

Documentos 12

MODELACIÓN
DE LA ESTRUCTURA DE TASAS
DE INTERÉS NOMINALES PARA COSTA RICA

Gabriel E. Alpízar
Raquel Echeverría
Melvin Quirós
Mónica Salazar



Abril, 2005

332.113972

M698m

Modelación para la estructura de tasas de interés nominales para Costa Rica / [editado por] Gabriel E. Alpízar, Raquel Echeverría, Melvin Quirós, Mónica Salazar. -- San José, C. R. : Academia de Centroamérica, 2005.

32 p. : tbs. ; 28 cm. - (Documentos / Academia de Centroamérica; 12)

ISBN 9977-21-060-8

1. TASAS DE INTERÉS - COSTA RICA. 2. POLÍTICA FINANCIERA. I. Alpízar, Gabriel E. II. Echeverría, Raquel. III. Quirós, Melvin. IV. Salazar, Mónica. V. Título. VI. Serie.

Diagramación: Luis Fernando Quirós Abarca

Diseño de portada: Sussy Campos

Edición: Grettel López y Reinaldo Herrera A.

Primera edición:

© Academia de Centroamérica

San José, Costa Rica, 2004

Reservados todos los derechos

Hecho el depósito de Ley

Impreso por Litografía e Imprenta LIL, S.A.

Apartado 75-1100 Tibás

San José, Costa Rica

Prohibida la reproducción total o parcial de esta obra sin el consentimiento por escrito de la Academia de Centroamérica.

Índice

RESUMEN EJECUTIVO	5
INTRODUCCIÓN	7
I. METODOLOGÍA PROPUESTA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA CURVA	9
Definición de la curva plazo-rendimiento	9
Modelos polinomiales: <i>cubic spline</i>	11
Modelos paramétricos: <i>Nelson-Siegel</i>	14
Modelos paramétricos: <i>Haugen-Logarítmica</i>	16
II. APLICACIONES PARA LA CURVA DE RENDIMIENTOS	19
Interpretación de los puntos de la curva de rendimiento	20
La estructura de tasas <i>forward</i>	21
<i>Definición</i>	21
<i>Utilidad de las tasas forward</i>	22
Tipos de curvas plazo-rendimiento	24
<i>Expectativas de las tasas de interés y el impacto en la estructura de tasas</i>	24
III. CONCLUSIONES E IMPLICACIONES DE POLÍTICA FINANCIERA	26
REFERENCIAS	31

Modelación de la estructura de tasas de interés nominales para Costa Rica*

GABRIEL E. ALPÍZAR**
RAQUEL ECHEVERRÍA***
MELVIN QUIRÓS****
MÓNICA SALAZAR*****

Resumen Ejecutivo

El presente desarrollo busca exponer algunas de las metodologías empleadas en la literatura financiera para la estimación de una estructura de rendimientos para un determinado espectro de maduraciones, con el auxilio de instrumentos caracterizados por cupones y sin ellos, en moneda local, estudiando técnicas que luego pueden ser utilizadas en el mercado de deuda interna en moneda extranjera.

No cabe duda de la necesidad, que tanto la autoridad monetaria como la hacendaria vienen pregonando, de homogenizar los tratamientos actuales usados para estimar una estructura intertemporal de tasas locales de interés. Con ello se eliminarían sesgos en las señales que ambas instituciones brindan al mercado en el instante de la realización de las subastas, mediante las cuales se lleva cabo la política monetaria y/o de endeudamiento.

Conocer *ex ante* la tasa máxima a la cual los emisores estarán en posición de captar los recursos –así como los inversionistas en colocarlos– sin el adecuado instrumental técnico, haría que la toma de decisiones fuera, por decir lo menos, arbitraria.

El documento explora, mediante modelos ampliamente utilizados en otras economías –particularmente latinoamericanas–, los desarrollos de técnicas paramétricas como las propuestas por Nelson y Siegel (1987), Haugen (1990)¹ y modelos logarítmicos, actualmente utilizados

* El presente documento de estudio fue desarrollado por los autores a solicitud de la División de Gestión de Deuda del Tesoro Costarricense. Se agradecen los comentarios de los profesionales del Ministerio de Hacienda y del Banco Central de Costa Rica, así como de otras instituciones relacionadas con el tema. Este documento fue galardonado con el primer lugar en el II Concurso de Ensayo de la Academia de Centroamérica.

** Economista, Subtesorero Nacional, Ministerio de Hacienda de Costa Rica.

*** Licenciada en Banca y Finanzas, Analista de la Unidad de Atención a la Deuda de la Tesorería Nacional, Ministerio de Hacienda de Costa Rica.

**** Economista, Analista de la Unidad de Análisis y Política de la Deuda de la Tesorería Nacional, Ministerio de Hacienda de Costa Rica.

***** Economista, Tesorería Nacional, Ministerio de Hacienda de Costa Rica.

1. Se encontró referencia en Orr (1997) y en el libro *Modern Investment Theory* de Robert Haugen (2001), donde exhibe el modelo propuesto.

por las autoridades monetarias y fiscales –así como por el mercado costarricense en general– por su facilidad analítica y gran poder de predicción para los plazos medios de la curva. También se utilizan las ecuaciones polinomiales propuestas por McCulloch (1975); además, otros avances importantes de Waggoner (1996), Fisher, Nychka y Zervos (1995) y Campbell (1997) quienes utilizan modelos polinomiales que describen una unión de puntos en el plano rendimiento-madurez conocidos como *cubic spline*.²

Asimismo, se muestran aplicaciones mediante los modelos estudiados, como la descripción de la estructura de tasas de interés con instrumentos sintéticos cero cupón a plazos superiores al año, y también la inferencia de tasas *forward*, que permitiría a los gestores de política tomar decisiones más acertadas sobre el tiempo propicio para asumir deuda, o bien, posponerla.

El desarrollo no busca una rigurosidad econométrica para el caso costarricense por dos razones:

1. La base de datos del mercado de deuda costarricense no es lo suficientemente extensa, dado que la valoración a precios de mercado de los instrumentos financieros no se inició sino hasta el 7 de agosto del 2002 y, aunque los datos diarios podrían ser significativos, la misma metodología de inferencia de precios de instrumentos no transados y los filtros empleados para los instrumentos transados, *a priori* pueden sesgar la muestra y llevar a errores de modelación.
2. El objetivo de la investigación es la mejora de las estimaciones que ambos emisores –Ministerio de Hacienda y Banco Central– desarrollan actualmente sobre de la curva de rendimientos con frecuencia diaria para la toma de decisiones simultánea en política monetaria y/o financiera, sin menoscabo que pueda desarrollarse en el futuro un documento que permita modelar la estructura de tasas de interés intertemporal con una mayor base de datos.

2. Dicha metodología ya ha sido implantada por oficiales de la Bolsa Nacional de Valores (Matarrita, 2003), mediante técnicas matemáticas que no son presentadas en este documento, y cuyos resultados, haciendo uso del álgebra lineal, son replicados por el Tesoro.

Introducción

Con el fin de contextualizar el escenario donde operan los dos más grandes emisores del mercado costarricense, Ministerio de Hacienda y Banco Central, en lo que a endeudamiento se refiere,³ se brinda la siguiente descripción operativa que realizan los *front offices* de ambas dependencias.

El Ministerio de Hacienda (MH), a través del Tesoro Nacional (TN), y el Banco Central (BCCR), mediante la División de Gestión de Activos y Pasivos (GAP), captan recursos del mercado financiero, mayoritariamente⁴ mediante colocaciones en subastas americanas o multiprecio, por medio del Sistema Electrónico de la Bolsa Nacional de Valores –SUBES®–. Con el fin de mejorar los criterios técnicos utilizados para la asignación de ofertas en las subastas y la definición de las tasas en las operaciones directas, el TN y la GAP, desde finales del 2001, utilizan una herramienta válida, como es la estimación de una curva de rendimiento mediante una aproximación logarítmica, para la toma de decisiones de la tasa de corte de los instrumentos por ser licitados.

En la actualidad, el TN y la GAP colocan sus títulos de corto y largo plazos mediante el mecanismo de subasta una vez al mes;⁵ para ello, se mantiene una comunicación constante con el BCCR en cuanto a los plazos de los títulos por subastar y los precios de referencia –sobre todo en la subasta de corto plazo, donde ambos emisores captan con los mismos instrumentos–. A partir del primer trimestre del 2004 se inició una política de homologación de instrumentos de largo y mediano plazos.⁶ Con el fin de mantener informado al mercado bursátil con la antelación debida –con los beneficios que esto produce tanto para los inversionistas como para el emisor, principalmente en cuanto a programación del flujo de caja–, el MH y el BCCR preparan conjuntamente un calendario de las subastas de los tipos de pasivos con frecuencia anual, el cual queda sujeto a cambios ante eventualidades que se puedan presentar en el mercado. Este calendario busca subastar títulos de mediano plazo –aquellos que ven-

3. A marzo del 2004 el portafolio de pasivos del Gobierno Central, de acuerdo con datos elaborados por la Unidad de Análisis y Política de la Deuda de la División de Gestión de Deuda, alcanzaba la suma, en valor nominal, de US\$ 7.095,1 millones.

4. Si bien es cierto que el Tesoro realiza operaciones directas “*over the counter*”, éstas son las menos en relación con las hechas mediante sistemas de licitación pública, donde los principales compradores son instituciones del sector público.

5. Hasta hace poco, los títulos de corto plazo se colocaban quincenalmente.

6. Para este semestre se espera concluir la homologación y arquitectura de los instrumentos de endeudamiento, que deberá de utilizarse por ambos emisores tanto en moneda local como foránea.

cen a más de un año– el cuarto lunes de cada mes y los títulos de corto plazo –los que vencen a menos de un año– el segundo lunes de cada mes.

Asimismo, ambos emisores, mediante comunicados conjuntos, informan al medio, antes de cada subasta, las series y plazos que se van a licitar con los respectivos precios-rendimientos de referencia y montos máximos por captar, cuando existe el consenso para hacerlo.⁷

Ante las deficiencias que presenta la metodología actual de construcción de la curva de rendimiento en moneda local (como la poca o ninguna claridad por parte de ambos emisores acerca de cuáles son los títulos que nutrirán las curvas de rendimiento para un determinado proceso licitatorio, así como las metodologías de interpolación utilizadas, que utilizan de manera discrecional las tasas efectivas, con base en la asignación de la última subasta, para los mismos instrumentos, entre otras inconsistencias), se propone redefinir la metodología a utilizar por parte de los oficiales de deuda de ambas autoridades económicas.

Este documento pretende brindar información concreta sobre la técnica propuesta, la cual subsanará las debilidades de la metodología actual y dará resultados estadística y matemáticamente más confiables que los actuales, con el fin de contar con una única metodología para la toma de decisiones en cuanto a la determinación del costo financiero de los títulos colocados en el mercado primario, entre otros usos.

7. Hacia el segundo semestre del 2004, la Dirección del Tesoro Nacional se encontraba preparando un documento cuyo objetivo es evaluar la ventaja de anunciar señales sistemáticamente antes de un proceso licitatorio, partiendo de la hipótesis de que, al no contar los agentes con toda la información relevante para realizar las ponencias, el anunciar el costo al cual el Estado estaría dispuesto a tomar una determinada cantidad de deuda, minimizaría las volatilidades de las ofertas, al concentrar los recursos a niveles que en otro escenario, sin anuncio, no serían tomados por el Subastador.



Metodología propuesta para la construcción de la curva

Definición de la curva plazo-rendimiento

Existe una extensa variedad de definiciones acerca de la curva plazo-rendimiento. La mayoría de autores la conceptualiza de la siguiente manera:

“La Curva Plazo-Rendimiento es un gráfico que analiza la relación entre el *tiempo* que resta hasta el vencimiento de las obligaciones o bonos (amortización) y los *rendimientos* durante dicho plazo, siempre que todos ellos tengan el mismo grado de riesgo (impago). También se le denomina *estructura temporal de tipos de tasa de interés* (ETTI).”

“La Curva de Rendimientos permite estimar la estructura temporal de las tasas de interés para activos financieros homogéneos en cuanto a sus características intrínsecas, y observar la gama de rendimientos ofrecidos por dichos activos, teóricamente idénticos en todo excepto en su plazo de maduración.” (Mascareñas, 1998).

La estructura de plazos de las tasas de interés está relacionada con un conjunto de conceptos en finanzas. En términos prácticos, ésta es la relación entre los rendimientos al vencimiento de bonos distintos (de la misma calidad crediticia pero con diferente maduración) y el vencimiento. Sin embargo, también está relacionada con otros conceptos, como las curvas cero-cupón, de descuento y *forward*. En esta sección se describen brevemente estos conceptos.

Supóngase que se posee un bono con cupones cuyo tiempo al vencimiento, en el periodo de transacción t , es de m años y en cada uno de estos años (denotados por k , donde $k = 1, 2, 3, \dots, m$) el bono paga cupones de c colones y un principal de 100 al vencimiento. Si se vende este papel en el periodo t a un precio $P(t, t+m)$, el rendimiento a su madurez, denominado como $y(t, t+m)$, es la tasa que iguala este precio con el valor presente del título. Si se compone continuamente la tasa de interés, la relación entre el precio y el retorno a la madurez se expresa como:

$$P(t, t+m) = \sum_{i=1}^m \frac{c}{e^{y_i(t, t+m)}} + \frac{100}{e^{y_m(t, t+m)}} \quad (1)$$

Este rendimiento al vencimiento es una característica del bono en su totalidad y la finalidad primaria es la de facilitar la comparación –incompleta– del retorno esperado entre distintos activos financieros. Convencionalmente, las curvas que relacionan los rendimientos al vencimiento de bonos con cupones y su madurez se conocen como estructura de plazos de las tasas de interés. Sin embargo, ésta no es una descripción apropiada para comparar inversiones alternativas por distintas razones. Por una parte, en la ecuación 1 se está usando una tasa constante para traer a valor presente cada uno de los flujos cuando, teóricamente, éstos se deberían traer a valor presente usando la tasa *correspondiente* del flujo, es decir, usando una tasa *spot* (cero cupón).

Por otra parte, si se tienen dos bonos con el mismo vencimiento, los rendimientos serán diferentes en tanto los cupones sean distintos, lo cual crea un sesgo de cupón en la curva; de esta forma, el rendimiento debería ajustarse vía precio para equiparar los cupones. Estas dos razones hacen que la curva que relaciona los rendimientos al vencimiento y su vencimiento sea muy difícil de interpretar y de usar en la práctica, lo cual sugiere que una descomposición de la estructura de plazos de las tasas de interés en bloques básicos más pequeños –las tasas *spot* o *forward*– son más adecuadas.”⁸

En el momento que un analista intenta graficar una curva de rendimiento, lo hace en el plano rendimiento-madurez con una serie de puntos discretos. Similarmente, para una estructura de tasas de interés se dibujan las tasas *spot* contra un periodo de tiempo.⁹ Así, se necesita un método que permita calzar una curva sobre estos puntos y estime la curva de rendimientos.

Ahora bien, se empezará el estudio con modelos no paramétricos y después se analizarán tres modelos paramétricos que permitan posteriormente comparar las bondades y debilidades de cada uno con el ejercicio de estimación.

La literatura financiera llama la atención de que, idealmente, la estimación de la curva de rendimientos debe ser continua y suavizada –lo cual evita que se produzcan cambios súbitos dentro de la función–, con el fin de lograr derivaciones de tasas *forward* o sintéticos cero cupón, con una correcta intuición económico-financiera.

En la práctica, para muchos mercados no es posible observar directamente una estructura de tasas de interés, pues no se cuenta con suficientes instrumentos que satisfagan todos los plazos, por ello se presentan vacíos en períodos de maduración, lo cual impide que haya completitud de mercados¹⁰ en la economía; y, aunque se contara con cada instrumento para cada plazo de tiempo, técnicamente la estructura debe ser formalizada por cero-cupones, pero,

8. Julio, Mera y Revéiz (2002) y principalmente Svensson (1994).

9. Se nota que, en términos rigurosos, una curva de rendimientos puede estar compuesta por las tasas internas de retorno de instrumentos con determinado patrón de cupones, lo cual es diferente a una estructura de tasas de interés que se alimenta de instrumentos sintéticos o no cero cupón que vencen en determinados periodos de tiempo. Varios autores –Leford y Walter (2000), así como Maturana (1999)– hacen notar esta diferencia, ya que las características financieras –como tasas cupón y/o periodicidad de pago de los instrumentos con un mismo plazo de vencimiento– alteran los rendimientos y duraciones de los títulos que forman los puntos para la construcción de una estructura de tasas de interés intertemporal.

10. Concepto en economía financiera que hace referencia a la satisfacción de una demanda y/u oferta previamente establecida, que para el presente ejemplo se logra, en un plazo determinado, con activos financieros.

nuevamente, no hay en todas las economías un mercado lo suficientemente profundo de estos instrumentos financieros, por lo cual se hace necesario deducir la estructura con bonos que pagan cupones.

Aun así, no debe ignorarse los elementos que alimentarán cualquier técnica de estimación, pues es tan importante escoger la muestra como el método que se va a seguir; por ello, tomar instrumentos que son efectivamente transados y no estén sujetos a estimaciones, garantizaría la lectura adecuada de los rendimientos a plazos determinados, al menos para una curva de rendimientos de pasivos soberanos.

Modelos polinomiales: *cubic spline*¹¹

Uno de los métodos más simples para la estimación de la curva de rendimientos es el ajuste que brindan los polinomios de grado i ilustrados en la siguiente ecuación:

$$ytm_g = \alpha_0 + \sum_{i=1}^m \beta_i T_g^i + u_g \quad (2)$$

Donde:

ytm_g es el rendimiento al vencimiento del g -ésimo bono; T_g^i es el término de la madurez del g -ésimo bono; α, β son los coeficientes del polinomio y u_g es el error residual del g -ésimo bono.

Para determinar los coeficientes de la ecuación 2 se minimiza la suma de los errores al cuadrado dada por la estimación de la ecuación y la observación de la muestra:

$$\min \left(\sum_{i=1}^m u_i^2 \right) \quad (3)$$

donde m es el número de bonos por emplear para la estimación.

Así, por ejemplo, si se desea conocer el rendimiento de un bono por vencer en tres años, el polinomio toma la siguiente representación:

$$ytm_3 = \alpha_0 + \beta_1 3^1 + \beta_2 3^2 + \beta_3 3^3 + u_3 \quad (4)$$

Para luego minimizar las sumas de las diferencias de los errores al cuadrado.

La fórmula que resulta de esta función de grado g describe una trayectoria “suave”, pero tiene el inconveniente que responde abruptamente en el extremo donde $G = M-1$ (donde M son los nodos y G es su rezago), lo cual ocasiona problemas de estimación; asimismo, con un g chico la ecuación no logra la mejor predicción.

Es así como nace un método que, con base en algunas técnicas del anterior, conecta cada par de puntos en el plano rendimiento-vencimiento, ajustando una única ecuación cúbica entre

11. *Spline* es un instrumento empleado por los carpinteros destinado a dibujar líneas suavizadas.

ellos. Así es como se presenta un encadenamiento de este tipo de ecuaciones entre cada uno de los puntos propuestos en lugar de un único polinomio, de tal suerte que para la modelación de cuatro polinomios cúbicos se necesitarán cinco observaciones, cada una unida a cada par de puntos de rendimientos con la siguiente estructura polinomial:

$$\begin{aligned}
 ytm_{(0,t)} &= \alpha_0 P^3 + \beta_0 P^2 + \chi_0 P + \delta_0 \\
 ytm_{(1,t)} &= \alpha_1 P^3 + \beta_1 P^2 + \chi_1 P + \delta_1 \\
 ytm_{(2,t)} &= \alpha_2 P^3 + \beta_2 P^2 + \chi_2 P + \delta_2 \\
 ytm_{(3,t)} &= \alpha_3 P^3 + \beta_3 P^2 + \chi_3 P + \delta_3
 \end{aligned} \tag{5}$$

donde P es una medida del tiempo que le resta al instrumento para el vencimiento. Así, la primera ecuación une el punto P_0 con el P_1 ; la segunda el punto P_1 con el P_2 y así sucesivamente dentro de la estructura. La solución que permite satisfacer estas ecuaciones se presenta en el Cuadro 1. Mediante álgebra lineal se llega a la solución de los coeficientes que permiten resolver el sistema mediante las características financieras de los instrumentos emitidos en moneda local para el 2 de abril y el 18 de junio del 2004.¹²

CUADRO 1¹³
COEFICIENTES QUE SATISFACEN EL SISTEMA DE ECUACIONES PROPUESTO EN LA ESTRUCTURA 5

PARÁMETROS FECHA	α		β		χ		δ	
	2 DE ABRIL	18 DE JUNIO	2 DE ABRIL	18 DE JUNIO	2 DE ABRIL	18 DE JUNIO	2 DE ABRIL	18 DE JUNIO
0	(0,02)	0,10768	0,016	(0,09422)	0,024073	0,07309	0,11656	0,11402
1	0,02502	(0,87355)	-0,0534	1,49210	0,06	(0,78176)	0,111	0,26758
2	0,036	6,66867	(0,08)	(15,66645)	0,078	12,23014	0,106	(3,02154)
3	(0,09)	(1,14179)	0,28	3,33901	(0,27)	(3,18539)	0,22	1,14636
4	0,032	0,34959	(0,17)	(1,32156)	0,293	1,66936	(0,02)	(0,53932)
5	3E-06	(3,05527)	0,002	14,39756	(0,01)	(22,52061)	0,157	11,86924
6	(0,000)	0,07150	0,028	(0,50671)	(0,08)	1,16062	0,225	(0,67304)
7	(0,000)	(0,00999)	(0,000)	0,11394	0,006	(0,41515)	0,141	0,66052
8	9E-05	0,00081	(0,000)	(0,01726)	0,018	0,11620	0,11709434	(0,05679)

FUENTE: Elaboración propia con base en los resultados obtenidos para la solución de los polinomios.

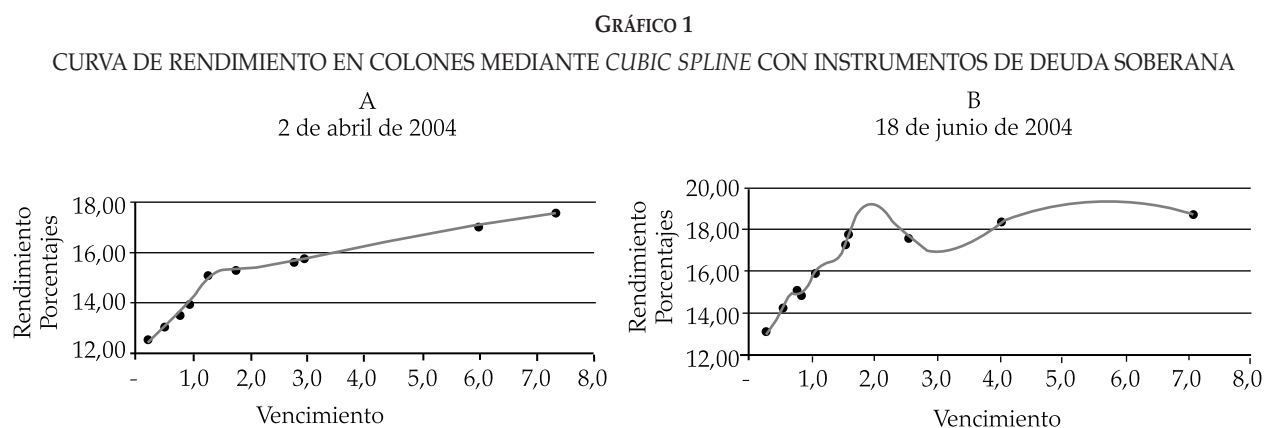
Para la solución del sistema descrito son necesarias, además, ciertas características matemáticas, las cuales garantizan la suavidad y continuidad de las ecuaciones que servirán para las proyecciones: que los polinomios “pasen” por las observaciones que se están presentando en el mercado secundario de los instrumentos soberanos, que las pendientes de las ecuaciones no generen oscilaciones drásticas (elemento que se soslaya con la condición matemática de que las primeras y segundas derivadas de todas las ecuaciones adyacentes deban ser iguales

12. Se utilizan dos fechas con el fin de obtener un grupo control, dado por la primera fecha, y observar resultados en la modelación en diferentes momentos del tiempo. Las fechas fueron escogidas arbitrariamente.

13. Modelación elaborada por Melvin Quirós, funcionario de la Unidad de Análisis y Política de la Deuda.

en el punto donde las ecuaciones se reúnen) y, finalmente, que las segundas derivadas de la primera y última ecuaciones que forman la estructura sean iguales a cero, con el fin que no se “dispare” la estimación en estos puntos, pues no se cuenta con otros polinomios con los cuales se puedan “atar” las ecuaciones.¹⁴

Lo anterior se ilustra en los Gráficos 1A y 1B, que presentan las estimaciones de nueve ecuaciones de la forma que se escribe en la estructura 5, utilizando diez observaciones.¹⁵



Fuente: Elaboración propia.

Lo anterior brinda el mejor ajuste sobre los puntos propuestos¹⁶ ya que por definición la estimación está trazada sobre los mismos puntos. A pesar de ello, y es válido recalcar, los puntos inferidos del universo de pasivos soberanos pueden estar sesgados por elementos tales como consideraciones de competencia monopolística en las transacciones y colusión entre empresas del mismo o diferente grupo financiero. Ello no significa que las observaciones no sean dadas por el mercado, sino que no responden a un mercado competitivo.¹⁷ Así el panorama, y sin ser éste un fenómeno exclusivo del mercado costarricense, técnicas propuestas por Fisher, Nychka y Zervos (1995) y Waggoner (1997) incorporan “castigos bruscos”,¹⁸ produciendo así decrecimiento en los niveles de oscilación –como los observados en el Gráfico 1A, en el caso del periodo de vencimiento [1,5 ; 2,0] y en el Gráfico 1B, donde las “jibas” mostradas se presentan con mayor frecuencia en todo el espectro de la curva– pero reduciendo el ajuste a la curva de rendimientos observada. Dichas volatilidades en los rendimientos observados para estos periodos pueden achacarse a un proceso de ajuste en el mercado de deuda pública ocurrido después de las caídas que experimentaron los precios de los bonos soberanos en moneda extranjera, que luego contagiaron el mercado de deuda en moneda local, en

14. Debido a las dimensiones de la estructura matricial $-36 \times 36-$ se omite la ilustración en el presente documento.

15. Las observaciones no incluyen los datos que se desprenden del vector y sólo aquellas que realmente se observaron en el mercado secundario.

16. La validez de los puntos propuestos para esta estimación y las siguientes será ampliada en las conclusiones del documento.

17. La anterior observación ha sido pregonada en múltiples exposiciones del señor Rodrigo Matarrita a la hora de presentar sus investigaciones sobre temas afines.

18. Traducción libre del autor para *roughness penalty*.

el cuatrimestre que va de marzo a junio. Dichos procesos son normales, debido a la corrección en la valoración de los activos financieros, lo cual produce sobrerreacciones o subreacciones mientras el mercado busca un “sano equilibrio” en el proceso.

Es del interés de los autores profundizar en estos conceptos en el tanto la técnica descrita sea utilizada de manera consensuada entre el MH y el BCCR, para las aplicaciones descritas anteriormente.

Modelos paramétricos: *Nelson-Siegel*

Dentro de la profesión, las técnicas de ajuste para la curva de rendimientos se dividen principalmente en métodos basados en *splines* y aquellos donde se hace necesario estimar parámetros, mediante diferentes técnicas econométricas, dentro de un modelo previamente desarrollado.¹⁹

Dentro del espacio descrito, en 1987, en un artículo publicado en el *Journal of Business*, bajo el título “Parsimonious modelling of yield curve”, C. Nelson y A. Siegel brindan una relación funcional entre las tasas *forward* y *spot*, logrando modelar esta última mediante un promedio geométrico de la curva de tasas *forward*.

Una aproximación de las tasas *forward* del modelo propuesto por Nelson-Siegel (1987) lo brinda una función matemática conocida como Laguerre más una constante de la forma (Choudhry, 2001):

$$f(T) = \beta_0 + \beta_1 e^{-\frac{T}{\tau_1}} + \frac{\beta_2}{\tau_1} T e^{-\frac{T}{\tau_1}} \quad (6)$$

Donde:

T es el tiempo por vencer del rendimiento del pasivo; β_0 , β_1 , β_2 y τ_1 son los parámetros por ser estimados.

Vale recordar que las tasas *spot* son un promedio de las tasas *forward*:

$$rs = \frac{\int_0^T f(u) du}{T} \quad (7)$$

Donde $f(u)$ describe el comportamiento de las tasas *forward* y las tasas *spot* están dadas por:

$$rs = \beta_0 + (\beta_1 + \beta_2) \frac{\tau_1}{T} (1 - e^{-\frac{T}{\tau_1}}) + \beta_2 e^{-\frac{T}{\tau_1}} \quad (8)$$

19. Son llamadas de esta forma porque los modelos que estiman tasas *forward* usan una ecuación paramétrica.

Con el fin de ilustrar la implantación, Anderson y Sleath (1999) prepararon una modelación mediante la asignación de los parámetros $\beta_0 = 0,5$, $\beta_1 = -1$ y $\tau_1 = 1$, donde brindan evidencia de que el coeficiente β_0 refleja la media de las tasas *spot*.²⁰

En el caso costarricense, mediante la ecuación (6) se obtienen los siguientes valores con datos observados para el 2 de abril y el 18 de junio del 2004:

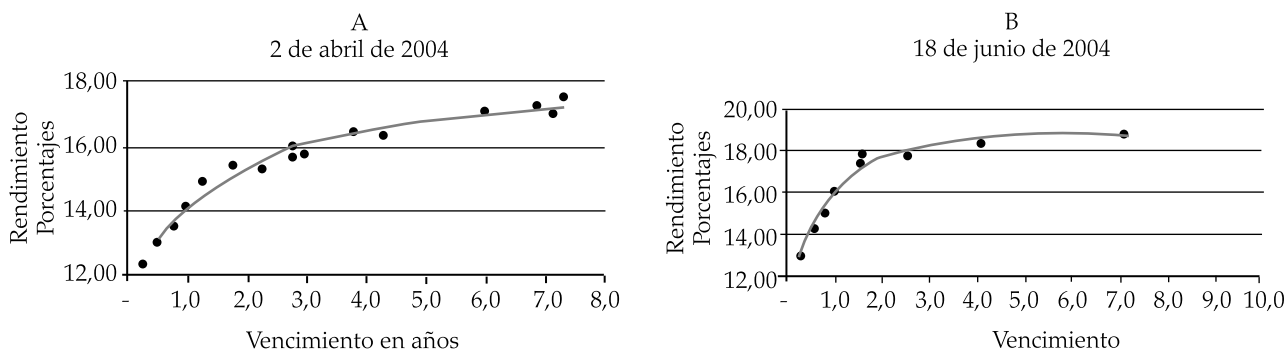
CUADRO 2²¹
COEFICIENTES QUE SATISFACEN LA ESTRUCTURA PROPUESTA EN LA ECUACIÓN (6)
MEDIANTE MÍNIMOS CUADRADOS ORDINARIOS

FECHA/PARÁMETRO	β_0	β_1	β_2	τ_1
2 de abril	0,18004	(0,06345)	(0,00000)	0,94140
18 de junio	0,1885478	-0,082846574	0,070233195	0,823663242

FUENTE: Elaboración propia.

Lo anterior se aprecia en los Gráficos 2A y 2B.

GRÁFICO 2
CURVA DE RENDIMIENTO EN COLONES MEDIANTE EL MODELO DE NELSON Y SIEGEL
PARA INSTRUMENTOS DE DEUDA SOBERANA



FUENTE: Elaboración propia.

20. Choudhry (2001), realiza un interesante ejercicio empírico donde, al sustituir los coeficientes estimados por Anderson y Sleath (1999), pone en evidencia que el resultado para una serie de términos al vencimiento de 10, 20, 30 y 100 años y para el parámetro β_2 tomando valores discretos entre [-5, 5] llega en promedio y sistemáticamente a valores de *rs* del 5 por ciento.

21. En la estimación hecha por oficiales de deuda del Tesoro, Melvin Quirós minimizó la suma de las diferencias al cuadrado de los valores observados versus los estimados por el modelo en (8) mediante una estimación lineal con derivadas progresivas mediante el método de Newton, brindado por los complementos de Excel®. Esto para una muestra de 18 observaciones mezclando tanto los valores observados como los estimados por el vector de precios elaborado por la Bolsa Nacional de Valores, Se aclara que es preferible sólo tomar las observaciones hechas en el secundario sin contar con las estimaciones elaboradas por el “vector de precios”.

Este tipo de técnicas paramétricas, al igual que los métodos anteriores, es aplicada en varias oficinas de deuda pública y bancos centrales. La evaluación de este tipo de modelos y extensiones hechas por Svensson (1994, 1995)²² actualmente es utilizada por autoridades monetarias como el Riksbank sueco, el Bank of England y autoridades fiscales como el Ministerio de Hacienda y Crédito Público de la República de Colombia.

Es interés de los autores profundizar en estos conceptos en el tanto la técnica descrita sea utilizada de manera consensuada entre el MH y el BCCR, para las aplicaciones descritas anteriormente.

Modelos paramétricos: *Haugen-Logarítmica*

Uno de los métodos empleados, el cual goza de mayor utilidad en el mercado local –aunque esto no significa que tenga mejor consistencia econométrica–, lo constituyen las regresiones logarítmicas empleadas por operadores bursátiles y oficiales de deuda del MH y BCCR.

La necesidad de buscar una herramienta que brinde ayuda para la toma de decisiones del Comité de Subastas Conjuntas que se creó en 1999 (y dado que sus modelos son un tanto estáticos, pues en cada proceso de licitación eran evaluadas sólo las tasas efectivas que brindaba la Junta Directiva del BCCR para plazos de tres, seis, nueve y doce meses), hizo que se considerara una estructura temporal de tasas de interés que, de forma más dinámica y con información de los precios del mercado secundario, constituyera una herramienta analítica más útil para los hacedores de política (Alpízar, 2003). Es así como durante el 2003 e inicios del 2004 se hizo hincapié en que es necesario poner en práctica desarrollos más formales de los que actualmente se tienen, siendo el presente documento uno de los esfuerzos en esa dirección.

Por otro lado, y mediante búsqueda bibliográfica en la literatura de modelos paramétricos²³, se prueba una ecuación atribuida a Robert A. Haugen de la forma:

$$ytm_i = (a_1 + a_2 T_i) e^{-a_3 T_i} + a_4 \quad (9)$$

Donde:

T es el tiempo al vencimiento del rendimiento del pasivo/activo por estimar y a_1, a_2, a_3, a_4 son parámetros por ser estimados.

22. El aporte presentado por este autor ante el modelo de Nelson-Siegel radica en incorporar un parámetro extra introduciendo la mayor flexibilidad y permitiendo a la curva de tasas *forward* modelar varias “jibas” que se pueden presentar; la razón funcional es la siguiente:

$$f(T) = \beta_0 + \beta_1 \frac{T}{\tau_1} e^{-\frac{T}{\tau_1}} + \beta_2 \frac{T}{\tau_1} e^{-\frac{T}{\tau_1}} + \beta_3 \frac{T}{\tau_1} e^{-\frac{T}{\tau_2}}$$

23. Se agradece al señor Fernando Hernández la gentil ayuda a los oficiales de deuda en la obtención del Libro *Modern Investment Theory*, de Robert A. Haugen (2001), el cual vino a complementar esta sección del documento.

En el caso del modelo logarítmico, su relación funcional es de la forma:²⁴

$$f(x) = \beta \ln(x) + \delta \quad (10)$$

Siendo $f(x)$ el rendimiento por estimar y x el tiempo para el vencimiento. En esa ecuación, β se comporta como la semielasticidad²⁵ del rendimiento ante el cambio en el tiempo y δ es una constante.

Para el caso que interesa se logró obtener la siguiente ecuación para el 2 de abril:

$$\hat{y} = 0,0154 \ln(x) + 0,1429 \quad (10')$$

y para el 18 de junio del 2004 se obtuvo:

$$\hat{y} = 0,0195 \ln(x) + 0,1582 \quad (10'')$$

Lo anterior permite obtener los siguientes coeficientes para los modelos propuestos:

CUADRO 3²⁶
COEFICIENTES QUE SATISFACEN LA ESTRUCTURA PROPUESTA EN LA ECUACIÓN (9)
MEDIANTE MÍNIMOS CUADRADOS ORDINARIOS

FECHA/PARÁMETRO	a_1	a_2	a_3	a_4
2 de abril	(0,053818269)	8,20998E-07	0,502715384	0,173053369
18 de junio	(0,079706582)	0,006895073	1,021945793	0,186488015

Fuente: Elaboración propia.

Así también, se exponen en los Gráficos 3A y 3B, los resultados para ambas fechas, contrastando ambos modelos en el plano rendimiento-vencimiento.

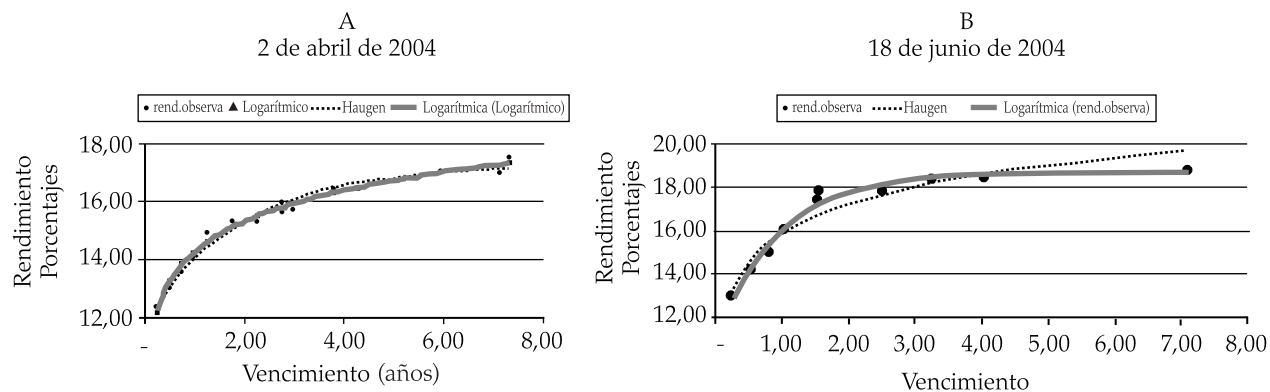
24. De acuerdo con la estimación lograda en Excel® para el 2 de abril del 2004, para una muestra de 18 observaciones que incluía tanto los valores observados como los estimados por el vector de precios elaborado por la Bolsa Nacional de Valores. Se hace notar que para las estimaciones logradas en los modelos paramétricos con fecha 18 de junio sólo se utilizó la suma-producto de los datos presentados en el mercado secundario sin ningún tipo de filtros brindados por el vector de precios, aspecto que se profundiza en las conclusiones de este estudio.

25. En el caso que la variable dependiente estuviera afectada por el logaritmo natural, la derivada parcial de la función con respecto de su variable explicativa "X" permitiría indicar por parte del coeficiente β una elasticidad constante a diferencia de la elasticidad en el modelo lineal que resulta $\frac{\partial y / y}{\partial x_k / x_k} = \frac{x_k \beta_k}{X' \beta + \varepsilon}$ Green (1998).

26. En la estimación hecha por oficiales de deuda del Tesoro, Mónica Salazar y Raquel Echeverría minimizaron la suma de las diferencias al cuadrado de los valores observados versus los estimados por el modelo en la ecuación 9, mediante una estimación lineal con derivadas progresivas mediante el método de Newton, brindado por los complementos de Excel®. Esto para una muestra de 18 observaciones mezclando tanto los valores observados como los estimados por el vector de precios elaborado por la Bolsa Nacional de Valores.

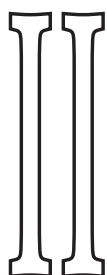
GRÁFICO 3

CURVA DE RENDIMIENTO EN COLONES MEDIANTE MODELOS
PARAMÉTRICOS DE HAUGEN Y LOGARÍTMICO PARA INSTRUMENTOS DE DEUDA SOBERANA



FUENTE: Elaboración propia.

Las aplicaciones de los modelos y su atinencia serán evaluadas en las conclusiones del documento.



Aplicaciones para la curva de rendimientos

La elaboración de la curva plazo-rendimiento –y particularmente para títulos cero cupón– tiene como objetivo estimar las tasas de rendimiento para todos los plazos que puedan ser utilizados, con el fin de encontrar el valor actual de este tipo de título de renta fija. Para ello, se aplica un ajuste matemático de curvas en el cual se usan como base los rendimientos observados en las negociaciones diarias efectuadas en la Bolsa Nacional de Valores.

La metodología utilizada para la construcción de la curva cero cupón parte de la elaboración de una curva de rendimientos mediante métodos como los empleados en la sección anterior para instrumentos financieros que tienen sus propias estructuras de pago. En este caso particular, se optó por el modelo *spline* de polinomios cúbicos, siendo esto una discrecionalidad de los autores, que resulta conveniente para ilustraciones subsiguientes. Una vez hecho esto, se definen bonos sintéticos para plazos predefinidos,²⁷ que para los instrumentos del presente estudio se estructuran con una periodicidad semestral, buscando de esta manera, mediante un ejercicio de optimización, la tasa interna de retorno que iguale el valor presente de los bonos a valor par. Esta TIR semestralizada permite, en términos más exigentes, construir no la curva de rendimientos sino la estructura de tasas de interés nominal intertemporal (ETTI) para un día en particular.²⁸

La metodología propuesta determina la ETTI en colones con instrumentos de deuda con tasa fija constituidos por emisores “libres de riesgo” como son el Ministerio de Hacienda y el BCCR.²⁹

27. Para este ejercicio en particular, las emisiones de títulos cero cupón soberanos a menos de un año se llevan a cabo cada tres meses, estructurando plazos de 0,25; 0,5; 0,75 y 1 año. Cuando a una emisión le resta menos de tres meses para su vencimiento, deja de emplearse para fines de financiamiento fiscal o política monetaria y deja a las inversiones de corto plazo de 7, 15 y 30 días el afinamiento de la política de la autoridad monetaria.

28. Xiomara Cordero e Ignacio Morales (2004) realizan una propuesta para la construcción de la curva soberana cero cupón para títulos en moneda local mediante técnicas conocidas en la literatura financiera como *bootstrapping* –método no econométrico y recursivo utilizado para derivar la curva de rendimiento *spot*.

29. Varios autores reconocen la discriminación de riesgos que deben de existir entre ambos emisores, sobre todo cuando el BCCR no debería caer en estados de *default* dada la capacidad monopólica de emisión monetaria, al menos en el inmediato y/o corto plazos. Aún así, en el caso extremo que el MH no honre sus pagos, el BCCR no está exento de ser contagiado de esta posibilidad, máxime si se considera la estrategia de homologación de pasivos financieros que se ha implantado en la última década.

Interpretación de los puntos de la curva de rendimiento

Una vez construida la curva de rendimiento para el mercado donde se cotiza cierto instrumento sujeto a análisis, se establecen las siguientes consideraciones:

- Si la inversión de un instrumento de igual emisor se presenta “por encima” de dicha curva, entonces su rendimiento es superior al que el mercado debería de estar pagando por un instrumento con igual duración que éste. Ello implica que si llega a realizarse la transacción del instrumento, puede conceptuarse como una buena compra.
- Si la inversión en dicho papel se presenta “por debajo” de la mencionada curva, entonces el rendimiento es inferior al que el mercado estaría en posición de pagar por un instrumento con igual duración que éste. Por lo tanto, el papel analizado puede conceptuarse, si llega a realizarse la transacción, como una “compra no tan buena” o, si así correspondiese, como una “buena venta” o “sustitución” por algún otro papel.
- Si la inversión en dicho papel se presenta “sobre” esa curva, entonces el rendimiento no debería presentar oportunidades de arbitraje por lo cual estaría equilibrado, de acuerdo con el mercado donde se cotiza.

La Curva de Rendimiento es de gran utilidad, pues permite monitorear los rendimientos que está exigiendo el mercado en un momento dado, para determinados niveles de riesgo. Asimismo, muestra la estructura de tasas de mercado, se constituye en un insumo fundamental para la toma de decisiones, tanto en la asignación de ofertas en las subastas de títulos del Gobierno Central como en la determinación de tasas en las negociaciones directas o en las nuevas emisiones en el mercado primario y de precios para canjes en la administración del portafolio.

Por un lado, la curva permite establecer rendimientos o puntos de referencia, que se constituirían en los costos financieros máximos aceptables para diferentes plazos en un momento dado y, por otro, orienta la determinación de tasas de corte que garanticen un adecuado precio en la colocación de los títulos. Esto permite conocer las tasas de interés competitivas en el mercado para un instrumento y, a la vez, con ello se garantiza un costo financiero no sesgado por arbitrajes para el país, lo cual es válido para la curva *spot* cero cupón.

Todo esto permite obtener mejores condiciones para el mercado bursátil, así como favorecer el desarrollo de éste, lo que daría como resultado una mayor bursatilidad de los títulos del Gobierno-BCCR y una más eficiente formación de precios, siendo éstas funciones importantes del emisor dentro del marco del desarrollo del mercado secundario.

Así también, el *spread* o diferencial de tasas nominales largas y cortas provee información sobre las expectativas de inflación y crecimiento futuro. El *spread* de tasas tiene un valor predictivo, pues refleja “la política monetaria que sigue la economía,” es decir:

- Un *spread* bajo refleja una política monetaria restrictiva, esto por cuanto las tasas de interés a largo plazo son un promedio ponderado de las tasas cortas futuras más un promedio de riesgo asociado al vencimiento. Por lo tanto, si las tasas cortas son relativamente

altas en relación con las tasas largas, ello implica que se persigue una política monetaria restrictiva. Sin embargo, las tasas largas no reaccionan con la misma intensidad que las cortas, lo cual provoca que el *spread* caiga. Lo anterior se deduce como una política monetaria restrictiva y, por lo tanto, un *spread* bajo es indicativo de que el ritmo económico y la tasa de inflación caerán en el futuro. Lo contrario sucede si se decide relajar la política monetaria.

- El *spread* contiene información sobre las condiciones del mercado de crédito. Las tasas a largo plazo reflejarían, según este supuesto, la existencia de equilibrio entre oferta y demanda en el mercado de crédito. Por ello, aunque podrían reaccionar a cambios en la política monetaria, las tasas largas pueden experimentar variaciones en la ausencia de tales cambios esencialmente porque el nivel se determina en los mercados financieros. La hipótesis del mercado de crédito predice que un aumento en el *spread* causado por un aumento en las tasas largas, antecede a un mayor crecimiento en términos reales y una mayor tasa de inflación. En realidad, un aumento en la demanda por crédito es un augurio de un mayor dinamismo de la economía, en la medida que mayores posibilidades de financiamiento facilitan aumentos en inversión y consumo.
- El *spread* de tasas nominales refleja la dirección de los cambios en la inflación futura. Específicamente, cuando las expectativas de inflación a más largo plazo aumentan, las tasas largas nominales se ajustan. Una mayor credibilidad en la política monetaria conducirá a una tasa de inflación esperada más baja, menores tasas largas y, por lo tanto, un *spread* más bajo. Ello indica que una caída del *spread* predice una caída en la tasa de inflación, si en promedio, los pronósticos que realizan los inversionistas son correctos.

La estructura de tasas *forward*

Definición

La tasa *forward* es aquella que se estima con el fin de representar la proyección del mercado de las tasas futuras de interés, cuyo insumo son las tasas *spot* vigentes en un momento dado para diferentes plazos. Una tasa *spot* es el rendimiento que prevalece en un determinado momento, representado por un instrumento financiero, o bien, un modelo. De esta forma, al conocer un grupo de tasas *spot* es posible calcular las tasas futuras para cualquier período intermedio.

Dichas tasas se calculan a partir de la curva de rendimientos, de tal forma que, conociendo la curva, es posible calcular la tasa *forward* correspondiente a cualquier período en el futuro. El principio para el cálculo de las tasas futuras es la suposición de que los rendimientos para un determinado período son todos iguales, sin importar cuáles son los vencimientos de los bonos que se conservan durante ese período.

A continuación se presenta un ejemplo con el fin de mostrar la aplicación de las tasas *forward*.

Supóngase que un valor a dos años debe ofrecer un rendimiento similar al de invertir en dos valores consecutivos de un año:

$$(1 + {}_t i_2)^2 = (1 + {}_t i_1)(1 + {}_{t+1} r_1) \quad (11)$$

Donde:

${}_t i_2$ es la tasa de interés anualizada conocida de un valor a dos años en el momento t ; ${}_t i_1$ es la tasa de interés anualizada conocida de un valor a un año en el momento t ; ${}_{t+1} r_1$ es la tasa de interés a un año que se anticipa en el momento $t+1$ (un año en el futuro); i es la tasa conocida y r representa una tasa que se cotizará en algún momento en el futuro, es decir, incierta.

El lado izquierdo de la ecuación representa el rendimiento compuesto que obtendrán los inversionistas que compran un valor a dos años y el lado derecho representa el rendimiento compuesto anticipado de un valor a un año y la reinversión de los ingresos en un nuevo valor a un año al final del primero.

Si t es hoy, se puede estimar el tiempo despejando los términos y se obtendrá:

$$(1 + {}_t i_1) = \frac{(1 + {}_t i_2)^2}{(1 + {}_{t+1} r_1)} \quad (12)$$

Utilidad de las tasas forward

Las tasas *forward* se utilizan como una aproximación de consenso del mercado sobre las proyecciones de las tasas de interés, pues, si el mercado tuviera una percepción diferente, la demanda y oferta de los valores existentes de "X" y "Y" años se ajustarían para aprovechar esta información. Desde luego, existe garantía de que las tasas de interés *forward* proyecten la tasa de interés futura.

Es importante tomar en cuenta que mientras mayores sean las diferencias entre las tasas *forward* implícitas de un año y la tasa de interés dentro de un año, mayor será el cambio esperado de la tasa de interés de un año. Si la estructura de plazos de la tasa de interés es influida sólo por las expectativas sobre las futuras tasas de interés, se mantendrán las relaciones que se muestran en el Cuadro 4.

CUADRO 4
ESTRUCTURA DE LA CURVA DE RENDIMIENTO Y EXPECTATIVA
SOBRE LA TASA DE INTERÉS FUTURA ANTE DIFERENTES ESCENARIOS DE TASA DE INTERÉS FORWARD

ESCENARIO	ESTRUCTURA DE LA CURVA DE RENDIMIENTO	EXPECTATIVA SOBRE LA TASA DE INTERÉS FUTURA
1. ${}_{t+1} r_1 > {}_t i_1$	Pendiente ascendente	Mayor que la tasa actual
2. ${}_{t+1} r_1 = {}_t i_1$	Plana	Igual que la tasa actual
3. ${}_{t+1} r_1 < {}_t i_1$	Pendiente descendente	Menor que la tasa actual

FUENTE: Elaboración propia.

Se puede determinar tasas *forward* para diversos vencimientos. Las relaciones descritas se pueden aplicar cuando se trata de evaluar el cambio de la tasa de interés de un valor con un crecimiento particular.

Tres son las teorías sobre la estructura de vencimiento que han recibido la mayor atención, y se conocen como la teoría de las expectativas puras, la teoría de la prima de liquidez y la teoría de segmentación del mercado. Tanto la teoría de las expectativas puras, como la teoría de la prima de liquidez, utilizan tasas futuras como un elemento clave y se reconocen por su interpretación de las tasas futuras tal como se presenta a continuación:

- **La teoría de las expectativas puras.** Esta teoría afirma que las tasas *forward* son iguales a las futuras tasas *spot* esperadas, lo cual implica que las tasas *forward* brindan un pronóstico insesgado de las tasas de interés en el futuro; las tasas *forward* son estimadores separados de las futuras tasas de interés; si las tasas están sesgadas, el inversionista puede tratar de aprovecharse, si las tasas *forward* son estimadores no sesgados de las futuras tasas de interés, indica que ésta se apoya en la eficiencia de los mercados financieros y no se puede utilizar la información implícita en las tasas del mercado sobre las tasas *forward* para generar rendimientos extraordinarios; conforme vaya llegando nueva información deben cambiar las preferencias del inversionista y ajustar los rendimientos, así como la tasa *forward* implícita. Esta teoría, además, indica que cuando la curva de rendimientos tiene una inclinación ascendente se espera que las tasas de interés aumenten y cuando la curva de rendimientos es descendente implica que las tasas de interés disminuirán.
- **La teoría de la prima de liquidez.** Esta teoría asevera que las tasas *forward* exceden las futuras tasas *spot* esperadas, lo cual indica que la liquidez no necesariamente será igual al rendimiento de un valor de inversiones consecutivas en instrumentos de corto plazo. También, alega que la diferencia entre las tasas *forward* y las tasas *spot* esperadas se debe a la preferencia que tienen los inversionistas por instrumentos de corto plazo; si la liquidez influye en la curva de rendimiento, las tasas *forward* sobrestiman las expectativas que tiene el mercado de las tasas futuras de interés. Una forma más apropiada de estimar la tasa *forward* sería tomar en cuenta la prima de liquidez. Incluso con la existencia de una prima de liquidez, se puede recurrir a las curvas de rendimientos para interpretar las expectativas sobre tasas. Una curva plana de rendimiento indica que el mercado espera una reducción de las tasas de interés (sin el efecto de la prima de liquidez). Una pendiente ligeramente ascendente significa que no se esperan modificaciones de las tasas de interés porque si se eliminara la prima de liquidez, esta curva de rendimiento sería plana.
- **La teoría de la segmentación del mercado.** Apunta que la forma de la curva de rendimientos recibe la influencia sobre la preferencia en vencimientos de diferentes negociantes de bonos institucionales.

Las tres teorías de la estructura de vencimientos ofrecen una explicación de cualquier curva de rendimiento. Por tanto, aunque la evidencia sobre las teorías de la estructura de vencimientos es mixta, los estudios revelan que la forma de la curva de rendimiento tiene la bondad de predecir las tasas futuras de interés.

Tipos de curvas plazo-rendimiento

La curva plazo-rendimiento varía día con día según cambian los tipos de interés del mercado. Existen diferentes curvas de rendimiento para cada tipo de riesgo o clasificación de los bonos, de forma que a mayor riesgo –peor calificación– la curva plazo-rendimiento debería estar situada encima de las de menor riesgo, lo que implica tener que ofrecer un rendimiento superior que compense el incremento del riesgo.

- **Curva de rendimiento normal o positiva.** Es aquella cuyos rendimientos en el corto plazo son menores que los rendimientos esperados en el largo plazo. Esta curva es la más común, debido a la presencia de las denominadas primas por liquidez en el rendimiento esperado de las obligaciones, o también, que el mercado anticipa de alguna manera la tendencia alcista en el nivel general de los tipos de interés que ocurran en un período.
- **Curva de rendimiento invertida o negativa.** Es aquella curva donde los rendimientos en el corto plazo son mayores que los rendimientos esperados en el largo plazo; este tipo de gráfica es algo inusual, lo cual puede deberse a razones económicas coyunturales. La curva negativa tiende a ocurrir cuando las tasas de corto plazo se incrementan rápidamente y los inversionistas creen que ese crecimiento es temporal, por ello las tasas de largo plazo permanecen cerca del nivel inicial.
- **Curva de rendimiento con montículo.** En esta curva los rendimientos intermedios son más caros o baratos, según el respectivo caso, de los inmediatamente anteriores o posteriores. Esto puede deberse a situaciones técnicas o económicas como la de calce de plazos, donde el emisor esté promoviendo recursos para cubrir obligaciones que debe cumplir en un determinado periodo.
- **Curva de rendimiento plana.** Es aquella donde los rendimientos en el corto plazo son iguales que los rendimientos esperados en el largo plazo. Dicha curva es indicativa de que el tipo de interés es único sea cual sea el vencimiento de la emisión.

Expectativas de las tasas de interés y el impacto en la estructura de tasas

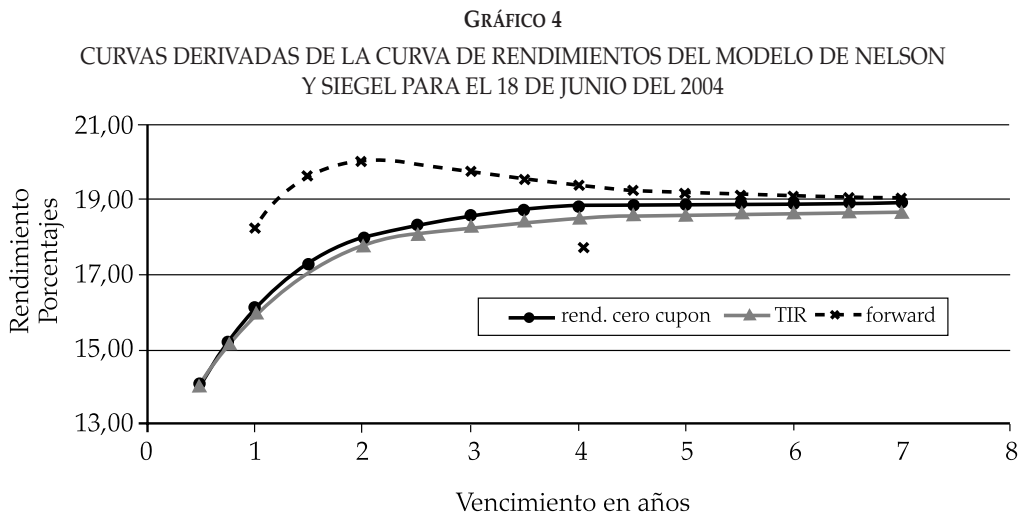
La pendiente de la curva muestra las preferencias de los plazos por parte de los inversionistas y las tendencias de la economía, tal como se muestra a continuación:

- Si se supone que la economía se encuentra actualmente en una fase de crecimiento y hay un consenso sobre la existencia de una recesión dentro de un año, el deseo de protegerse de dicho suceso hará aumentar la demanda de productos financieros que reporten pagos durante la época de recesión, por lo cual la curva de rendimiento tendrá una pendiente hacia arriba. En este caso, los inversionistas se mostrarán renuentes a comprar bonos de largo plazo que no rindieran más que los de corto plazo.
- Si se desata una demanda excesiva por productos financieros, el rendimiento descenderá al aumentar el precio. Para financiar su compra, los inversionistas bien podrían optar por vender activos financieros invertidos a plazos más cortos, con lo cual el precio de estos últimos caerá y el rendimiento ascenderá. El resultado de todo esto será una curva plazo-

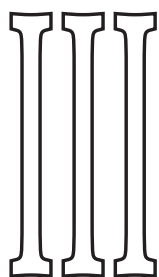
rendimiento descendente; así, si se espera una recesión, observando que los tipos de interés a largo plazo descienden mientras que aumentan los de menor plazo, ello provoca que la curva de rendimientos tenga una forma invertida e implica que invertirían en valores de largo plazo que proporcionarían un rendimiento menor que los valores de corto plazo, pues no podrían mejorarlo con una estrategia de corto plazo.

- La falta de curvas con pendiente hacia abajo se atribuye a la presencia de primas de plazo, por cuanto los precios de los bonos de largo plazo fluctúan más que los de corto plazo, por ello se debe ofrecer a los acreedores un incentivo de rendimiento, para que presen a largo plazo.
- La segmentación del mercado afecta a la oferta y la demanda, por lo cual si la curva de rendimiento está dividida en mercados separados, un cambio en la oferta o demanda en alguno de los mercados puede modificar su forma.

Presentada una breve descripción teórica de las formas que pueden presentarse en la ETTI, se elabora la implantación y las curvas para el 18 de junio del 2004 –que para el mercado local se ilustran en Gráfico 4–, las cuales exhiben muchas de las consideraciones supracitadas, que servirán de elemento para la adecuada toma de decisiones en materia de financiamiento público y afinamiento de la política monetaria.



FUENTE: Elaboración propia.



Conclusiones e implicaciones de política financiera

Si bien es cierto que existen varias fuerzas que influyen en la movilidad de las tasas de interés, tales como cambios en la oferta de dinero, el volumen de actividad económica, el nivel de tasas de interés en los mercados extranjeros, las políticas de las autoridades y el tamaño del déficit fiscal, éstas dos últimas son las fuerzas que ejercen la mayor presión en el cambio de las tasas en la economía costarricense. Dicho comportamiento se da por el problema estructural que representa la necesidad de captar recursos por parte del Banco Central de Costa Rica (para mantener el monto adecuado de reservas monetarias) y del Gobierno Central (para cubrir el déficit fiscal). Esto influye directamente sobre el desarrollo del mercado de capitales nacional, debido a la amplia participación e intervención del sector público en la economía respecto del sector privado.

Un déficit alto representa un obstáculo para alcanzar una política monetaria efectiva, por las presiones que provoca sobre la tasa de interés interna. Las necesidades de financiamiento del sector público podrían establecer un piso a la tasa de interés, lo cual reduciría el margen de acción del BCCR en su objetivo de estabilizar precios.

Así también, la creación de mercados en plazos que hoy no existen, o bien están imberbes, son elementos que permitirían diluir presiones sobre los precios de los pasivos financieros soberanos en plazos cortos de la curva, para lograr, con niveles de déficit consistentemente sostenibles, no incrementar las tasas de interés locales, al menos por esta razón.

Es preciso tomar en cuenta que las tasas de interés constituyen uno de los mecanismos más importantes de transmisión de la política monetaria, mediante el cual se puede afectar al sector real de la economía. De hecho, el BCCR actúa en el mercado de dinero modificando la liquidez en el sistema financiero y sus acciones tienen efecto sobre las tasas de interés de corto plazo, mediante captaciones en instrumentos con vencimientos menores a treinta días.

Por otro lado, las expectativas de los agentes económicos igualmente juegan un papel fundamental en el logro de los objetivos de la política monetaria, ya que pueden perjudicar o favorecer el propósito de estabilizar los precios. En este sentido, el grado de credibilidad sobre la política monetaria se constituye, en última instancia, en el elemento determinante de las expectativas de los agentes sobre la evolución de los precios y de la actividad económica. La

consistencia en el tiempo y la transparencia –información precisa y clara– de la política monetaria y financiera fortalecen dicha credibilidad.

Una política monetaria efectiva requiere de una política fiscal consistente, pues la sola existencia de un desequilibrio fiscal repercutirá en las tasas de interés y en la formación de expectativas de los agentes económicos y, por lo tanto, las previsiones de inflación de éstos no confluirán hacia el objetivo de la política monetaria.

Con este marco de análisis, es importante contar, para lograr una adecuada gestión de deuda y el desarrollo del mercado de capitales, con una política monetaria y fiscal coherente y consistente, donde las decisiones de corto plazo se enmarquen dentro de una estrategia de más largo plazo, que sea sostenible y creíble.

En este punto, es importante retomar algunos enunciados del Banco Mundial y del Fondo Monetario Internacional (2001), contenidos en las *Directrices para la Gestión de la Deuda Pública*: “los encargados de la gestión de la deuda, los asesores de política fiscal y las autoridades del Banco Central, deben comprender los objetivos de la política de gestión de la deuda y de la política fiscal y monetaria, dada la interdependencia entre los diferentes instrumentos que las mismas utilizan (...)”. Asimismo, señalan: “en los países cuyos mercados financieros están adecuadamente desarrollados, los programas de endeudamiento se basan en las proyecciones económicas y fiscales del presupuesto público y la política monetaria se realiza con independencia de la gestión de la deuda pública”. Además, indican: “Las autoridades encargadas de la gestión de la deuda, de la política fiscal y de la política monetaria, deben intercambiar información sobre las necesidades de liquidez, actuales y futuras, del sector público...”. Por último, citan: “A su vez, una mayor eficiencia de los mercados de deuda puede reforzar el sistema de transmisión y ejecución de la política monetaria, e inclusive hacer posible el logro de los objetivos financieros o de inflación y la utilización de instrumentos monetarios basados en el mercado. A través de un adecuado funcionamiento de los mercados internos de deuda se reduce o disipa la necesidad de un financiamiento monetario directo del déficit, que puede ser perjudicial. Por último, pero no menos importante, es previsible que una acertada política de gestión de la deuda determine la reducción de los costos de obtención de financiamiento a largo plazo y, por lo tanto, atenúe el impacto presupuestario del financiamiento mediante déficit y promueva la sostenibilidad de una correcta administración de la deuda pública”.

En lo que respecta a la microestructura del documento y particularmente a la estimación, se presenta en el Cuadro 5 la sumatoria minimizada de la diferencia de los errores elevados al cuadrado, como indicador de ajuste y de estimación para los modelos estudiados, así como el coeficiente de determinación (r^2), a sabiendas de las limitaciones que presenta este estadístico.³⁰

30. Es una medida de bondad de ajuste que calcula la proporción o el porcentaje de la variación total en la variable independiente explicada por el modelo de regresión. Es una cantidad no negativa, sus límites son $0 < r < 1$. Al ser el coeficiente de determinación también una “medida de asociación lineal o dependencia lineal únicamente”, no tiene sentido, por consiguiente, “utilizarlo para describir relaciones no lineales” (Gujarati, 1987). Además, no necesariamente implica una relación causa-efecto por lo que agregar más variables explicativas que no tengan fundamento económico-financiero llevarán a coeficientes de determinación más elevados.

CUADRO 5
INDICADORES DE MEJOR AJUSTE PARA LOS MODELOS PARAMÉTRICOS ESTUDIADOS

ESTADÍSTICOS / MODELOS	Estimaciones logradas para el 2 de abril del 2004		
	NELSON-SIEGEL	HAUGEN	LOGARÍTMICO
$\min \left(\sum_{i=1}^m u_i^2 \right)$	0,00812%	0,0101%	0,00620%
r^2	97,749%	97,188%	98,310%
ESTADÍSTICOS / MODELOS	Estimaciones logradas para el 18 de junio del 2004		
	NELSON-SIEGEL	HAUGEN	LOGARÍTMICO
$\min \left(\sum_{i=1}^m u_i^2 \right)$	0,00761%	0,00769%	0,0304%
r^2	97,795%	97,770%	91,193%

Fuente: Elaboración propia.

Observando los resultados y siendo que, dentro de los modelos paramétricos, el analista debería tomar aquel que tenga el menor $\min \left(\sum_{i=1}^m u_i^2 \right)$; se optaría por aquel método que considera las observaciones tomadas directamente del secundario sin estimación del vector. En este caso, la estimación del 18 de junio del modelo de Nelson y Siegel (1987) con un valor de 0,00761 por ciento es el que presenta el valor más bajo; pero ¿será este número más o menos significativo que los otros?, ¿será que independientemente de la selección, los tres son igualmente buenos para lograr estimar rendimientos en función de los vencimientos? Actualmente estas preguntas están siendo objeto de estudios en la Unidad de Análisis y Política del Tesoro, que permitan brindar mejor sustentación analítica en la implantación de estas herramientas.³¹

Con el fin de tomar una decisión, sobre una base técnica, acerca de cuál modelo se adapta mejor a las características económicas y financieras, es necesario contar con más elementos, además de la minimización de las diferencias y el coeficiente de determinación, los cuales son útiles como comparación puntual del modelaje pero no aportan en la consistencia y comportamiento histórico del ajuste de la curva de rendimientos. Por lo anterior, es importante continuar el cálculo de los parámetros para un periodo más regular y permanente, con el fin de poder realizar un análisis de la consistencia o volatilidad de los parámetros que describen el modelo de ajuste de la estructura temporal de tasas.

Ahora bien, la abundante literatura sugiere, entre los métodos paramétricos, el de Nelson-Siegel (1987) ajustado por el de Svensson (1994, 1995). Ello no significa que la literatura financiera sea buena consejera para el caso costarricense, por lo cual la intuición, suspicacia y buen criterio del analista son los elementos donde la decisión toma connotaciones casi artísticas.

31. Por la cantidad minúscula, desde la óptica econométrica, de datos –no más de 10– las pruebas de hipótesis que permitan rechazar la hipótesis nula que los coeficientes son iguales a cero, y con ello su no significancia, carece de sustento econométrico. En ese norte William Green, en *Análisis Econométrico* (capítulo 10.5), lleva a cabo un contraste de hipótesis y restricciones paramétricas que ayudan al investigador a probar ciertos *tests* con estas consideraciones muestrales.

A pesar de lo anterior, y mediante la arquitectura matemática propuesta por Svensson (1994,1995), se logra un valor del $\min(\sum_{i=1}^m u_i^2)$ de 0,0069 por ciento, siendo la menor de las estimaciones hechas y superando la de Nelson y Siegel (1987) en 0,001 por ciento.

Es importante hacer notar que el mercado costarricense –como ocurre en casi toda Centroamérica– es pobre en el número de observaciones, por ello el mejor ajuste brindado por los modelos en estudio, que permita soslayar un poco este elemento, no lo brindan los modelos paramétricos,³² sino los polinomiales, por lo menos para cuando existen puntos con los cuales se puedan unir las ecuaciones y éstas no presenten grandes “jibas”. Partiendo de este elemento, se sugiere no seguir, para la construcción de las curvas de rendimiento, el vector como mecanismo de información de precios de los pasivos financieros, pues los filtros³³ e inconsistencias técnicas³⁴ que presenta pueden llevar a sesgos de estimación, por lo cual la lectura directa del mercado secundario –y con un rezago de no más de $t-1$ para las aplicaciones que se han explicado– no es suficiente, aunque sí satisfactoria, para la toma de decisiones.

Sumado a lo anterior, la modelación de la curva elaborada por la BNV carece de elementos como la convexidad propia de estas figuras, la cual es suplantada por una unión lineal entre observaciones filtradas realizadas y no realizadas –ya que se consideran puntos calculados por los mismos algoritmos que elaboran dicha curva–, lo que delimita la capacidad de predicción en muchos de los plazos de la curva de rendimiento.

Esto ocasiona sesgos para operaciones como canjes, valoraciones de instrumentos de renta fija y definición de tasas de asignación de subastas o valores por emitir en el mercado primario, lo cual hace pensar que el mercado local tiene sesgos para “crear” lo que muestra el vector de precios, al menos en los precios calculados.

Por lo anterior, es necesaria la profundización de este tipo de técnicas económico-financieras.

El que se tenga al menos un *set* de puntos para la construcción de la curva *spline*, pese a que no se transen títulos, brindaría estimaciones más acordes con las características intrínsecas del mercado local, siempre y cuando se haga un ajuste tipo *roughness penalty*. En el caso de lograr estimaciones donde no existan observaciones, la recomendación es la formulación de los modelos paramétricos, y dentro de ellos, el que presente el mínimo $\min(\sum_{i=1}^m u_i^2)$, estadísticamente significativo.

32. Esto ocurre por la misma construcción de los modelos, que buscan la mejor estimación según ciertos puntos de observaciones.

33. No todas las negociaciones que se originan en el mercado secundario son incorporadas al “vector de precios”, que permite hacer el *mark to market* de las carteras, ya que las transacciones con montos muy pequeños o muy grandes son excluidas. Esto quita observaciones a la muestra, lo que en un mercado muy pobre puede ser contraproducente para la estimación de la curva de rendimientos.

34. Un ejemplo de ellas es la incorporación de instrumentos de tasas flexibles en la curva de rendimientos. Se sugiere proponer filtros no por montos sino por desviaciones estándar de las tasas teóricas calculadas, como es desarrollado por oficiales de deuda del gobierno colombiano. Para el caso costarricense –a sabiendas de los posibles intentos de colusión en las negociaciones por parte de los comisionistas–, se sugiere un esquema donde independientemente del monto, por la naturaleza paupérrima del mercado (aunque esto tampoco evitaría la confabulación y sin el afán de sacrificar observaciones), se tome, con frecuencia diaria, un promedio móvil del rendimiento del pasivo que forma parte de la curva de rendimientos soberana y un rezago de cuatro meses que incluya observaciones como las que se presentan en la fecha focal y dando un componente dinámico al estadístico, filtrando mediante “x” desviaciones estándar las observaciones de la sesión diaria con base en este promedio móvil estimado.

De acuerdo con los elementos citados y el desarrollo de la curva de rendimientos, es importante que los “front offices” del Ministerio de Hacienda y del Banco Central observen el mercado secundario directamente,³⁵ realizando la suma-producto de los precios con los montos efectivamente transados en la sesión de bolsa inmediatamente anterior, únicamente de los instrumentos cero cupón y tasa fija de ambos emisores, para la construcción de la curva de rendimientos, esto mediante el modelo paramétrico suministrado por Svensson (1994, 1995) como *second best*, pues lo técnicamente óptimo sería el uso de los *cubic spline*; sin embargo, hasta no contar con el ajuste por *roughness penalty* podría existir sesgos en las estimaciones, lo cual le resta poder predictivo.

En cuanto a las consideraciones de volumen entre el mercado secundario como indicador de precios del mercado primario, flaco favor se hacen a sí mismos los emisores al no respetar los precios, *ceteris paribus*. Buscar engranajes entre ambos mercados, como los creadores de mercado –o bien tomar el precio que se da en el mercado y sólo analizar ambas secciones como equidistantes–, únicamente logra confundir a los operadores y entorpecer el desarrollo de un mercado de valores ya de por sí poco profundo para no auxiliarlo de ese letargo. Lo anterior genera oportunidades de arbitraje en contra de los emisores y en favor de los operadores, destruyendo espacios para la completitud de mercados y beneficiando a los participantes del mercado de valores.

Se recomienda analizar con detenimiento el método de los *cubic-spline* para los espacios temporales donde existen las observaciones del secundario para realizar el proceso siempre y cuando se brinden los ajustes necesarios para penalizar “jorobas” que ocasionen sesgos en el espectro de maduraciones. Hasta no contar con dicha técnica se propone la estimación paramétrica de Nelson y Siegel (1987) con el complemento paramétrico de Svensson (1994, 1995) para la estimación de la curva de rendimientos soberana en moneda local y que mediante otros instrumentos soberanos se pueda inferir una estimación para instrumentos en moneda extranjera.

Se presenta, en el Cuadro 6, los rendimientos nominales mediante los modelos estudiados para plazos estandarizados. Se notan pocas diferencias porcentuales para el criterio inexacto pues el volumen involucrado entre y para cada uno de los emisores, así como las diferencias en puntos base de las estimaciones, resultan fundamentales.

CUADRO 6
TASAS NOMINALES PARA LAS ESTIMACIONES LOGRADAS MEDIANTE MODELOS PARAMÉTRICOS
Y POLINOMIALES AL 18 DE JUNIO DEL 2004 PARA PLAZOS ESTANDARIZADOS
Porcentajes

PLAZO/MODELO	LOGARÍTMICA	NELSON Y SIEGEL	SVENSSON	HAUGEN	CUBIC SPLINE
6 meses	14,47	14,08	14,05	14,07	14,05
9 meses	15,26	15,20	15,13	15,19	15,20
1 año	15,82	16,04	15,99	16,03	15,82
3 años	17,96	18,33	18,36	18,37	17,09
5 años	18,96	18,63	18,17	18,62	19,40
7 años	19,61	18,70	18,76	18,65	18,88

Fuente: Elaboración propia.

35. Hasta que el vector no satisfaga a plenitud las consideraciones teórico-financieras de este tipo de estructuras.

Referencias

- Alpizar, Gabriel. (2003). "Propuesta para la Modelación de la Yield Curve Soberana en Moneda Local". Mimeo. San José: Ministerio de Hacienda de Costa Rica.
- Banco Mundial y Fondo Monetario Internacional. (2001). *Directrices para la gestión de la deuda pública*. Washington: Banco Mundial y Fondo Monetario Internacional.
- Barquero, Sergio; Javier Gerli e Ileana Murillo. (2002). "Curva Plazo Rendimiento en Costa Rica". San José.
- BNV. (2003). "Metodología de cálculo del Vector de Precios". San José: Bolsa Nacional de Valores.
- Choudhry, Moorad. (2001). *The bond & money markets strategy, trading, analysis*. Boston: Editorial Plant a Tree.
- Cordero, Xiomara e Ignacio Morales. (2004) "Propuesta para la construcción de una curva soberana cero cupón para títulos en moneda nacional". San José: Banco Central de Costa Rica.
- BCCR. (1999). "Mecanismos de transmisión de la política monetaria: marco conceptual". San José: División Económica del Banco central de Costa Rica.
- Fernández, Viviana. (1999). "Tópicos de valorización de instrumentos de renta fija". Instituto de Economía. Santiago de Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Greene, William. (1998). *Análisis econométrico*. Tercera Edición. Editorial Prentice Hall.
- Gujarati, Damodar. (1987). *Econometría*. Segunda Edición. México: Editorial McGraw -Hill.
- Haugen, Robert. (2001). *Modern investment theory*. Quinta edición. Nueva York: Editorial Prentice
- INCAE. (1995) "Estructura de los tipos de interés". Abril, 1995.
- Julio, Juan Manuel; Juliana Mera Silvia y Alejandro Héroult Revéz. (2002). *La curva spot (cero cupón). Estimación con splines cúbicos suavizados, usos y ejemplos*. Santa Fe de Bogotá: Subgerencia Monetaria y de Reservas Banco de la República de Colombia.
- Kolb, Robert. (1993) *Inversiones*. México: Editorial Limusa S.A. de C.V.
- Lefort, Fernando y Eduardo Walter. (2000). *Caracterización de la estructura de tasas de interés reales en Chile*. Santiago de Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Madura, Jeff. *Mercados e instituciones financieros*. México: International Thomson Editors S.A.
- Matarrita, Rodrigo. (2003). "Marco teórico para una metodología de cálculo de vector de Precios para la Bolsa Nacional de Valores". San José: Bolsa Nacional de Valores.
- Orr, Mark J. L. (1997). *Extrapolating Uncertain Bond Yield Predictions*. Edinburgh: Centre for Cognitive Science, Edinburgh University.
- Svensson, Lars. (1994). *Estimating and interpreting forward interest rate: Sweden 1992-1994*. Working Paper 4871. Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research.

