva de rendimientos y las expectativas de inflación, como sugiere la ecuación de Fisher. Esta relación es un tema frecuente en la literatura macrofinanciera, incluyendo los trabajos de Kozicki y Tinsley (2001), Dewachter y Kyrio (2002) y Hordahl et al. (2002).

La literatura de la estructura temporal también ha mostrado que la pendiente de la curva de rendimientos está conectada con la dinámica cíclica de la economía (por ejemplo, Piazzesi 2005). La tasa de fondeo bancario es el instrumento de política clave controlado por el banco central que se ajusta en respuesta a los choques macro para alcanzar las metas de estabilización económica de la política monetaria. Por lo tanto, la pendiente de la curva de rendimientos debería estar relacionada con la tasa de la política. La Figura 11 ofrece algunas evidencias sobre la relación entre la pendiente de la curva de rendimientos y la tasa de fondeo bancario. La correlación entre el segundo componente principal y la tasa a un día, que es de -0.76, sugiere que la pendiente de la curva de rendimientos está relacionada con la respuesta cíclica del banco central. Como el segundo componente principal captura movimientos en la pendiente de la curva de rendimientos, esta evidencia empírica sugiere que los choques que inducen al banco central a mover la tasa de interés de corto plazo mueven la pendiente de

Figura 10
Componente Principal 1 y Compensación por Inflación

la curva de rendimientos en la dirección contraria. Esta evidencia es consistente con Ang y Piazzesi (2003) y Rudebusch y Wu (2004). Estos autores encuentran que en los Estados Unidos la tasa de interés de corto plazo y el factor de pendiente están correlacionados de manera negativa.

Se ha demostrado que, de manera similar a otros mercados de bonos, más del 95% de la variación total de la curva de rendimientos se puede explicar por dos factores. El primer factor captura movimientos en el nivel de la curva de rendimientos, mientras que el segundo factor captura movimientos en la pendiente de la curva. Además, se encuentra que el factor de nivel de la curva tiene una correlación positiva con medidas de las expectativas de inflación de largo plazo y que el factor de pendiente muestra una correlación negativa con la tasa de fondeo bancario (el instrumento de política monetaria). Esta evidencia empírica sugiere que los choques que afectan las expectativas de inflación de largo plazo tienden a influir sobre el nivel de la curva de rendimientos, mientras que los choques que inducen al banco central a mover la tasa de interés de corto plazo influyen sobre la pendiente de la curva de rendimientos.

Figura 11
Componente Principal 2 y la Tasa de Fondeo Bancario

5. Conclusiones

Se analizó la dinámica de la estructura temporal de las tasas de interés en México. Se pueden extraer tres conclusiones predominantes de los resultados que aquí se presentan. En primer lugar, se encuentra que las primas de riesgo en el mercado mexicano de bonos gubernamentales varían con el tiempo. En segundo lugar, se demuestra que dos componentes principales explican más del 95 % de la variación total de la curva de rendimientos en México. Finalmente, se encontró que el primer componente principal captura movimientos en el nivel de la curva de rendimientos y que tiene una correlación positiva con las expectativas de inflación de largo plazo, mientras que el segundo componente principal captura movimientos en la pendiente de la curva de rendimientos y tiene una correlación negativa con la tasa de fondeo bancario.

6. Referencias

1. Alemán, J. y J. Treviño. (2006), "Monetary Policy in Mexico: A Yield Curve Analysis Approach", mimeo, Banco de México.

2. Ang, A. y M. Piazzesi. (2003), "A no-arbitrage vector autoregression of term structure dynamics with macroeconomic and latent variables", *Journal of Monetary Economics*, 50, 745-787.
3. Ang, A., S. Dong y M. Piazzesi. (2007), "No-Arbitrage Taylor Rules", NBER Working paper 13448.
4. Ang, A., M. Piazzesi y M. Wei. (2003), "What does the Yield Curve tell us about GDP Growth?", *Journal of Econometrics*, No. 131, pp 359-403.
5. Bekaert, G., S. Cho y A. Moreno. (2003), "New-Keynesian Macroeconomics and the Term Structure", mimeo, Columbia University.
6. Campbell, J. (1995), "Some Lessons from the Yield Curve", *The Journal of Economic Perspectives*, Vol 9, No 3, 129-152.
7. Campbell, J. y R. Shiller. (1991), "Yield spreads and interest rate movements: A bird's eye view", *Review of Economic Studies* 58, 495-514.
8. Cochrane, J.H. (2001), "Asset Pricing, Princeton University Press".
9. Cox, J., J. Ingersoll y S. Ross. (1985), "A Theory of the Term Structure of Interest Rates", *Econometrica* 53.
10. Chen, N. y A. Scott. (1993), "Pricing Interest Rate Futures Options with Futures-Style Margining", *Journal of Futures Markets*, Vol 13, No 1, 15-22.
11. Chiquiar, D., A. Noriega y M. Ramos-Francia. (2007), "A Time Series Approach to Test a Change in Inflation Persistence: The Mexican Experience", *Journal of Applied Economics*, Vol. 42, No 24, pp 3067-3075.
12. Dai, Q. y K. Singleton. (2000), "Specification Analysis of Affine Term Structure Models", *Journal of Finance*, Vol. LV, No. 5.
13. Fama, E. y R. Bliss. (1987), "The information in long-maturity forward rates", *American Economic Review* 77, pp. 680-92.

14. Hordahl, P., O. Tristani y D. Vestin. (2003), “A joint econometric model of macroeconomic and term structure dynamics”, *Journal of Econometrics*. Vol. 131(1-2), pp.405-444.
15. Litterman, R. y J. Scheinkman. (1991), “Common Factors Affecting Bond Returns”, *Journal of Fixed Income* 1, pp. 54-61.
16. Rudebusch, G. y T. Wu. (2004), “A Macro-Finance Model of the Term Structure, Monetary Policy, and the Economy”, Working Paper.
17. Vasicek, O. (1977), “An Equilibrium Characterization of the Term Structure”, *Journal of Financial Economics*, 5, pp. 177-188.