



NOTAS DE INVESTIGACIÓN

Esta sección tiene por objetivo divulgar artículos breves escritos por economistas del Banco Central de Chile sobre temas relevantes para la conducción de las políticas económicas en general y monetarias en particular. Las notas de investigación, de manera frecuente, aunque no exclusiva, responden a solicitudes de las autoridades del Banco.

ESTIMACIÓN DE LA ESTRUCTURA DE TASAS DE INTERÉS EN CHILE*

Samuel Carrasco**

Luis Ceballos**

Jessica Mena**

I. INTRODUCCIÓN

La estructura de tasas de interés permite recoger en tiempo real expectativas de agentes del mercado respecto de variables claves para la economía: movimientos futuros de la tasa de política monetaria y expectativas de inflación al horizonte de política monetaria, entre otras. El objetivo de este trabajo es evaluar la información proveniente de la estructura de tasas enfocándonos en la capacidad de predicción de la tasa de política monetaria (TPM) y de actividad a un horizonte de hasta dos años, así como evaluar la estabilidad de los parámetros del modelo sobre la base de diferentes especificaciones utilizando información de tasas de interés del mercado de bonos y de instrumentos derivados *swap* promedio cámara (SPC).

En esta nota se evalúa el modelo de Nelson y Siegel (1987) (en adelante, NS) en términos de la capacidad predictiva de la TPM y actividad sobre la base de datos del mercado de SPC y de bonos de gobierno. En particular, se ensayan especificaciones alternativas del modelo de NS estimado no lineal, así como una versión lineal del modelo. Con esto, se intenta evaluar la especificación del modelo que tenga mayor estabilidad en los parámetros estimados, los cuales tienen una interpretación económica importante asociada a la tasa corta, larga y pendiente de la estructura de tasas de interés.

* Se agradece los comentarios y sugerencias de Miguel Fuentes, Wildo González y Sergio D'Acuña. Asimismo, se agradece a Sebastián Ide Astorga por otorgar acceso a datos de mercado.

** Gerencia de Análisis Macroeconómico, Banco Central de Chile. E-mail: scarrasco@bcentral.cl, lceballos@bcentral.cl, jmena@bcentral.cl

Los resultados sugieren que, de los diferentes modelos evaluados, la especificación lineal del modelo de NS contiene un menor error de ajuste a los datos observados respecto de especificaciones que se estiman en forma no lineal. Más aun, el enfoque lineal permite estimar los parámetros en forma parsimoniosa y de acuerdo con las restricciones sobre los niveles de tasa instantánea y larga a los cuales converge el modelo. Por otro lado, nuestros resultados sugieren que la información de instrumentos SPC tiene mejor capacidad predictiva tanto de movimientos futuros de la TPM como de la actividad respecto de la información a base de tasas de interés de bonos de gobierno.

El trabajo está estructurado en seis secciones. La sección II reporta la literatura internacional y local, así como el uso de otros bancos centrales referente a la metodología y activos financieros utilizados para la estimación de la estructura de tasas de interés. La sección III analiza hechos estilizados del mercado local de bonos y *swaps*. En la sección IV se describe el modelo de NS y las diferentes especificaciones a evaluar. La sección V reporta los resultados de ajuste de los modelos, así como los ejercicios de proyección de TPM y de actividad. La sección VI presenta las conclusiones.

II. REVISIÓN DE LITERATURA Y USOS DE OTROS BANCOS CENTRALES

1. Revisión de literatura internacional y local

Respecto del modelamiento de la estructura de tasas de interés, destacan los modelos bajo la premisa de no arbitraje como, por ejemplo, Dai y Singleton (2000), quienes reportan los factores no observados que explican la estructura de tasas. En tanto, la relación entre la estructura de tasas y variables macroeconómicas ha generado diversas líneas de estudio. Entre las principales cabe mencionar, a nivel internacional, Ang y Piazzesi (2003), Wu (2002) y Hördahl et al. (2006), quienes incorporan determinantes macroeconómicos en modelos de estructura de tasas de interés, que intentan estudiar la dinámica de dichos factores y variables macroeconómicas. Diebold y Li (2006) presentan una variante del modelo de NS que es capaz de capturar la dinámica conjunta de los factores de la estructura de tasas con algunas variables macroeconómicas. Otra línea de investigación es la referente a cómo se ven afectadas las tasas de interés ante ciertos anuncios o difusión de datos macroeconómicos. Esto último es reportado por Gürkaynak et al. (2005), quienes reportan los efectos en las tasas *forward* a largo plazo ante sorpresas de variables macroeconómicas como de política monetaria.

La evidencia empírica para Chile sobre los efectos de sorpresas macroeconómicas y de política monetaria en la estructura de tasas ha sido examinada por Meyer (2006), quien reporta la respuesta de tasas de bonos a la publicación de datos económicos, y Larraín (2007), quien reporta los efectos de sorpresas de tasa de política en tasas de bonos a diferentes plazos. Más reciente es lo reportado por Morales (2010), quien estima el modelo dinámico propuesto por Diebold y Li (2006) para tasas reales en Chile y estudian la dinámica de los factores y algunas variables macroeconómicas. Asimismo, Alfaro et al. (2011) estiman una versión discreta del modelo dinámico de NS, reportando la relación de

los factores de la curva y algunas variables macroeconómicas. Finalmente, Ceballos (2014) computa los factores de la estructura de tasas para Chile a base de componentes principales y modelo de NS concluyendo que el efecto de sorpresas en los factores de la estructura de tasas es similar. En tanto, De Pooter et al. (2014) estudian el impacto de sorpresas de datos económicos en algunas economías latinoamericanas (incluyendo Chile), tanto en tasas nominales como en compensación inflacionaria a un año y a plazos más largos.

Así, la revisión de literatura internacional y local da cuenta de un uso primordialmente de tasas de interés a base de bonos de gobierno. No obstante, sobre la base de información parcial¹ de las principales mesas de dinero a nivel local, se reporta que las tasas de SPC son las más utilizadas para estimar movimientos futuros de la tasa de política monetaria (curva *forward*).

2. Experiencia de otros bancos centrales

A nivel internacional, diversos bancos centrales reportan con frecuencia al BIS tasas *spot* con distintos vencimientos, o bien parámetros estimados de los cuales es posible determinar tasas *spot* y *forward*. Junto con esto, las entidades reportan sus distintos modelos de estimación de la curva cero cupón, como lo informado en BIS (2005). En términos generales, la evidencia internacional sobre la estimación de la estructura de tasas indica que los modelos paramétricos son los más utilizados (cuadro 1).

La base de estos modelos paramétricos está dada por la especificación de una misma función que está definida para todos los plazos o períodos de madurez. Si bien cada modelo utiliza diferentes formas de esta función, todos ellos comparten una aproximación general fundada en la minimización de las desviaciones al cuadrado de precios teóricos con respecto a precios observados de bonos transados en los mercados locales. Los modelos más utilizados corresponden al de Nelson y Siegel (1987), a la extensión propuesta por Svensson (1994) y a métodos no paramétricos del tipo *splines*.

Cuadro 1

Revisión de modelos utilizados por bancos centrales

Modelo	País
Nelson Siegel	Bélgica, Finlandia, Francia, Italia, España
Svensson	Bélgica, Francia, Alemania, Noruega, España, Suecia, Suiza
Cubic Spline	Inglaterra
Exponential Spline	Canadá
Smoother Splines	Japón, Suecia, Estados Unidos

Fuente: BIS (2005).

1 Dicha información se recopiló a través de consultas a principales mesas de dinero de bancos de la plaza.

Por otro lado, los activos financieros utilizados para la estimación de la estructura de tasas dependen del plazo. Así por ejemplo, para vencimientos menores a un año, los instrumentos financieros utilizados corresponden principalmente a tasas del mercado monetario (*Treasury bills*), mientras que para vencimientos superiores a un año, los instrumentos más utilizados corresponden a tasas de bonos de gobierno en moneda local (cuadro 2). Dada la relevancia en la oportunidad de la información referente a la estructura de tasas, se observa que gran parte de los bancos centrales de países desarrollados publican diariamente su estimación de la estructura de tasas (cuadro 3). Las metodologías aplicadas con mayor frecuencia corresponden a la de Svensson y *splines* (en sus distintas versiones). A la vez, se evidencia que la práctica más común utilizada por los bancos centrales es publicar diariamente una tasa de composición continua², siendo la estimación de la estructura de tasas *spot* y *forward* las más comunes.

A nivel local no existe una estimación pública de la estructura de tasas de interés. No obstante, en publicaciones oficiales del Banco Central de Chile como la minuta y la presentación de antecedentes de la Reunión de Política Monetaria (RPM) y el *Informe de Política Monetaria* se reporta la curva *forward*, la cual se basa en una estimación de la estructura de tasas de interés, en conjunto con otras fuentes que reportan expectativas de TPM a diferentes plazos, como la Encuesta de Expectativas Económicas y la Encuesta de Operadores Financieros. En términos de los activos financieros utilizados para estimar la curva *forward* se evidencia el uso de bonos y alternativamente de instrumentos *swap* promedio cámara (SPC).

Cuadro 2

Activos financieros utilizados

Países	Instrumentos		Horizonte
	<1 año	>1 año	
Bélgica	Treasury certificates	Bonos	hasta 16 años
Canadá	Bills	Bonos	3 meses a 30 años
Finlandia			1 a 12 años
Francia	Notes	Bonos	hasta 10 años
Alemania			hasta 10 años
Italia	Money market rates	Bonos	hasta 30 años
Japón			1 a 10 años
Noruega	Money market rates	Bonos	hasta 10 años
España			hasta 10 años
Suecia			hasta 10 años
Suiza	Money market rates	Bonos	1 a 30 años
Inglaterra	Repo yield	Bonos	hasta 30 años
Estados Unidos	Treasury bills	Bonos	1 a 10 años

Fuente: BIS (2005).

² Los bancos centrales que utilizan modelos en tiempo continuo transforman las tasas de mercado a dicha frecuencia, y reportan la estimación de la estructura de tasas de interés de la misma forma. Transformaciones adicionales a dichas tasas acordes con la convención y composición de los diferentes instrumentos de cada mercado no son publicadas por los bancos centrales.



Cuadro 3

Estimación de estructura de tasas publicada por bancos centrales

Banco Central	Metodología	Tipo	Composición
<i>Federal Reserve</i>	<i>Svensson</i>	Curva cero cupón	continua
		Curva <i>forward</i>	continua
<i>U.S. Treasury</i>	<i>Quasi-cubic spline</i>	Curva cero nominal y real	simple
		Bonos de gobierno	continua
Reino Unido	<i>Splines</i>	<i>Libor</i>	continua
		<i>Swaps</i>	continua
Europeo	<i>Svensson</i>	AAA- <i>government bonds</i>	continua
Canadá	<i>Splines</i>	Bonos cero cupón	continua

Fuente: Sitio web de cada banco central.

III. ANÁLISIS DEL MERCADO LOCAL

Los mercados de renta fija presentan particularidades propias de cada país, asociadas a liquidez, volatilidad y agentes participantes, entre otras. Para estimar de manera óptima la estructura de tasas de interés, es necesario caracterizar el mercado local y sus determinantes.

Dado lo anterior, en esta sección se presentan hechos estilizados del mercado local de bonos y de *swaps* relacionados a montos transados y participantes de dichos mercados. Finalmente, se reporta un resumen descriptivo de las tasas de interés de cada mercado.

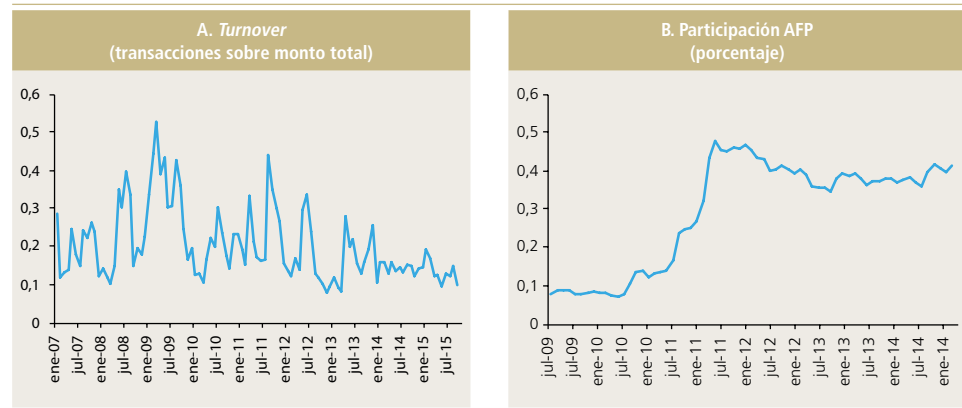
El mercado de deuda soberana nominal de Chile es referido a las emisiones de deuda realizadas por el Banco Central de Chile y el Fisco mediante instrumentos denominados BCP y BTP, respectivamente. De acuerdo con D'Acuña et al. (2009), en el mercado de deuda soberana de Chile se observa un alto grado de segmentación con una importante presencia de inversionistas institucionales como los fondos de pensiones. En tanto, Alarcón y Sotz (2007), evidencian el crecimiento de los montos transados en el mercado de *swaps* de tasas de interés (SPC), el que aumentó más de un 500% entre 2005 y 2007. Así, en el mercado local de bonos soberanos se ha observado un bajo *turnover* (esto es, el ratio de montos transados con respecto a bonos en circulación), en conjunto con una alta participación de institucionales, en especial de AFP. En el gráfico 1 se aprecia que el *turnover* mensual se ubica por debajo del 20% respecto del total de emisiones (panel A), mientras que la participación de los fondos de pensiones alcanza a 40% del total de instrumentos emitidos (panel B).

Por otro lado, de acuerdo con información parcial de los principales corredores del mercado local, se observa que en el mercado de instrumentos *swaps* en Chile existe una alta participación de inversionistas no residentes (gráfico 2). Considerando la diferencia de ambos mercados, donde en el mercado de bonos existe una alta participación de institucionales, mientras que en el de SPC se registra

una alta participación de no residentes. Se observa que en este último mercado existe una volatilidad algo mayor (alrededor de 8% más alta) respecto del de tasas de bonos de gobierno (cuadro 4). No obstante, en ambos mercados se aprecian similares niveles de tasas de interés.

Gráfico 1

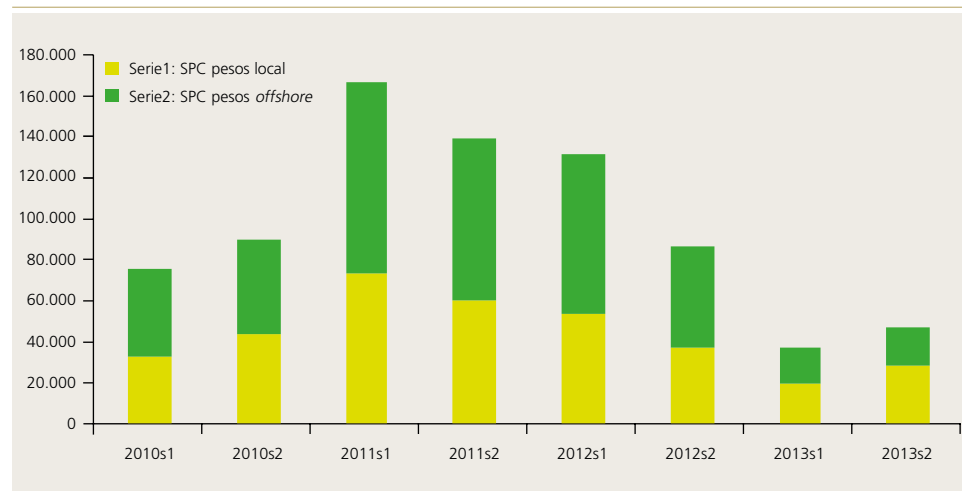
Características del mercado local de bonos



Fuente: Banco Central de Chile.

Gráfico 2

Montos transados SPC (datos semestrales, en millones de dólares)



Fuente: Elaboración de los autores sobre la base de transacciones de los principales *brokers*.

**Cuadro 4****Estadística descriptiva tasas de interés**
(porcentaje)

Panel A: Bonos	3m	6m	12m	2a	5a	10a
Promedio	4,11	4,34	4,61	4,98	5,51	5,82
Desviación estándar	1,64	1,55	1,47	1,24	0,86	0,73
Max.	8,35	8,47	8,73	8,79	8,55	8,21
Min.	0,30	0,50	0,78	1,67	3,66	4,28
Panel B: Swaps	3m	6m	12m	2a	5a	10a
Promedio	4,22	4,29	4,64	4,82	5,45	5,88
Desviación estándar	1,77	1,72	1,50	1,31	0,95	0,81
Max.	8,62	8,78	8,85	8,65	8,27	8,23
Min.	0,44	0,54	0,42	1,93	3,09	3,89

Fuente: Elaboración de los autores a base de tasas de bonos y SPC de mercado. Muestra utilizada: enero del 2005 a agosto del 2015.

Las particularidades de cada mercado ya descrito previamente, referente a la liquidez y tipo de participantes de mercado (institucionales vs no residentes) podrían afectar las tasas de mercado respecto a la forma de incorporar nueva información de mercado en el precio de dichos activos. De acuerdo con Andritzky (2012), la participación de determinados tipos de inversionistas podría afectar la liquidez del mercado de deuda, y por ende, la rapidez con la que los precios de dichos activos incorporan nueva información de mercado. Asimismo, Mehrotra et al. (2012) señalan que la mayor participación de inversionistas no residentes en el mercado local de bonos de gobierno produce mayor volatilidad de tasas, y un mayor traspaso de episodios de volatilidad financiera externa. Por el contrario, mercados con alta participación de institucionales como fondos de pensiones y compañías de seguros, al ser inversionistas *buy-and-hold*, generan un menor volumen de transacciones.

IV. ESTIMACION DE LA ESTRUCTURA DE TASAS**1. Descripción del modelo de Nelson y Siegel**

De acuerdo con el BIS (2005), de las diferentes metodologías existentes para la calibración de la estructura de tasas de interés, el modelo propuesto por Nelson y Siegel es el método más utilizado por diferentes bancos centrales debido a su fácil estimación y buen ajuste a los datos observados. El modelo de Nelson y Siegel es un modelo de ajuste en tiempo continuo que se caracteriza por ser parsimonioso y flexible a la hora de modelar curvas de tasas de interés. La estructura paramétrica asociada a este modelo permite analizar el comportamiento a corto y largo plazo de las tasas de interés y estimar la curva

de tasas *forward*. La expresión paramétrica que describe las tasas *forward* al horizonte τ observada en t presenta la siguiente forma funcional:

$$r_t(\tau) = \beta_{0,t} + \beta_{1,t}e^{-\lambda_t\tau} + \beta_{2,t}\lambda_t\tau e^{-\lambda_t\tau} \quad (1)$$

donde $\beta_{0,t}$, $\beta_{1,t}$, $\beta_{2,t}$ y λ_t son los parámetros a ser estimados. A partir de (1), se tiene que las tasas *spot* pueden ser obtenidas a través de tasas *forward* mediante la expresión:

$$R(\tau) = \int_0^{\tau} r(x) dx$$

Aplicando este cálculo a la ecuación (1) y resolviendo la integral correspondiente por partes, se obtiene la ecuación que determina las tasas *spot* R con madurez τ , dada por:

$$R_t(\tau) = \beta_{0,t} + \beta_{1,t} \left[(1 - e^{-\lambda_t\tau}) / \lambda_t \right] + \beta_{2,t} \left[(1 - e^{-\lambda_t\tau}) / \lambda_t \tau - e^{-\lambda_t\tau} \right] \quad (2)$$

donde $R(\tau)$ corresponde a las tasas de interés *spot* al plazo τ observadas en t . La ecuación (2) se estima diariamente a base de tasas de mercado, obteniéndose los parámetros $\beta_{0,t}$, $\beta_{1,t}$, $\beta_{2,t}$ y λ_t , de manera de minimizar la distancia entre las tasas observadas y las tasas obtenidas del modelo. Con esto, se busca minimizar el error de ajuste del modelo dentro de muestra.

La estimación del modelo de Nelson y Siegel es no lineal y de corte transversal. En el primer caso, el parámetro λ impone la no-linealidad del modelo. En el segundo caso, el modelo (en su especificación original), ignora la dinámica de serie de tiempo de las tasas de interés, limitándose a una calibración de tasas en corte transversal. Además, el modelo tiene importantes restricciones respecto de los niveles de tasas a los cuales converge:

- Al plazo instantáneo ($\tau \rightarrow 0$), la tasa estimada converge a $\beta_0 + \beta_1$ (la cual se asocia a la tasa de política monetaria).
- A plazos largos ($\tau \rightarrow \infty$), la tasa estimada converge a β_0 (la cual denota la tasa de largo plazo de la economía).
- De lo anterior, se obtiene que la pendiente de la estructura de tasas está asociada al parámetro $-\beta_1$.

2. Datos y modelos a evaluar

La información necesaria para estimar las curvas de tasas de interés procede tanto de tasas de títulos de deuda pública como de instrumentos *swaps*, los cuales se informan de la siguiente forma (cuadro 5):

Cuadro 5
Tasas de interés de mercado (*)

Plazo	Bonos	Convención	Swaps	Convención
3 meses	PDBC	Simple Actual/360	SPC	Simple Actual/360
6 meses	PDBC	Simple Actual/360	SPC	Simple Actual/360
12 meses	PDBC	Simple Actual/360	SPC	Simple Actual/360
2 años	Bonos BCP	Simple Actual/365	SPC	Compuesta Actual/365
5 años	Bonos BCP	Simple Actual/365	SPC	Compuesta Actual/365
10 años	Bonos BCP	Simple Actual/365	SPC	Compuesta Actual/365

Fuente: Banco Central de Chile.

(*) Para tasas de PDBC se utiliza la información de Riskamerica.

Como ya se ha mencionado, el modelo de Nelson y Siegel es lo suficientemente flexible como para representar diferentes especificaciones del mismo. En este contexto, se evalúan cuatro especificaciones de este modelo, utilizando datos de bonos de gobierno (PDBC y BCP) así como de instrumentos *swaps*. En particular, se estiman cuatro especificaciones del modelo, con el fin de identificar al que presente un mejor ajuste a los datos observados y una estimación más parsimoniosa de los parámetros del modelo. Los modelos a estimar son:

- **No restringido:** se estiman diariamente parámetros del modelo Nelson y Siegel denotado en (2). Es importante notar que en dicha especificación, el ajuste a las tasas a diferentes plazos contiene el mismo ponderador implícito en el modelo. Con esto, los parámetros son estimados al minimizar la raíz del error cuadrático medio (RECM) entre las tasas observadas de mercado (denotadas por y) y las tasas del modelo NS (denotadas por R):

$$RECM = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - R_i)^2} \quad (3)$$

Con este método, diariamente se estima (3) desde enero del 2005 hasta agosto del 2015, ajustando las tasas de mercado desde tres meses a diez años detalladas en el cuadro 5, es decir, diariamente se estima el modelo NS ajustándose a seis tasas de mercado. Así, se obtiene una serie diaria de la estimación de los parámetros del modelo de NS los cuales son $\beta_{0,t}$, $\beta_{1,t}$, $\beta_{2,t}$ y λ_t .

- **Ponderado:** esta especificación corresponde a una estimación no lineal del modelo de NS al igual que el caso anterior, diferenciándose en que esta especificación pondera un mejor ajuste a tasas más cortas teniendo presente que:

$$RECM = \sqrt{\frac{1}{n} \left[\sum_{i=1}^n (y_i - R_i) \times w \right]^2} \quad (4)$$

donde $w = [1; 0.9; 0.8; 0.7; 0.6; 0.5]$ corresponde al vector que pondera las tasas de interés estimadas³ de acuerdo con el criterio de ajuste de forma más precisa en la parte más corta de la curva. Con esto, se busca un mejor ajuste en la parte corta de la estructura de tasas con el objetivo de poder inferir la curva *forward* al plazo hasta dos años de forma más precisa, ya que es el horizonte relevante de política monetaria.

• **Modelo restringido:** se estima (3) agregándose la restricción $\beta_0 + \beta_1 = TPM$ a la especificación (2), de la siguiente forma:

$$R(\tau) = \beta_0 + (\beta_0 - TPM) \left[(1 - e^{-\lambda\tau}) / \lambda\tau \right] + \beta_2 \left[(1 - e^{-\lambda\tau}) / \lambda\tau - e^{-\lambda\tau} \right] \quad (5)$$

Tanto en el modelo restringido como en los anteriores, se estima mediante métodos numéricos⁴ para la estimación de los parámetros $\beta_{0,t}$, $\beta_{1,t}$, $\beta_{2,t}$ y λ_t .

• **Modelo lineal:** en esta especificación se fija el valor del parámetro λ (que minimiza el RECM) y se estima el modelo (2) mediante mínimos cuadrados. En particular, se selecciona el λ de una grilla de valores que permita minimizar el RECM del ajuste del modelo de NS a las tasas de mercado observadas⁵.

Para evaluar la capacidad de proyección de la tasa de política monetaria (TPM) en base a la curva *forward* estimada con bonos y *swaps*, se estima la curva *forward* en base a los parámetros del modelo (2). Con esto, se estiman las expectativas de la TPM a un horizonte de 6, 12, 18 y 24 meses adelante observados tres días antes de cada Reunión de Política Monetaria⁶. Se intenta analizar cuál de los modelos evaluados y qué tipo de tasa de mercado entrega una mejor evaluación de expectativas de cambios futuros de política monetaria.

En tanto, para evaluar la capacidad de proyección de actividad a base de información de la estructura de tasas nos apoyamos en modelos como los reportados por Estrella y Hardouvelis (1991), Hamilton y Kim (2000), Chinn y Kucko (2015), entre otros. En particular, la especificación más simple para evaluar el rol de la información de la estructura de tasas de interés en la actividad corresponde a:

$$y_t^{t+h} = \alpha + \beta \times slope_t \quad (6)$$

En la especificación (6), y_t^{t+h} corresponde al crecimiento anual del Imacec $t+h$ meses adelante, y $slope_t$ corresponde a la pendiente de la estructura de tasas de interés, el cual es capturado por el parámetro β_1 . Con esto, se intenta medir el rol de dicho parámetro al proyectar la actividad hasta un horizonte de 24 meses.

³ Otras especificaciones que se analizaron eran utilizar el inverso de la duración de las tasas como vector w , aunque dicho procedimiento contiene un error de ajuste mayor que el de la especificación (4).

⁴ Utiliza la función `fminsearch` de MATLAB. Dicha función resuelve problemas de optimización no lineal sin restricciones calculando mínimos de funciones escalares de varias variables.

⁵ En nuestro caso, para “swaps” y bonos se selecciona un valor de λ entre 0,07 y 0,09, respectivamente. Estos valores se encuentran cercanos a lo reportado por otros autores para el mercado de Chile (Alfaro et al., 2011; Ceballos, 2014).

⁶ Dicho criterio se basa en el hecho de que alrededor de esta fecha se estima la curva “forward” para cada RPM.

V. RESULTADOS

1. Ajuste del modelo y parámetros

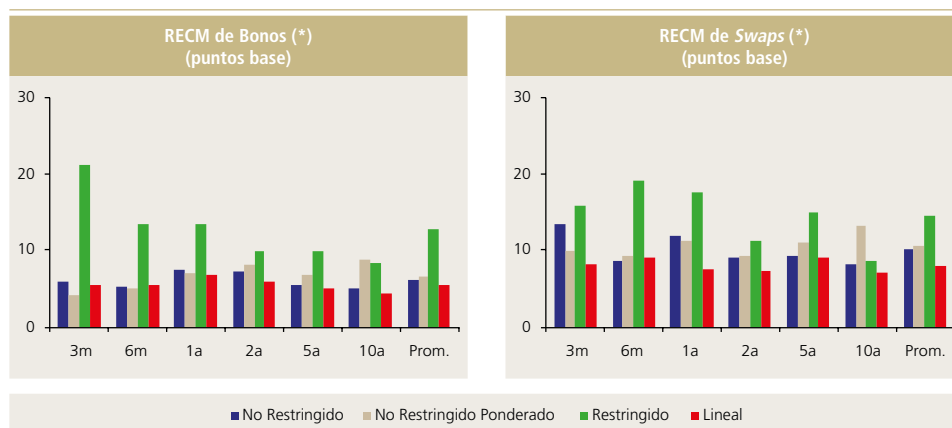
De acuerdo con las diferentes especificaciones señaladas en la sección IV.2 se evalúa cuál de estas presenta la menor raíz del error cuadrático medio (RECM) de ajuste a los datos observados. En particular, nos enfocamos en el ajuste en las tasas a cada plazo analizado, así como en el ajuste total definido como el promedio del RECM de dichos plazos.

En el gráfico 3 se reporta el RECM de los diferentes modelos evaluados, tanto en el caso de bonos como el de *swaps*. En general, la mayoría de los modelos registra una bondad de ajuste similar a los datos, a excepción del modelo restringido, el que acusa un error de ajuste mayor al resto. En tanto, se aprecia que el modelo lineal es el que registra un menor error cuadrático medio en la mayoría de los plazos⁷. Lo anterior es válido tanto en la estimación con tasas de bonos de gobierno y de instrumentos *swaps*.

Considerando el criterio de estimación parsimoniosa de los parámetros, el apéndice reporta la alta volatilidad que se genera al utilizar los métodos de estimación no lineal de los diferentes modelos definidos en bonos como *swaps* respectivamente. En especial, los parámetros asociados a la tasa larga y corta de la economía, así como el asociado a la pendiente de la estructura de tasas, no es posible estimarlas de forma estable a base de estimaciones no lineales. No obstante, mediante el modelo lineal se obtiene resultados parsimoniosos y acordes con la interpretación económica que se mencionó en la sección IV.

Gráfico 3

Error cuadrático medio de ajuste



Fuente: Elaboración de los autores.

(*) Muestra considerada enero del 2005 a agosto del 2015.

7 Dicha diferencia es estadísticamente significativa según al test de Diebold y Mariano sobre los RECM.

Cuadro 6**Estimación parámetros modelo NS (*)**

(promedio anual, porcentaje)

Año	β_0		$-\beta_1$	
	(tasa de largo plazo)		(pendiente)	
2005	5,98	6,58	2,78	3,16
2006	5,91	6,65	1,44	1,77
2007	5,75	6,15	1,17	0,82
2008	6,49	6,45	-0,21	0,63
2009	6,48	6,07	5,00	4,51
2010	6,62	6,15	5,12	4,73
2011	5,79	5,69	1,21	0,97
2012	5,26	5,33	0,56	0,37
2013	5,16	5,32	0,55	0,44
2014	5,08	5,10	1,64	1,27

Fuente: Elaboración de los autores.

(*) En ambos casos corresponde a estimación de modelo lineal.

El cuadro 6 reporta los valores promedio anuales de la tasa de largo plazo de la economía (asociados al parámetro β_0) y la pendiente de la estructura de tasas de interés (asociada al parámetro $-\beta_1$) obtenida al utilizar el modelo lineal. La información del cuadro revela que la tasa de largo plazo inferida del modelo ha sido en general mayor en el caso de instrumentos *swaps*, ubicándose en ambos casos en sus mínimos históricos.

2. Proyección de TPM y actividad

El cuadro 7 consigna la raíz del error cuadrático medio de proyección de la TPM en el modelo de Nelson y Siegel (curva *forward*) tanto al utilizar bonos de gobierno como instrumentos *swaps* en diferentes muestras. Como se mencionó, nos enfocamos en la proyección de la TPM a horizontes de 6, 12, 18 y 24 meses. En términos generales, se observa que, al comparar la capacidad predictiva de los modelos a base de bonos y SPC (por separado), el modelo lineal tiene un error de proyección levemente mayor que el resto, aunque dicha diferencia no es significativa. No obstante, al comparar los errores de proyección entre los modelos a base de bonos y SPC, se aprecia que los errores de proyección utilizando tasas *swap* son en general menores y estadísticamente significativos respecto de la proyección sobre la base de bonos.

En este contexto, en períodos donde se observan cambios relevantes en la tasa de política monetaria como, por ejemplo, entre octubre del 2008 y julio del 2009, período en el que la TPM se recortó en 775 puntos base, se observa que la proyección sobre *swaps* contiene un error de proyección menor que el de bonos (panel B). En el período de mayo del 2010 a julio del 2011 cuando la TPM se normalizó incrementándose 475 puntos base (desde su mínimo de 0,5% anual), se observa que la proyección que utiliza *swaps* nuevamente contiene un menor error de proyección, en especial a plazos superiores a un año.

Cuadro 7

RECM proyección TPM (*)

(Puntos porcentuales)

Panel A: enero 2005 - agosto 2015								
Modelo	Swaps				Bonos			
	6m	12m	18m	24m	6m	12m	18m	24m
No restringido	1,42*	2,13***	2,54***	2,68***	1,47	2,21	2,66	2,82
Ponderado	1,43	2,14***	2,54***	2,68***	1,48	2,23	2,66	2,81
Restringido	1,46	2,14***	2,54***	2,68***	1,46	2,22	2,65	2,82
Lineal	1,43*	2,12***	2,55***	2,71***	1,48	2,23	2,71	2,87
Panel B: octubre 2008 - julio 2009								
Modelo	Swaps				Bonos			
	6m	12m	18m	24m	6m	12m	18m	24m
No restringido	3,93*	4,13***	3,52**	2,05	4,19	4,52	3,90	2,31
Ponderado	3,97	4,17***	3,51***	2,08	4,19	4,53	3,91	2,32
Restringido	3,96	4,13***	3,55***	2,20	4,00	4,38	3,82	2,33
Lineal	3,95***	4,03***	3,47***	2,09	4,18	4,52	3,92	2,31
Panel C: mayo 2010 a julio 2011								
Modelo	Swaps				Bonos			
	6m	12m	18m	24m	6m	12m	18m	24m
No restringido	0,61	0,76	0,68***	0,75***	0,62	0,90	1,11	1,30
Ponderado	0,69	0,85	0,74***	0,78***	0,64	0,89	1,12	1,28
Restringido	0,60	0,77	0,72***	0,80***	0,60	0,87	1,12	1,31
Lineal	0,55	0,83	0,82***	0,92***	0,52	0,87	1,17	1,39

Fuente: Elaboración de los autores.
 (*) RECM medido en puntos porcentuales. ***, **, * denotan que RECM es estadísticamente menor que el de bonos al 1%, 5% y 10% de significancia.

En el caso de la proyección de actividad, el análisis se basó en el modelo lineal, debido a que los parámetros de dicha estimación son parsimoniosos y no registran la alta volatilidad de los otros modelos evaluados⁸. En el cuadro 8 se reporta el β asociado a la capacidad de proyección dentro de la muestra del parámetro $-\beta_1$ del modelo de Nelson y Siegel (asociado a la pendiente de la estructura de tasas). Se aprecia que el efecto de la pendiente de la estructura de tasas tiene una incidencia positiva en el crecimiento de la actividad, registrándose un mayor efecto en períodos de un año. Asimismo, se observa que dicho efecto decae a plazos mayores de doce meses.

⁸ La capacidad de predicción de otros modelos es baja e inferior a lo registrado a través del modelo lineal. Dichos resultados no se reportan.

Cuadro 8

Resultados regresión Imacec (*)

Horizonte	Bonos			Swaps		
	Constante	Beta	R ²	Constante	Beta	R ²
h=6	2,91 (0,30)	0,55 (0,11)	0,18	2,93 (0,28)	0,59 (0,10)	0,22
h=12	2,64 (0,29)	0,64 (0,10)	0,26	2,67 (0,28)	0,67 (0,10)	0,29
h=18	3,02 (0,34)	0,38 (0,11)	0,09	3,03 (0,32)	0,41 (0,11)	0,10
h=24	3,15 (0,37)	0,25 (0,12)	0,03	3,19 (0,36)	0,25 (0,12)	0,03

Fuente: Elaboración de los autores.

(*) A base del modelo de NS lineal. En paréntesis el error estándar.

VI. CONCLUSIONES

La información derivada de la estructura de tasas de interés es de primer orden tanto para bancos centrales como para agentes de mercado. Para esto, se debe contar con un modelo que sea simple en su estimación y se ajuste de buena forma a las tasas de mercado observadas. En una revisión de otros bancos centrales, se observa que los modelos paramétricos (Nelson y Siegel o extensión de Svensson) son los más utilizados. Asimismo, las tasas de bonos del mercado local son las utilizadas para la calibración de la estructura de tasas.

En este trabajo, se estimaron diferentes especificaciones del modelo de Nelson y Siegel utilizando bonos de gobierno como instrumentos *swap* promedio cámara. Nuestros resultados sugieren que la estimación del modelo de Nelson Siegel en forma lineal tiene un mejor ajuste a los datos de mercado observados, así como una estimación más parsimoniosa de sus parámetros, los cuales se asocian a la tasa corta, la tasa de largo plazo y la pendiente de la economía.

Complementariamente, en el modelo lineal, se analizó el poder predictivo de la estructura de tasas utilizando bonos y *swaps* para movimientos futuros de la TPM y de la actividad, siendo en ambos casos la información a base de *swaps* la que reporta mayor poder predictivo.

REFERENCIAS

Alarcón, F. y C. Sotz (2007). “Mercado Swap de Tasa de Interés y Expectativas de TPM e Inflación”. *Economía Chilena* 10(2): 97–102.

Alfaro, R., J. Becerra y A. Sagner (2011). “Estimación de la Estructura de Tasas Nominales de Chile: Aplicación del Modelo Dinámico Nelson-Siegel”. *Economía Chilena* 14(3): 57–74.

Andritzky, J. (2012). “Government Bonds and their Investors: What Are the Facts and Do They Matter?” IMF Working Paper 12/158.

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: 745–87.

BIS (2005). “Zero-Coupon Yield Curves: Technical Documentation”. BIS working paper N° 25.

Ceballos, L. (2014). “The Yield Curve Factors and Economic Surprises in the Chilean Bond Market”. *Revista de Análisis Económico* 29(2): 3–23.

Chinn, M. y K. Kucko (2015). “The Predictive Power of the Yield Curve across Countries and Time”. *International Finance* 18(12): 207–26.

D’Acuña, S., Godoy y N. Malandre (2009). “Descripción del Funcionamiento del Mercado Secundario de Bonos Soberanos Locales en Chile”. Estudios Económicos Estadísticos N°72, Banco Central de Chile.

Dai, Q. y K. Singleton (2000). “Specification Analysis of Affine Term Structure Models”. *Journal of Finance* 55: 1943–78.

De Pooter, M., P. Robitaille, I. Walter y M. Zdinak (2014). “Are Long-Term Inflation Expectations Well Anchored in Brazil, Chile and Mexico?” International Finance Discussion Papers N°108.

Diebold, F.X. y C. Li (2006). “Forecasting the Term Structure of Government Bond Yield”. *Journal of Econometrics* 130: 337–64.

Estrella, A. y G. Hardouvelis (1991). “The Term Structure as a Predictor of Real Economic Activity”. *Journal of Finance* 46(2): 555–76.

Gürkaynak, R.S., B. Sack y E. Swanson (2005). “The Sensitivity of Long-Term Interest Rates to Economic News: Evidence and Implications for Macroeconomic Models”. *American Economic Review* 95(1): 425–36.

Hamilton, J. y D.H. Kim (2000). "A Re-Examination of the Predictability of Economic Activity using the Yield Spread". *Journal of Money, Credit and Banking* 34(2): 340–60.

Hördahl, P., O. Tristani y D. Vestin (2006). "A Joint Econometric Model of Macroeconomic and Term Structure Dynamics". *Journal of Econometrics* 131(1-2): 405–44.

Larraín, M. (2007). "Sorpresas de Política Monetaria y la Curva de Rendimiento en Chile". *Economía Chilena* 10(1): 37–50.

Mehrotra, A., K. Miyajima y A. Villar (2012). "Developments of Domestic Government Bond Markets in EMEs and their Implications". Bank for International Settlements Working Paper 67.

Meyer, J. (2006). "Impacto de las Sorpresas Económicas en el Rendimiento de los Bonos del Banco Central de Chile". *Economía Chilena* 9(2): 61–71.

Morales, M. (2010). "The Real Yield Curve and Macroeconomic Factors in the Chilean Economy". *Applied Economics* 42(27): 3533–45.

Nelson, C.R. y A.F. Siegel (1987). "Parsimonious Modeling of Yield Curves". *Journal of Business* 60: 473–89.

Svensson, L.E.O. (1994). "Estimating and Interpreting Forward Interest Rates: Sweden 1992-4". CEPR, Discussion Paper Series N°1051, y NBER Working Paper 4871.

Wu, T. (2002). "Monetary Policy and the Slope Factors in Empirical Term Structure Estimations". Federal Reserve Bank of San Francisco Working Paper 02-07.

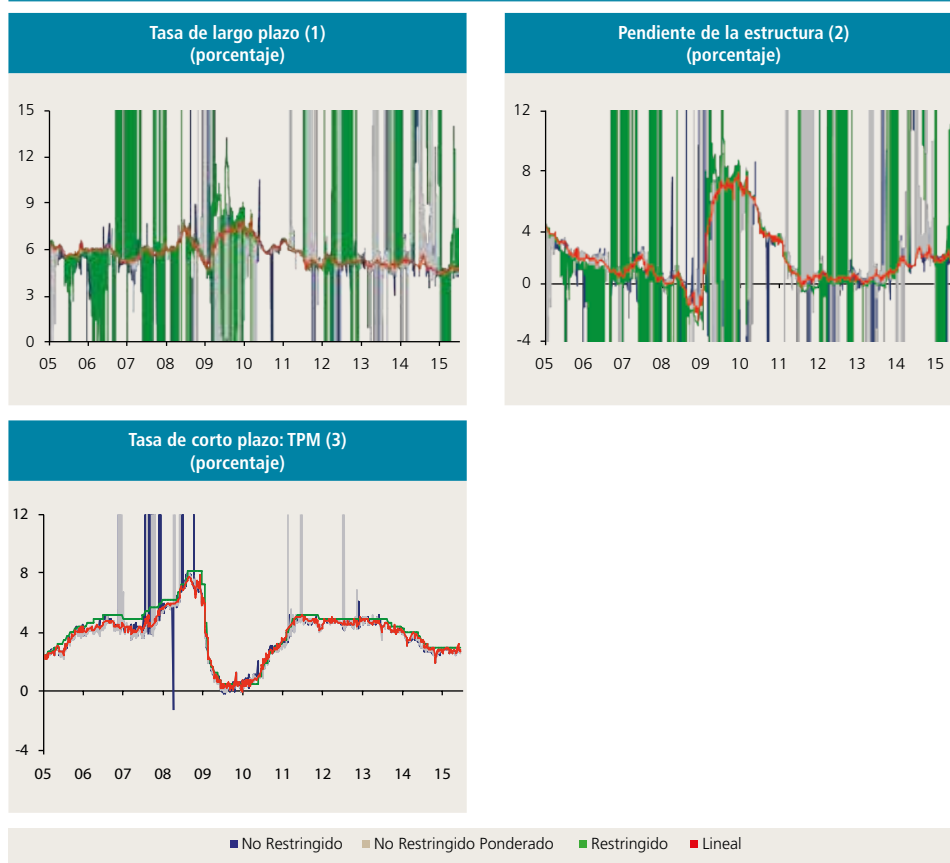
APÉNDICE

1. Parámetros del modelo de NS

En el gráfico A1 se reportan los parámetros del modelo de NS estimado sobre la base de bonos de gobierno. En particular, se reporta el parámetro asociado a la tasa de largo plazo de la economía: β_0 , la pendiente de la estructura de tasas de interés: $-\beta_1$, y la tasa de corto plazo, la cual está asociada a $\beta_0 + \beta_1$. Lo anterior se reporta para las cuatro especificaciones del modelo de NS.

Gráfico A1

Parámetros estimados del modelo NS sobre la base de bonos



Fuente: Elaboración de los autores.

(1) Asociado al parámetro β_0 del modelo de NS. (2) Asociado al parámetro $-\beta_1$ del modelo de NS. (3) Asociado al parámetro $\beta_0 + \beta_1$ del modelo de NS.

2. Parámetros del modelo de NS a base de *swaps*

El gráfico A2 reporta los parámetros del modelo de NS estimado a través de *swaps* promedio cámara (SPC). En particular se reporta el parámetro asociado a la tasa de largo plazo de la economía: β_0 , la pendiente de la estructura de tasas de interés: $-\beta_1$, y la tasa de corto plazo la cual está asociada a $\beta_0 + \beta_1$. Lo anterior se reporta para las cuatro especificaciones del modelo de NS.

Gráfico A2

Parámetros estimados modelo NS a base de *swaps*



Fuente: Elaboración de los autores.

(1) Asociado al parámetro β_0 del modelo de NS. (2) Asociado al parámetro $-\beta_1$ del modelo de NS. (3) Asociado al parámetro $\beta_0 + \beta_1$ del modelo de NS.