



NOTA TÉCNICA

N.º 06 | 2022

Una curva de rendimiento par soberana en dólares: el uso de un enfoque dinámico

Carlos Segura-Rodriguez

César Ulate Sancho

Fotografía de portada: “Presentes”, conjunto escultórico en bronce, año 1983, del artista costarricense Fernando Calvo Sánchez. Colección del Banco Central de Costa Rica.

Una curva de rendimiento par soberana en dólares: el uso de un enfoque dinámico

Carlos Segura-Rodriguez[†], César Ulate Sancho[‡]

Las ideas expresadas en este documento son de los autores y no necesariamente representan las del Banco Central de Costa Rica.

Resumen

Este estudio estima una curva de rendimiento par soberana semanal en dólares para el caso de Costa Rica. Para la selección del método de estimación se analizan tres técnicas paramétricas: el método de Nelson y Siegel (1987), el método de Svensson (1994) y un enfoque dinámico propuesto por Diebold, Rudebusch y Aruoba (2006). Se utiliza información para el periodo entre enero de 2009 y noviembre de 2021 de todas las negociaciones en mercado primario y secundario de bonos tasa fija y cero cupón emitidos por el Ministerio de Hacienda. La evaluación de los tres métodos permite concluir que el método dinámico genera un mejor compromiso entre el ajuste dentro y fuera de muestra que los dos métodos estáticos. La principal razón es que los métodos estáticos presentan un problema de sobre ajuste dentro de muestra en las semanas que se observan pocas negociaciones: ajustan bien los puntos observados, pero tienden a generar comportamientos anómalos para los tramos de la curva para los que no existe información. El método dinámico resuelve este problema al utilizar la información del pasado para ajustar la curva de rendimientos que se esperaría observar durante esa semana, y solo ajustar la estimación en aquellos puntos en los que los nuevos valores observados se alejan de la curva anticipada. Por tanto, se recomienda el uso de este método dinámico para la estimación de dicha curva de rendimientos.

Palabras clave: Curva de rendimiento, dinámico, dólar, Costa Rica.

Clasificación JEL: C61, E43, G12, H63

*

[†]Departamento de Investigación Económica. División Económica, BCCR. segurarc@bccr.fi.cr.

[‡]Departamento de Investigación Económica. División Económica, BCCR. ulatess@bccr.fi.cr.

A Sovereign Par Yield Curve in Dollars: A Dynamic Approach

Carlos Segura-Rodriguez[†], César Ulate Sancho[‡]

The ideas expressed in this paper are those of the authors and not necessarily represent the view of the Central Bank of Costa Rica.

Summary

We estimate a weekly government debt in US dollars par yield curve for Costa Rica. To choose the estimation method, we analyze three parametric techniques: Nelson and Siegel's method, Svensson's method and a dynamic approach developed by Diebold et al. We use all Costa Rican sovereign debt in US dollars transactions in the primary and secondary market. We concentrate in transactions of fixed rate and zero-coupon bonds for the period between January 2009 and November 2021. The evaluation of the results from the three methods allow us to conclude that the dynamic approach shows a better balance between in-sample fit and out-of-sample forecast than the static methods. The main reason is that the static methods suffer of an over-fitting problem for those weeks with a small number of observations: they fit well the observed sample, but sometimes present atypical behavior for the curve sections in which there is not available information. The dynamic method fixes this problem by using past information to estimate an expected yield curve for any week, and then only use the new weekly information to adjust the estimation in those points in which the expected yield curve is far from those observed points. Therefore, we recommend using this dynamic method for estimating this yield curve.

Key words: Yield curve, dynamic, US dollar, Costa Rica

JEL Codes: C61, E43, G12, H63

[†]Departamento de Investigación Económica. División Económica, BCCR. segurarc@bccr.fi.cr.

[‡]Departamento de Investigación Económica. División Económica, BCCR. ulatess@bccr.fi.cr.

1. Introducción

En la economía costarricense se presenta la libre cocirculación de la moneda local, el colón, y el dólar estadounidense. Es común que los agentes económicos utilicen ambas monedas para realizar pagos y acumular riqueza. Dentro de este contexto de cocirculación, el Gobierno de Costa Rica emite en el mercado local bonos de deuda tanto en colones como en dólares. Por tanto, los compradores de bonos, los emisores de deuda y los reguladores del mercado requieren contar con información que les permita conocer la coyuntura del mercado de deuda soberana tanto en colones como en dólares.

Uno de los instrumentos más utilizados para evaluar esta coyuntura es la curva de rendimientos. Una curva de rendimiento es una gráfica, la cual relaciona el plazo de los bonos negociados con los rendimientos a los que se negociaron dichos bonos. Sin embargo, debido a que solo es posible observar negociaciones para algunos plazos, y una curva de rendimientos debe relacionar todos los plazos con un rendimiento, es necesario seleccionar entre muchas gráficas posibles una que refleje de forma apropiada el comportamiento del mercado para un periodo particular.

Por esta razón, a lo largo de los años se han desarrollado numerosos métodos con el fin de seleccionar una gráfica adecuada. Entre estos métodos se encuentran la interpolación polinomial, la interpolación de ranura (interpolación *spline*), el método de Nelson y Siegel (1987), el método de Svensson (1994) y modelos dinámicos como el presentado por Diebold et al. (2006).

En el caso de Costa Rica, el Banco Central de Costa Rica (en adelante, BCCR) ha publicado una curva de rendimientos par en colones con frecuencia semanal desde setiembre de 2015. La publicación de esta curva se origina en la necesidad del BCCR, como emisor de deuda, de contar con información adicional sobre el comportamiento del mercado, además de proveer información al público.

Así, el objetivo de este trabajo es realizar un análisis sobre la posibilidad de estimar y publicar una curva de rendimientos par de la deuda soberana en dólares con el fin de complementar la información que se produce para el caso del mercado en colones. El calcular las curvas en ambas monedas permite entender mejor el comportamiento del mercado y generar análisis adicionales. Por ejemplo, es posible calcular la variación cambiara implícita que haría indife-

rente a los compradores de bonos entre adquirir bonos en una de las dos monedas, lo que se considera un indicador de expectativas de variación cambiaria.¹

Debido a que en la actualidad la curva soberana en colones se calcula a partir de métodos paramétricos (Nelson-Siegel o Svensson),² en este estudio se delimita el análisis al uso de métodos paramétricos para la estimación de una curva de rendimientos en dólares. Sin embargo, no solo se consideran los métodos estáticos utilizados hasta el momento, sino que se considera el uso de un método dinámico propuesto por Diebold et al. (2006) y que se basa en el método de Nelson-Siegel.

El principal resultado del análisis realizado es que la estimación a partir de los métodos dinámicos muestra un mejor compromiso entre estimación dentro y fuera de muestra. Los métodos estáticos presentan un problema de sobre ajuste dentro de muestra. Este problema se presenta debido al reducido número de negociaciones que se observan cada semana. Al existir muy pocas observaciones, los métodos realizan un muy buen ajuste para los puntos observados, pero pueden generar estimaciones que no reflejan el mercado para los tramos de la curva de rendimientos en los que no se tienen negociaciones. Así, por ejemplo, para algunas semanas, los métodos estáticos estiman rendimientos negativos para el corto plazo, generan curvas que caen y se incrementan muy rápidamente en el corto plazo y estiman rendimientos para los puntos de largo plazo que se encuentran muy por encima de los rendimientos observados en el mercado.

El método dinámico que se utiliza en este estudio resuelve estos problemas. La razón de esta mejora se puede explicar de forma simple. En primer lugar, para cualquier semana se utiliza la información del pasado reciente (y no se considera esta semana) para generar una curva de rendimientos que se espera observar durante esa semana. Así, se obtiene una curva con un comportamiento adecuado para todos sus tramos. Luego, se utiliza la información de la semana en cuestión para ajustar en los puntos en los que la curva previa se aleja de los rendimientos observados. Así, la curva final debería reflejar mejor el comportamiento del mercado tanto para los tramos en los que observan negociaciones para los tramos para los que no hay información durante esa semana.

¹El Anexo C discute con mayor detalle cómo se realiza el cálculo, presenta los resultados obtenidos para el caso de Costa Rica y compara este indicador con los indicadores de expectativa de variación cambiaria que actualmente publica el Banco Central.

²Véase Lankester Campos y Ortega Oviedo (2021) para mayor detalle sobre la forma en que se ha calculado la curva de rendimientos a partir de diciembre de 2020.

El resto del estudio se compone de las siguientes secciones. En la Sección 2 se describen los datos utilizados y los principales problemas que presenta la información disponible. La Sección 3 describe los tres métodos de estimación utilizados en el estudio. Los principales resultados se presentan en la Sección 4 y la Sección 5 presenta las principales conclusiones y algunas otras consideraciones finales.

2. Datos

Se utilizan datos de negociaciones de bonos en dólares del Gobierno Central y Banco Central e información del mercado integrado de liquidez (en adelante MIL) en dólares. Para este estudio contamos con esta información para el periodo entre enero del 2009 y noviembre del 2021.

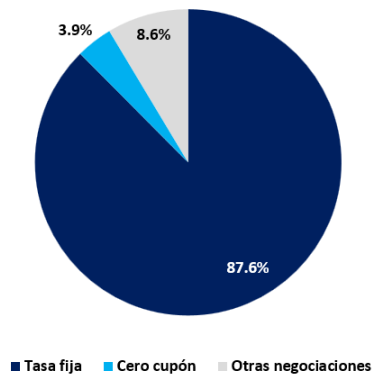
La base de datos sobre las negociaciones de bonos del Gobierno Central y el Banco Central proviene de la Bolsa Nacional de Valores (BNV). Esta base contiene todas las negociaciones de bonos en dólares realizadas tanto en el mercado primario como en el mercado secundario e incluye para cada una de ellas la fecha en que se registró la transacción, el tipo de operación, el tipo de instrumento, el emisor, el precio negociado, el rendimiento facial, el valor transado, entre otras características de la negociación.³

Una primera observación es que el tipo de instrumentos que se negocian es altamente concentrado. El Gráfico 1 muestra que los bonos cero cupón y de tasa fija de emisiones internas representan alrededor del 92,5 % del monto total transado durante el periodo. La parte restante de las negociaciones se divide entre diferentes emisiones de bonos de deuda externa que se transaron en el mercado interno, algunos bonos de estabilización monetaria que ha emitido el Banco Central en dólares y certificados de inversión. Debido a la poca liquidez e intermitencia con que se negocian estos últimos instrumentos, en las estimaciones se utilizan solo las negociaciones de bonos cero cupón y tasa fija emitidos en el mercado interno.

Por otra parte, la información del MIL en dólares se utiliza para aproximar la tasa de interés de muy corto plazo. En este caso, se utiliza la tasa promedio ponderada de las transacciones en este mercado. Estos datos se incorporan para complementar, y en algunas estimaciones

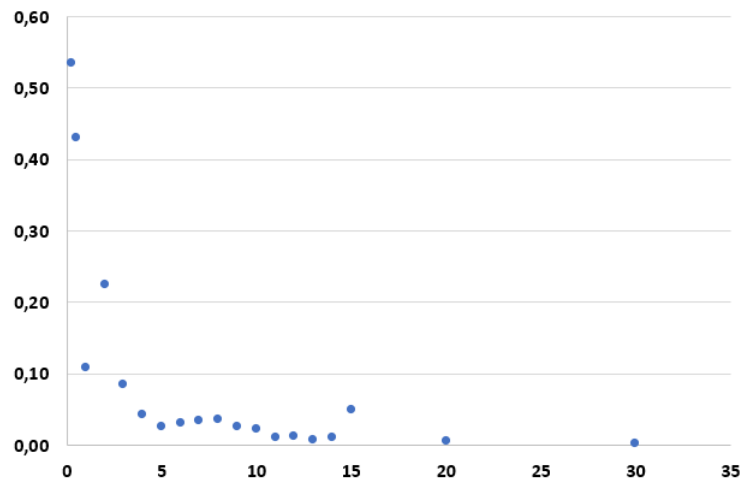
³Es importante reseñar que a partir de la base con la que contamos no es posible identificar si la negociación se realizó entre partes relacionadas y no es posible identificar la estructura de pagos que genera el activo financiero, por lo que no se pueden inferir las tasas cero cupón negociadas.

Gráfico 1. Porcentaje del total de montos transados en el periodo según instrumento financiero en US\$. 2009-2021



sustituir, los datos sobre negociaciones de corto plazo, ya que los rendimientos observados para los bonos con fecha de vencimiento cercana tienden a ser muy volátiles. El Gráfico 2 muestra el promedio de los cambios absolutos semanales observados en los rendimientos para cada plazo. Del gráfico es posible concluir que la volatilidad aumenta conforme se reduce el plazo y que es particularmente alta para los bonos con un plazo remanente al vencimiento menor a 6 meses.

Gráfico 2. Cambio semanal absoluto promedio de rendimientos según plazo. 2009-2021

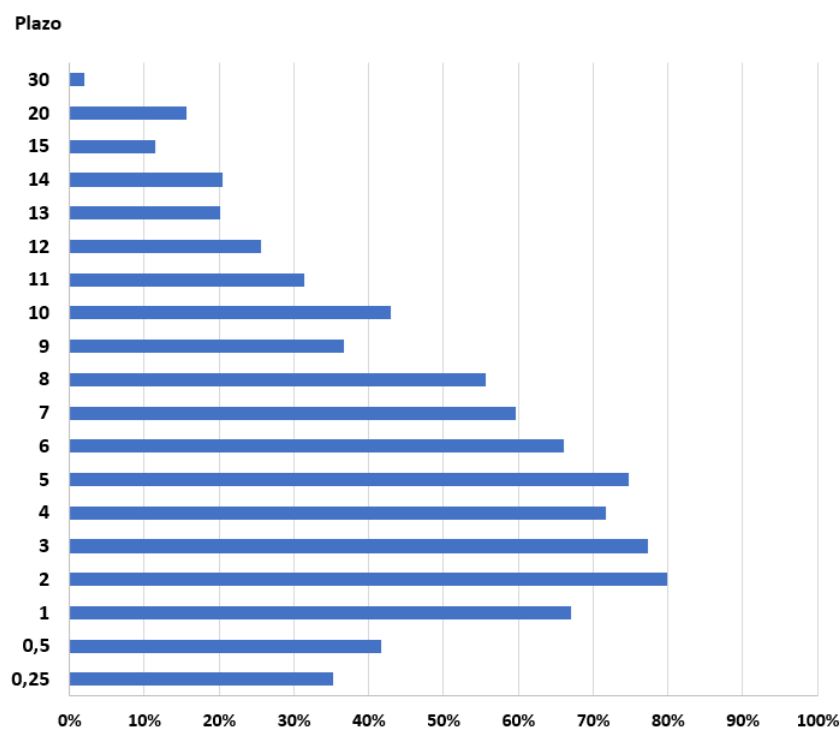


Fuente: Elaboración propia con datos de la Bolsa Nacional de Valores.

Finalmente, el mercado de bonos emitidos por el Gobierno Central en el mercado local es pequeño y poco líquido. Así, el número de negociaciones observadas en algunas semanas puede ser pequeño y solo para algunos tramos de la curva, lo que dificulta la estimación de la

curva soberana en moneda extranjera.⁴ El Gráfico 3 muestra la proporción de semanas en las que se observa al menos una negociación para diferentes plazos. A partir de este gráfico se concluye que es poco común observar transacciones de muy largo plazo. De hecho, al realizar un análisis más detallado de la base de datos es fácil encontrar periodos en los que no se observan negociaciones con plazos mayores a 9 años por varias semanas consecutivas.

Gráfico 3. Proporción de semanas con negociaciones de bonos, según plazo en años. 2009-2021



Fuente: Elaboración propia con datos de la Bolsa Nacional de Valores.

Debido a las dos últimas características de los datos señaladas, se incluyen dos ajustes en la estimación de las curvas de rendimiento. Por un lado, para eliminar la volatilidad excesiva que no refleja las condiciones del mercado se considera la posibilidad de eliminar las operaciones de corto plazo (menores a 3 o 6 meses) y la eliminación de valores que se considera presentan rendimientos extremos a partir de diferentes criterios.

Por otro lado, solo se consideran las operaciones con plazos menores a 10 años y para el plazo de 10 años se considera el incluir un punto de referencia que se construye con información del pasado reciente. Este punto de referencia se utiliza solo cuando no se observa

⁴En efecto, en 14 de las semanas durante el periodo en estudio el número de negociaciones observadas es menor o igual que 4, lo que hace imposible estimar las curvas de rendimiento con los métodos de estimación estáticos que se describen en la Sesión 3.

para la semana ninguna negociación con un plazo mayor a 9 años, y tiene el fin de brindar una referencia para la estimación del segmento de largo plazo de la curva de rendimientos.

3. Métodos de estimación

En este estudio solo se consideran métodos paramétricos para la estimación de la curva de rendimientos par en dólares.⁵ Esta restricción en los métodos por evaluar se debe a que la curva de rendimientos en colones que publica el BCCR desde el año 2015 se estima a partir de métodos paramétricos. Así, con el fin de que las curvas de rendimiento en ambas monedas se estimen con métodos similares, se decidió restringir el ámbito de este estudio. A continuación se describen detalladamente los métodos utilizados.

3.1. Nelson-Siegel

Nelson y Siegel (1987) proponen utilizar una aproximación exponencial de segundo orden de la curva de rendimientos. El objetivo fundamental que sustenta esta propuesta, es contar con una estimación de la curva de rendimientos que sea parsimoniosa, pero al mismo tiempo sea suficientemente flexible para capturar adecuadamente el comportamiento observado en el mercado. Además, prefieren esta aproximación exponencial sobre una aproximación polinomial porque la primera no presenta el problema de estimación para plazos mayores a los de la muestra que presenta la segunda: para plazos muy largos una estimación polinomial podría estimar valores negativos o que tiendan a infinito.

La idea detrás del método es estimar, para cada periodo que se quiere obtener una curva de rendimientos, la regresión no lineal

$$r(\tau) = \beta_0 + \beta_1 \frac{1 - e^{-\lambda\tau}}{-\lambda\tau} + \beta_2 \left(\frac{1 - e^{-\lambda\tau}}{-\lambda\tau} - e^{-\lambda\tau} \right). \quad (1)$$

Esta regresión relaciona las tasas de interés r con los plazos al vencimiento τ de cada una de las transacciones observadas. A partir de esta regresión es posible obtener una tasa de interés para cada plazo en días, aún si para un plazo específico no se observó ninguna negociación de un bono. Sin embargo, para los puntos observados la curva de rendimientos no necesariamente coincide con las tasas observadas.

⁵En los mercados financieros es común el uso tanto de métodos paramétricos como no paramétricos. Entre los métodos no paramétricos más comunes se encuentran la interpolación lineal, la interpolación polinomial y la interpolación spline.

La estimación de esta curva se puede realizar de diferentes formas. Nelson y Siegel (1987) procedieron en una estimación de dos etapas. Primero, fijaron una malla de valores para λ y para cada valor de λ estiman la regresión lineal resultante. El valor estimado de λ es finalmente el que reduzca el error cuadrático medio. Sin embargo, gracias a los avances computacionales de los últimos años, ahora es posible estimar numéricamente en una sola etapa qué valor de los cuatro parámetros minimiza el error cuadrático medio de la regresión no lineal.

3.2. Svensson

Svensson (1994) estaba interesado en entender las implicaciones macroeconómicas que se podían obtener a partir del análisis de curvas de rendimiento. Sin embargo, consideró que en mercados profundos el método de Nelson-Siegel no era suficientemente flexible para capturar todos los cambios en el mercado, por lo que propuso una extensión de este método.

Para alcanzar mayor flexibilidad, Svensson (1994) incorpora un componente extra en la regresión no lineal a estimar:

$$r(\tau) = \beta_0 + \beta_1 \frac{(1 - e^{-\tau\lambda_1})}{-\tau\lambda_1} + \beta_2 \left(\frac{(1 - e^{-\tau\lambda_1})}{-\tau\lambda_1} - e^{-\tau\lambda_1} \right) + \beta_3 \left(\frac{(1 - e^{-\tau\lambda_2})}{-\tau\lambda_2} - e^{-\tau\lambda_2} \right), \quad (2)$$

de manera que la curva de rendimientos pueda presentar dos puntos de inflexión en su curvatura.

Sin embargo, el incluir dos parámetros extra para la estimación de la curva de rendimientos en mercados financieros en los que hay pocas transacciones puede representar un desafío (muy pocas observaciones para estimar un número grande de parámetros).

3.3. Curva de rendimientos dinámica

En los dos métodos tradicionales presentados anteriormente, la curva de rendimientos se estima de manera independiente para cada período en que se está interesado. En este sentido la estimación que se realiza es estática. En contraposición a esta premisa, Diebold et al. (2006) propusieron utilizar la información de periodos previos para mejorar la estimación de la curva de rendimientos. La idea es utilizar la información del pasado (hasta la semana inmediata anterior) para generar una estimación de lo que se espera debió haber sido la curva de rendimientos para esta semana, y solo utilizar la información de esta semana para variar

la curva de rendimientos en aquellos puntos en los que la estimación previa generó un error.

El método consiste en utilizar la estructura de la curva de rendimientos de Nelson-Siegel, pero considerar el vector de parámetros de dicha curva $(\beta_0, \beta_1, \beta_2, \lambda)$ como variables de estado. De esta forma, se obtiene una representación de estado-espacio que permite incorporar en la estimación de la curva de rendimientos tanto la información del pasado como del periodo para el que está realizando la estimación.

Para esto se denota por $X_t = (\beta_{0t}, \beta_{1t}, \beta_{2t}, \lambda_t)$ el vector de estados en el periodo t . Note que ahora los parámetros de la curva están indexados temporalmente. La ecuación de medida, que relaciona la nueva información (negociaciones semanales) con los estados, corresponde a

$$r_t(\tau) = \beta_{0t} + \beta_{1t} \left(\frac{1 - e^{-\lambda_t \tau}}{\lambda_t \tau} \right) + \beta_{2t} \left(\frac{1 - e^{-\lambda_t \tau}}{\lambda_t \tau} - e^{-\lambda_t \tau} \right) + \epsilon_t(\tau). \quad (3)$$

Cada periodo t se observan n_t plazos diferentes τ . Por tanto, de esta ecuación de medida obtenemos un vector de errores ϵ_t de dimensión n_t . Se supone que este vector sigue una distribución normal multivariada con media $0_{n_t \times 1}$ y varianza $H_{n_t \times n_t} = \sigma^2 \mathbb{I}_{n_t \times n_t}$, donde $\mathbb{I}_{n_t \times n_t}$ representa la matriz identidad con n_t filas.

Por otra parte, se supone que el vector de estados sigue un proceso autorregresivo de orden 1. Esto es, el vector X_t sigue el proceso

$$X_t - \mu = A(X_{t-1} - \mu) + \eta_t, \quad (4)$$

donde A es una matriz de coeficientes de dimensión 4×4 y η_t es un vector de errores. Se supone que el vector de errores η_t sigue una distribución normal con media $0_{4 \times 1}$ y varianza $Q_{4 \times 4}$.

Además, se supone que los vectores η_t y ϵ_t son independientes de sus propios valores pasados y η_t es independiente de ϵ_t para cualquier horizonte τ y periodo t . De esta forma, el vector de errores $(\eta_t, (\epsilon_t(\tau))_\tau)$ sigue una distribución normal con media $0_{(4+n_t) \times 1}$ y varianza $\text{diag}(Q_{4 \times 4}, \sigma^2 \mathbb{I}_{n_t \times n_t})$.

Finalmente, suponemos que el vector de estados en el periodo 0, X_0 , es ortogonal a los errores para cualquier periodo y plazo, es decir,

$$E[X_0 \eta_t'] = 0, \quad \forall t \text{ y}$$

$$E[X_0 \epsilon'_t(\tau)] = 0, \forall t, \forall \tau.$$

Bajo estos supuestos, la ecuación 3 representa la ecuación de medida y la ecuación 4 representa la ecuación de transición en una representación estado-espacio de un sistema dinámico. La evolución dinámica de los estados depende del valor de los parámetros del modelo. Estos parámetros corresponden a la media del vector de estados μ , el vector de coeficientes de la ecuación de transición A , la matriz de varianza-covarianza Q del error η_t , la variancia σ^2 de los errores en la ecuación de medida, el valor inicial de los estados X_0 y la matriz de varianza-covarianza de este vector de estados, a la que se le denomina P_0 .

Dado que la ecuación de medida no es lineal, no es posible, sin supuestos adicionales, utilizar el Filtro de Kalman para estimar la evolución de los estados a partir de un vector de parámetros. En este artículo se utilizan dos procedimientos alternativos de cálculo. Primero, se considera un modelo restringido en el que λ es invariable en el tiempo, esto es, se trata como un parámetro en la estimación. Así, el modelo dinámico se convierte en un modelo lineal y se utiliza el Filtro de Kalman para estimar la evolución de los estados. Segundo, se estima la versión no lineal del modelo dinámico con el uso del Filtro de Kalman Extendido. Esta extensión del Filtro de Kalman se utiliza para estimar modelos no lineales y se basa en el uso de aproximaciones de primer orden de la ecuación de medida. Esto permite incorporar la nueva información en la estimación no lineal de los estados.

En ambos casos, la estimación del modelo se realiza en dos etapas. En primer lugar, para un valor fijo de los parámetros, se utilizan los métodos descritos en el párrafo anterior para estimar la evolución de los estados. Con esta estimación se recuperan los errores de ambas ecuaciones y se obtiene el valor de verosimilitud del modelo. En un segundo paso, se estiman los parámetros a partir de la maximización numérica de la función de verosimilitud.⁶

4. Resultados

Las curvas de rendimientos de Nelson-Siegel y Svensson se calcularon para la muestra entre el 17 de agosto de 2010 y el 02 de noviembre de 2021. Debido a la volatilidad de los rendimientos en el corto plazo y el reducido número de negociaciones de largo plazo, se estimaron

⁶La selección de la semana que se considera como el punto de partida (periodo 0) es importante. En este artículo se seleccionó la semana que finaliza el 17 de agosto de 2010 porque es la primera semana en la base de datos para la que se tiene información sobre negociaciones de bonos para una muestra representativa de plazos.

curvas de rendimientos a partir de diferentes submuestras de negociaciones. En primer lugar, se consideran tres exclusiones alternativas para las transacciones de corto plazo: sin excluir observaciones, con exclusión de las transacciones de bonos con periodos al vencimiento menores a 3 meses y con eliminación de las transacciones de bonos con periodos al vencimiento menores a 6 meses. En segundo lugar, se considera la posibilidad de utilizar un valor de referencia para el plazo de 10 años si no hay transacciones de bonos con vencimiento de largo plazo (mayores a 9 años).

Para la construcción de este valor de referencia se utiliza la información de las 3 semanas previas para transacciones de bonos con vencimiento entre 9 y 11 años. Si en esas semanas no se registró ninguna transacción para este plazo, se consideran las transacciones de las últimas 12 semanas como referencia para el plazo, y si en las últimas 12 semanas no se presentó ninguna transacción para el plazo en cuestión, entonces no se construye el valor de referencia.

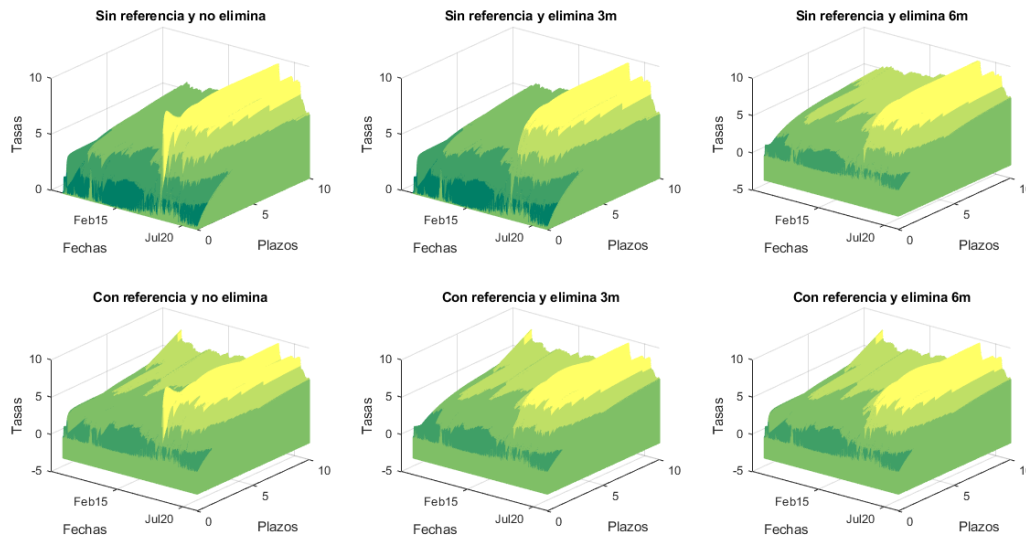
Para todas estas estimaciones se restringen los parámetros de forma que el valor estimado a 1 día plazo coincide con la tasa promedio ponderada del MIL en dólares. Esta restricción se incluye con el fin de que el método de estimación coincida con el que el BCCR utiliza actualmente para la estimación semanal de la curva de rendimientos en colones.

Por otra parte, se estiman las curvas de rendimiento dinámicas para las dos versiones descritas en la sección anterior. En este caso, solo se restringe que la tasa para el plazo de 1 día no sea menor a un punto base. Se elige una restricción más laxa con el fin de obtener una curva de rendimientos que refleje mejor el comportamiento de todos los plazos, sin un peso excepcional al corto plazo. Además, se utiliza la tasa promedio ponderada de las negociaciones en MIL durante toda la semana y no solo las operaciones del último día.

En primera instancia, los Gráficos del 4 al 6 presentan las estimaciones obtenidas de las curvas de rendimiento para los diferentes métodos y tratamientos de los datos.

El Gráfico 4 presenta la estimación de la curva de rendimientos que se obtiene con el método de Nelson-Siegel. Hay varios aspectos que resaltar. El cambio en el comportamiento de las curvas parece ser gradual sin mayores diferencias de una semana a otra. Sin embargo, si existen algunos puntos que parecen ser anómalos. Por ejemplo, alrededor de 2018 cuando no se eliminan las negociaciones de corto plazo, la curva de rendimientos sube muy rápidamente

Gráfico 4. Curva de rendimientos de Nelson-Siegel estimada bajo diferentes supuestos. 2010-2021



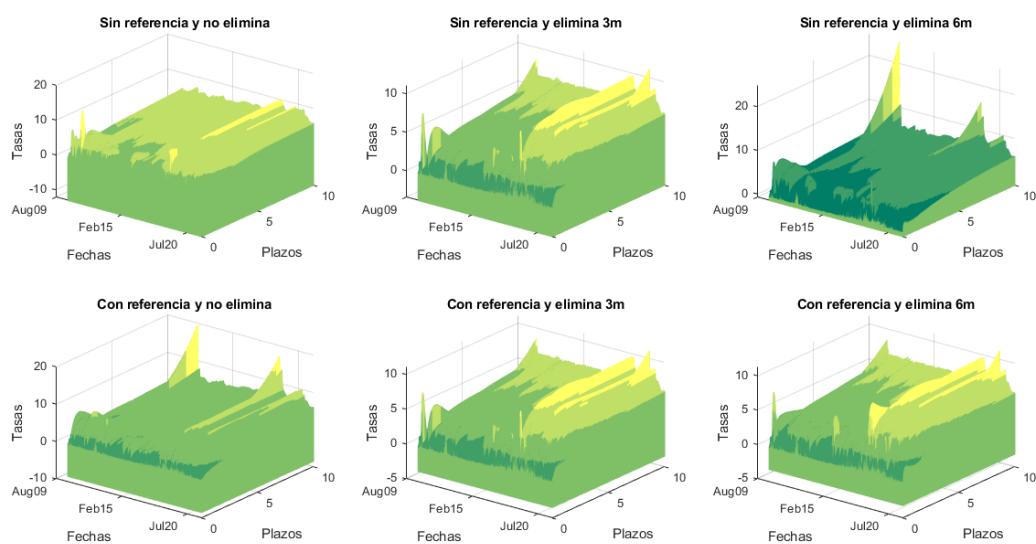
Fuente: Elaboración propia.

en el corto plazo y luego cae en el mediano y largo plazo. Por otra parte, en algunas gráficas el eje y muestra valores menores a 0 debido a que algunos de los rendimientos estimados para algunos plazos y algunas semanas son negativos, una clara anomalía en la estimación de la curva de rendimientos.

El Gráfico 5 presenta las curvas de rendimientos obtenidas con el método de Svensson. La mayor cantidad de parámetros utilizados en la estimación genera que los cambios en las curvas de rendimiento de una semana a otra sean más abruptos y que se presenten estimaciones de rendimientos lejos de los que se han observado en el mercado. Por ejemplo, se observan estimaciones de rendimientos superiores a 15 puntos porcentuales para plazos largos y tasas negativas para plazos muy cortos, resultados que son anómalos dado el comportamiento histórico del mercado.

Finalmente, el Gráfico 6 presenta las estimaciones de las curvas con los métodos dinámicos. En la izquierda se presenta el caso en que se supone que λ es fijo, por lo que en ese caso el modelo es lineal. En la derecha se presenta la estimación no lineal en la que λ se supone es una variable de estado, por lo que en ese caso el modelo es no lineal. La mayor flexibilidad permitida en la segunda estimación hace posible obtener curvas de rendimiento que varían más de una semana a otra. Sin embargo, en ambos casos no se observan comportamientos en los rendimientos estimados que se puedan considerar anómalos ni se obtiene una

Gráfico 5. Curva de rendimientos de Svensson estimada bajo diferentes supuestos. 2010-2021



Fuente: Elaboración propia.

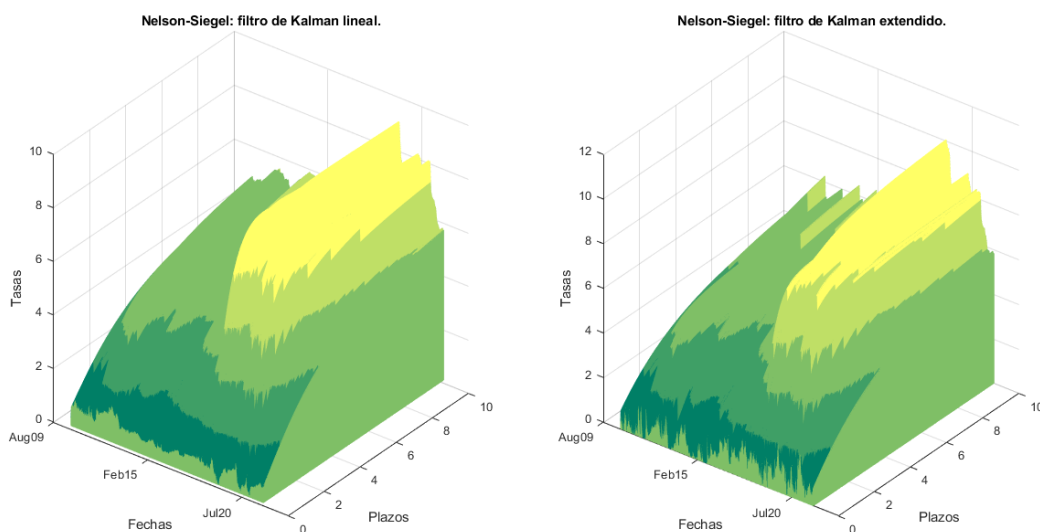
estimación de rendimientos negativos para ningún plazo.

Una de las principales limitaciones para la estimación de la curva de rendimientos es que durante algunas semanas se observan muy pocas negociaciones de bonos en dólares. La poca información disponible provoca que la estimación de la curva de rendimientos pueda evidenciar un problema de sobre ajuste dentro de muestra: la estimación puede presentar un muy buen ajuste de los rendimientos de las transacciones observadas pero generar estimaciones alejadas de los rendimientos esperados en el mercado para los plazos en los que no se observaron transacciones. La ventaja de los métodos dinámicos es que la estimación de la curva para una semana en específico parte de la estimación de una curva que es representativa de las condiciones del mercado en el pasado reciente, lo que hace menos probable el problema de sobre ajuste dentro de la muestra.

El Gráfico 7 muestra la estimación de las curvas de rendimientos con los métodos de Nelson-Siegel, Svensson y Nelson-Siegel dinámico no lineal para dos semanas particulares. En los dos primeros casos se considera la estimación en la que se excluyen las negociaciones con vencimientos menores a 6 meses y que incluye un valor de referencia de 10 años. En el caso de la curva dinámica se excluyen las negociaciones con vencimientos menores a 6 meses.

En el Gráfico 7a se presenta la estimación que se obtiene para la semana del 5 de marzo del

Gráfico 6. Curva de rendimientos dinámica estimada bajo diferentes supuestos. 2010-2021



Fuente: Elaboración propia.

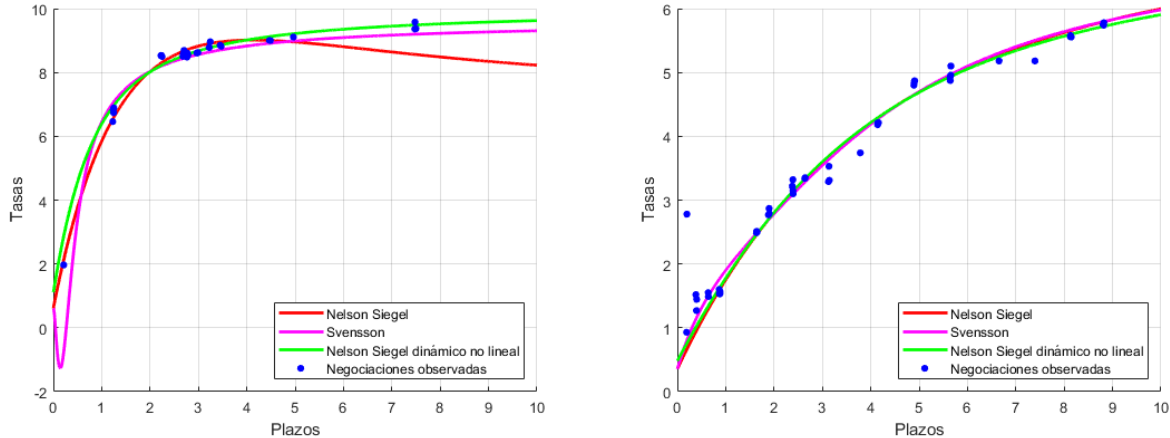
2019. Durante esa semana se observaron pocas negociaciones de bonos en dólares. Las tres curvas difieren significativamente entre sí. La falta de información en el corto plazo provoca que el método de Svensson genere rendimientos negativos para algunos de los plazos. Por otra parte, la poca información en el largo plazo provoca que el método de Nelson-Siegel genere una caída continua de los rendimientos para el tramo de largo plazo, lo que no coincide con los rendimientos observados para las dos transacciones efectuadas con plazo alrededor de 7,5 años. Finalmente, la curva dinámica pasa cerca de todos los puntos observados y en general refleja bien el comportamiento de mercado durante esa semana.

En el Gráfico 7b se presenta la estimación con los mismos métodos, pero para una semana en la que se observa una gran cantidad de negociaciones. En este caso, la abundancia de información genera que todas las curvas de rendimiento luzcan similares y que a primera vista sea difícil diferenciar cuál de ellas es mejor.

Con el fin de tener criterios que permitan discernir entre las diferentes estimaciones de la curva de rendimiento, se consideran cinco criterios estadísticos:

- **RECM:** Corresponde a la raíz del error cuadrático medio en la muestra observada. Cuanto menor es el RECM, menor el error dentro de muestra.
- **EAM:** El error absoluto medio es otro estadístico que permite medir la magnitud de los

Gráfico 7. Curvas de rendimientos con diferentes métodos para dos semanas específicas



(a) Curva Soberana para semana del 5 de marzo del 2019 **(b)** Curva Soberana para semana del 5 de octubre del 2021

Fuente: Elaboración propia.

errores dentro de muestra. Igual que con el RECM, entre más pequeño el EAM, mejor el método de estimación.

- **Proporción de aciertos:** Es igual al porcentaje de veces que el valor estimado se encuentra a una distancia del punto observado menor a medio punto porcentual.
- **Porcentaje de curvas monótonas:** Corresponde al porcentaje de curvas para las cuales siempre un mayor plazo se corresponde con un mayor rendimiento. Se espera que la mayoría de curvas sean monótonas, esto es, que este indicador sea cercano a uno.⁷
- **Número de curvas con rendimientos negativos:** Consiste en el conteo del número de curvas para las cuales el rendimiento estimado para al menos un plazo es negativo. Dado que en Costa Rica nunca se han observado rendimientos negativos, el que este conteo sea positivo representa una importante anomalía en la estimación de la curva de rendimientos.

Al aplicar estos criterios se consideran todas las negociaciones observadas y no se incluye el punto correspondiente al MIL. Además, se supone que todas las negociaciones cuyo plazo difiere en menos de una semana corresponden a negociaciones de un mismo bono y por

⁷En un mercado financiero desarrollado se esperaría que algún porcentaje de curvas no sea monótonas debido por ejemplo a un ajuste de las tasas de corto plazo realizada por el banco central. Además, en mercados poco profundos como el costarricense, el número limitado de observaciones en el mercado dificulta identificar y estimar los comportamientos no monótonos en la curva de rendimientos. Por tanto, se esperaría que en el caso en estudio la mayoría de curvas sean monótonas.

tanto, se agrupan como un único punto observado y se les asigna el rendimiento promedio ponderado durante esa semana.

El Cuadro 1 presenta el resultado de aplicar estos estadísticos en las 586 curvas semanales estimadas desde la semana del 17 de agosto de 2010 hasta el 02 de noviembre de 2021. Sin embargo, para 14 semanas no fue posible estimar las curvas estáticas de Nelson-Siegel ni de Svensson debido a que se observaron menos de 5 negociaciones. Así, esas semanas se excluyeron de la comparación que se realiza en el Cuadro 1.

El Cuadro 1 muestra que el modelo de Svensson, para cualquier especificación que se considere, es capaz de proveer un mejor ajuste dentro de la muestra (mayor porcentaje de aciertos y menor $RMSE$ y MAE). Este mejor ajuste se debe a la flexibilidad que brinda el utilizar un término exponencial extra, lo que permite replicar mejor las negociaciones observadas en el mercado.

Sin embargo, debido a que en algunas semanas se observa solo una pequeña cantidad de negociaciones, esa flexibilidad extra puede resultar en un sobre ajuste de los datos dentro de la muestra, lo que resulta en comportamientos anómalos para los tramos en la curva de rendimiento que no se observaron durante esa semana. Este hecho se refleja en el Cuadro 1 en que las curvas de rendimiento estimadas con el método de Svensson presentan no monotonidades con mucha más frecuencia, y para un número importante de semanas se estiman rendimientos negativos para algunos plazos.

Por otra parte, el Cuadro 1 muestra que la curva dinámica no lineal representa un buen compromiso entre la bondad de ajuste dentro y fuera de muestra. Por un lado, presenta una bondad de ajuste que es intermedia entre la que se obtiene con el método de Svensson y la que se obtiene con el método de Nelson-Siegel. Por otro lado, la presencia de no monotonidades es menos frecuente que con cualquiera de los otros dos métodos y nunca se obtiene la estimación de un rendimiento negativo para ninguno de los plazos.

El Anexo A muestra que el resultado de que la bondad de ajuste del método dinámico presenta un nivel intermedio entre los métodos de Svensson y Nelson-Siegel es robusto al considerar por separado diferentes tramos de la curva de rendimientos: 0-1 año, 1-4 años, 4-10 años. Esto refuerza la idea de que el modelo provee un buen compromiso entre bondad de ajuste dentro de muestra y comportamiento de la curva estimada fuera de muestra.

Cuadro 1. Estadísticos descriptivos de evaluación. Toda la muestra. 2010-2021

Método	Referencia	Eliminación	Monotonicidad	Semanas rend neg	RMSE	MAE	Aciertos
Nelson- Siegel	No	No	91 %	0	0,26	0,21	0,92
	No	Menos 6 m	93 %	1	0,23	0,18	0,94
	10 años	No	95 %	2	0,25	0,20	0,93
	10 años	Menos 6 m	90 %	3	0,26	0,20	0,93
Svensson	No	No	71 %	11	0,16	0,13	0,97
	No	Menos 6 m	74 %	15	0,14	0,11	0,98
	10 años	No	72 %	11	0,20	0,11	0,95
	10 años	Menos 6 m	78 %	9	0,19	0,15	0,96
Dinámico lineal	No	Menos 6 m	75 %	0	0,25	0,19	0,93
Dinámico no lineal	No	Menos 6 m	99 %	0	0,21	0,17	0,95

Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, es interesante observar como la flexibilidad que se obtiene al utilizar el método dinámico no lineal sobre el lineal⁸ permite no solo obtener una mejor bondad de ajuste, sino que permite obtener curvas que satisfacen con más frecuencia el criterio de monotonicidad.

Finalmente, conviene señalar que el método dinámico no lineal cuenta con otras ventajas sobre los métodos estáticos. Primero, la estimación se puede realizar para cualquier semana, aún cuando se han observado muy pocas negociaciones de bonos durante esa semana. Segundo, no es necesario tomar decisiones sobre cuáles puntos de referencia calcular y cómo realizar la estimación de estos puntos. El método dinámico permite utilizar toda la información del pasado de una forma óptima desde un punto de vista estadístico. Tercero, si se requiere hacer proyecciones del comportamiento de las curvas de rendimiento en el futuro, el proceso de evolución de los estados permite pronosticar los coeficientes necesarios para obtener proyecciones del valor de la curva de rendimientos en semanas futuras.

⁸Recuerde que el método dinámico lineal fija el parámetro λ en la curva de Nelson-Siegel, mientras que el método no lineal trata este parámetro como otra variable de estado.

5. Comentarios finales

Este estudio analizó el uso de diferentes métodos paramétricos para estimar una curva de rendimiento par de la deuda soberana costarricense en dólares en el mercado interno. El estudio se ha centrado en este grupo de métodos porque desde setiembre de 2015 el Banco Central ha publicado una curva de rendimiento par soberana en colones que se obtiene a partir del uso de los métodos de Nelson-Siegel y Svensson.

El principal aporte técnico de este estudio es incorporar en el análisis la posibilidad de utilizar un método dinámico. Estos métodos permiten incorporar de una forma estadísticamente óptima la información del pasado para la estimación de la curva de rendimientos para una semana en particular. El uso de esa información del pasado es necesaria debido a que en algunas semanas se observan muy pocas negociaciones de bonos, lo que dificulta la estimación de la curva en al menos algunos tramos. Una posibilidad que se ha explorado en el Banco Central (véase Lankester Campos y Ortega Oviedo (2021)) es el uso de puntos de referencia que se construyen con la información reciente. Sin embargo, la definición y diseño de estos puntos es una decisión del investigador, la cual podría no ser necesariamente óptima.

El principal resultado del análisis es que la estimación que se obtiene con el modelo dinámico muestra un buen compromiso entre la bondad de ajuste para las negociaciones observadas y el que la curva sea razonable para los tramos de curva en las que no se observan negociaciones. Esta diferencia es muy relevante en las semanas en las que se observan pocas negociaciones. La razón es que los métodos estáticos no tienen información para estimar algunos tramos de la curva, lo que puede resultar en curvas de rendimiento con comportamientos anómalos. Por otra parte, los métodos dinámicos utilizan la información del pasado para primero generar una aproximación de la curva que se espera observar durante una semana en específico y luego solo se ajustan los puntos para los que se tiene información para esa semana.

Durante el desarrollo de esta investigación surgieron dos preguntas relacionadas. Primero, los resultados obtenidos generan la interrogante de si al utilizar el método dinámico también se podría obtener una mejor estimación de la curva de rendimientos en colones. El Anexo B presenta el resultado de replicar el análisis que se realizó para la curva en dólares para el caso de la curva en colones. Al igual que en el caso de dólares, se obtiene que los métodos

no dinámicos permiten obtener una adecuada bondad de ajuste dentro de muestra y que el comportamiento fuera de muestra es mejor que el de Svensson y muy cercano al de Nelson-Siegel.

Segundo, con la información obtenida a partir de las curvas de rendimientos en colones y dólares con el método dinámico es posible generar un indicador de expectativa de variación cambiaria en el mercado. El Anexo C construye este indicador como la variación en el tipo de cambio que debería observarse en el futuro para que los agentes económicos fueran indiferentes entre adquirir un bono en colones y un bono en dólares cuando no compran ninguna cobertura cambiaria.

Este indicador se compara con los otros dos indicadores de expectativa de variación cambiaria que actualmente publica el Banco Central (a partir de una encuesta y de un modelo que utiliza información de mercado). El análisis muestra que, en términos absolutos, este indicador presenta un sesgo similar a la expectativa de mercado que se publica actualmente y un sesgo menor al que presenta la expectativa de la encuesta. Sin embargo, cuando se considera el uso de este indicador para pronosticar el tipo de cambio futuro, su capacidad de pronóstico es bastante menor que la de los indicadores que actualmente utiliza el Banco Central.

Referencias

- Diebold, F. X., Rudebusch, G. D., y Aruoba, S. B. (2006). The Macroeconomy and the Yield Curve: a Dynamic Latent Factor approach. *Journal of econometrics*, 131(1-2), 309–338.
- Lankester Campos, V. y Ortega Oviedo, R. (2021). Estimación de la curva soberana para Costa Rica. *Banco Central de Costa Rica (BCCR). Nota Técnica NT-04-2021*.
- Nelson, C. R. y Siegel, A. F. (1987). Parsimonious Modeling of Yield Curves. *Journal of business*, 473–489.
- Segura-Rodríguez, C. L. (2019). Expectativas de inflación en el mercado de deuda soberana costarricense: ¿están ancladas? *Banco Central de Costa Rica (BCCR). Documento de Investigación DI-07-2019*.
- Svensson, L. (1994). Estimating and Interpreting Forward Interest Rates: Sweden 1992-1994. *NBER, Working Paper 4871*.

A. Estabilidad de los errores dentro de muestra

Los Cuadros del 2 al 4 muestran las medidas de bondad de ajuste cuando se consideran diferentes tramos de la curva de rendimientos. En los cuadros se observa que, para todos los segmentos de la curva de rendimientos, el método de Svensson provee un mejor ajuste dentro de muestra que el método de Nelson-Siegel y que el método dinámico no lineal provee un ajuste que es intermedio entre los dos primeros. Además, se concluye que la principal diferencia en la bondad de ajuste dentro de muestra entre los métodos ocurre para el segmento de la curva de rendimiento entre 0 y 1 año.

Cuadro 2. Estadísticos descriptivos de evaluación. Transacciones de menos de 1 año. 2010-2021

Método	Referencia	Eliminación	RMSE	MAE	HitRatio
Nelson-Siegel	No	No	0,38	0,37	0,73
	No	Menos 6 meses	0,36	0,36	0,76
	10 años	No	0,36	0,36	0,76
	10 años	Menos 6 meses	0,40	0,39	0,72
Svensson	No	No	0,18	0,17	0,93
	No	Menos 6 meses	0,14	0,13	0,95
	10 años	No	0,19	0,18	0,92
	10 años	Menos 6 meses	0,18	0,18	0,92
Dinámico lineal	No	Menos 6 meses	0,41	0,40	0,69
Dinámico no lineal	No	Menos 6 meses	0,29	0,28	0,88

Fuente: Elaboración propia.

B. Curva de rendimientos en colones

El BCCR calcula y publica de manera semanal una curva de rendimientos de deuda soberana en colones. En su estimación se consideran las negociaciones con plazos hasta 10 años que se realizan en mercado primario y secundario de los bonos cero cupón y tasa fija emitidos por el Ministerio de Hacienda y el BCCR en moneda nacional. Sin embargo, para el cálculo de la curva de rendimiento se realizan dos tipos de exclusiones. Primero, se excluyen las

Cuadro 3. Estadísticos descriptivos de evaluación. Transacciones entre 1 y 4 años. 2010-2021

Método	Referencia	Eliminación	RMSE	MAE	HitRatio
Nelson-Siegel	No	No	0,25	0,22	0,92
	No	Menos 6 meses	0,22	0,19	0,95
	10 años	No	0,24	0,21	0,92
	10 años	Menos 6 meses	0,23	0,20	0,94
Svensson	No	No	0,16	0,14	0,97
	No	Menos 6 meses	0,14	0,11	0,99
	10 años	No	0,18	0,15	0,96
	10 años	Menos 6 meses	0,17	0,15	0,97
Dinámico lineal	No	Menos 6 meses	0,23	0,20	0,94
Dinámico no lineal	No	Menos 6 meses	0,21	0,18	0,95

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 4. Estadísticos descriptivos de evaluación. Transacciones entre 4 y 10 años. 2010-2021

Método	Referencia	Eliminación	RMSE	MAE	HitRatio
Nelson-Siegel	No	No	0,21	0,18	0,95
	No	Menos 6 meses	0,17	0,15	0,97
	10 años	No	0,19	0,17	0,95
	10 años	Menos 6 meses	0,20	0,17	0,96
Svensson	No	No	0,14	0,12	0,97
	No	Menos 6 meses	0,12	0,10	0,98
	10 años	No	0,19	0,16	0,95
	10 años	Menos 6 meses	0,18	0,14	0,96
Dinámico lineal	No	Menos 6 meses	0,19	0,16	0,96
Dinámico no lineal	No	Menos 6 meses	0,18	0,15	0,96

Fuente: Elaboración propia.

negociaciones de bonos cero cupón con plazos al vencimiento menores a 3 meses y de bonos de tasa fija con plazos al vencimiento menores a 6 meses. Segundo, se excluyen las negociaciones cuyos rendimientos se consideran atípicos a partir de una comparación con la historia reciente y un criterio basado en percentiles.⁹ Cada semana se elige una curva de rendimientos entre el resultado que se obtiene a partir de los métodos de Nelson-Siegel y de Svensson, los cuales fueron explicados en la Sección 3.

La experiencia acumulada con el cálculo semanal de la curva de rendimientos ha permitido identificar que los métodos que se utilizan en la actualidad pueden generar curvas que no representan adecuadamente el comportamiento del mercado durante algunas semanales particulares. Por ejemplo, en momentos que se observan pocas negociaciones es difícil estimar la curva de rendimientos o algunos tramos de esta. De hecho, se han presentado semanas en las que se estiman rendimientos negativos, en los que en el tramo corto la curva cae y luego se incrementa muy rápidamente o en los que los rendimientos estimados para el largo plazo están muy por encima de los rendimientos observadas en el mercado. En esta sección, se replica el cálculo semanal de la curva de rendimientos en colones con los dos métodos que se utilizan actualmente¹⁰ y se compara con la estimación que se puede obtener a partir del cálculo dinámico no lineal propuesto en este documento.¹¹ A diferencia del caso en dólares, en la estimación se incluyen las negociaciones de bonos con plazo al vencimiento de hasta 15 años.

Adicionalmente, y debido a que actualmente se eliminan de la estimación negociaciones con rendimientos que se consideran extremos, se incluye una estimación de una curva dinámica no lineal en la que se eliminan cada semana negociaciones que presentan rendimientos extremos. Sin embargo, para la definición de cuales negociaciones son atípicas no se utiliza información histórica, como se realiza actualmente, sino que los valores extremos se definen solo a partir de la información de la misma semana.

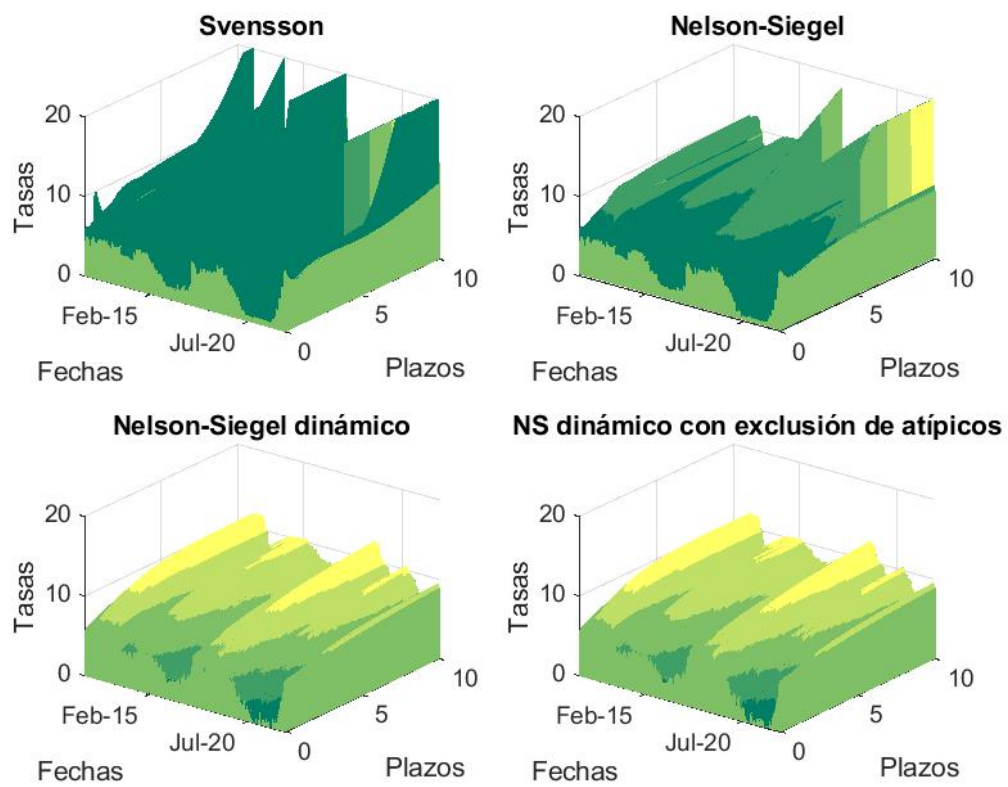
La definición de valores extremos se realiza de la siguiente forma. Cada semana se calcula la curva que se hubiera obtenido sin el uso de una observación en particular y se calcula el

⁹Para más detalles véase Lankester Campos y Ortega Oviedo (2021).

¹⁰La especificación se replica totalmente. Es decir, se utilizan las mismas exclusiones y la definición y uso de un punto de referencia de 10 años cuando no se observa ninguna negociación con plazo mayor a 9 años. Estas curvas no necesariamente coinciden con la publicación oficial del BCCR porque en algunas semanas la administración realiza ajustes en el cálculo con el fin de que la curva que se publica refleje mejor las condiciones del mercado.

¹¹Para esta estimación se utilizan todas las semanas que terminan entre el 31 de mayo de 2011 y el 30 de agosto de 2022.

Gráfico 8. Estimación de curva de rendimientos en colones con diferentes métodos. 2011-2022



Fuente: Elaboración propia.

error que dicha estimación hubiera generado para esa observación. Luego, se ordenan en términos absolutos estos errores y se eliminan el 5 % de observaciones que generaron, en valor absoluto, errores más altos. Además, a diferencia de la estimación base, no se eliminan de ante mano las negociaciones de corto plazo.

El Gráfico 8 muestra que las curvas de rendimiento que se obtienen con el método dinámico tienden a cambiar de forma más suave de una semana a otra y a mostrar una menor cantidad de comportamientos que se consideran que no reflejan el comportamiento del mercado.

El Cuadro 5 presenta el resultado de los criterios de evaluación descritos en la Sección 4. En este caso, las estimaciones con el método dinámico son las que presentan una mejor bondad de ajuste dentro de muestra. Además, en términos de monotonicidad presenta un resultado intermedio entre el método de Nelson-Siegel y el de Svensson. Finalmente, en ninguna de las semanas consideradas se obtiene una estimación de un rendimiento negativo para ningún plazo. Así, igual que con el caso en dólares, el método dinámico genera curvas de rendimiento que presentan un compromiso entre buen ajuste dentro y fuera de muestra. Una observación adicional, es que la estimación de la curva dinámica con la eliminación de valores extremos genera una mejor bondad de ajuste cuando se considera el criterio de proporción de aciertos, criterio que es menos susceptible a la presencia de valores extremos.

Cuadro 5. Estadísticos descriptivos de evaluación. Transacciones entre 0 y 10 años. mayo 2011- agosto 2022

Método	RMSE	MAE	Proporción de aciertos	Monotonicidad	Negatividad
Nelson- Siegel	0,47	0,33	0,82	0,89	0
Svensson	0,46	0,29	0,85	0,64	8
Dinámico	0,38	0,27	0,85	0,85	0
Dinámico sin extremos	0,39	0,27	0,86	0,85	0

Fuente: Elaboración propia.

C. Paridad descubierta de las tasas interés y expectativa implícita de variación cambiaria

La estimación de curvas de rendimientos en dólares y en colones a partir de metodologías análogas tiene la ventaja de que permite obtener un nuevo indicador de expectativa cambiaria en el mercado de deuda soberana costarricense.

Este indicador de expectativa de variación cambiaria se construye a partir de la paridad descubierta de las tasas de interés. La paridad descubierta de la tasa de interés es una condición de no arbitraje para agentes que pueden negociar en dos monedas distintas, pero no adquieren ninguna cobertura cambiaria. Esta condición dice que un agente económico que compra un bono a un plazo específico debe recibir el mismo rendimiento por la compra de un bono en colones que el rendimiento que obtendría por la compra de un bono en dólares una vez que se ajusta por la expectativa de variación cambiaria del agente, esto es:

$$(1 + i_t) = (1 + E_t \Delta TC_{t+j})(1 + i_t^{\$}),$$

donde i_t es la tasa de interés anual del bono en colones con plazo j , $i_t^{\$}$ es la tasa de interés anual de un bono en dólares con plazo j y $E_t \Delta TC_{t+j}$ representa la variación anualizada esperada del tipo de cambio entre el periodo t y el periodo $t + j$.

Si el mercado de deuda es muy profundo se podrían observar negociaciones de bonos con plazos a vencimiento similares en ambas monedas. En ese caso, es posible obtener una expectativa de variación cambiaria a partir de la comparación directa de los rendimientos de ambos bonos. Sin embargo, el mercado de deuda costarricense es poco profundo y tal comparación se puede realizar solo para algunas semanas y plazos. Para solventar este problema, en este trabajo, se calcula una expectativa de variación cambiaria a partir de los rendimientos calculados para cada plazo de acuerdo con la curva de rendimientos dinámica no lineal presentada con anterioridad. Esta serie es posible construirla a partir de junio de 2011.

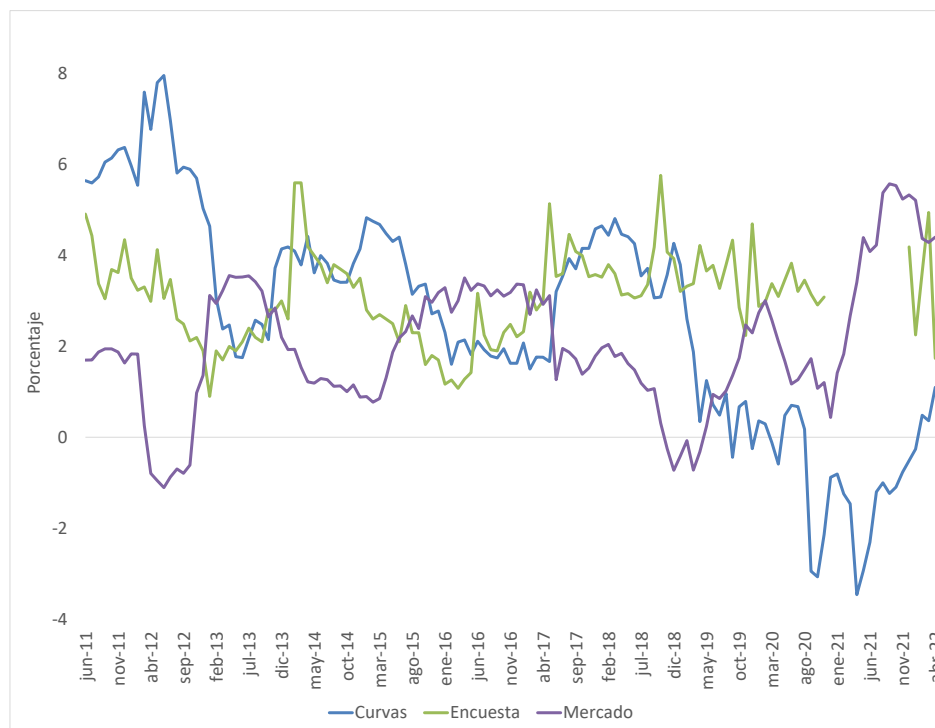
El Gráfico 9 muestra el comportamiento de las expectativas de variación cambiaria a 12 meses que obtiene el Banco Central de Costa Rica a partir de diferentes enfoques.¹²¹³ El gráfico

¹²La expectativa de variación cambiaria extraída a partir de las curvas de rendimiento corresponde a la estimación de la expectativa de la primer semana de cada mes debido a que esta semana es la que coincide de forma más cercana con la temporalidad en la que se expresan los otros dos indicadores, esto es, entre el último día del mes anterior y el plazo de la expectativa.

¹³La expectativa de variación cambiaria de mercado corresponde a la publicada por el Banco Central bajo ese nombre en el

muestra que todos los indicadores presentan un comportamiento dispar.¹⁴ En particular, es de resaltar que al final del periodo existe una amplia brecha entre el indicador que se obtiene a partir de las curvas de rendimientos y el indicador de mercado. Esta brecha se presenta a partir del momento en el que el Banco Central implementa una política monetaria expansiva para contrarrestar los efectos negativos que se presentaron en la economía debido a la pandemia provocada por el Covid-19.

Gráfico 9. Expectativas de variación cambiaria a 12 meses. 2011-2022



Fuente: BCCR y elaboración propia

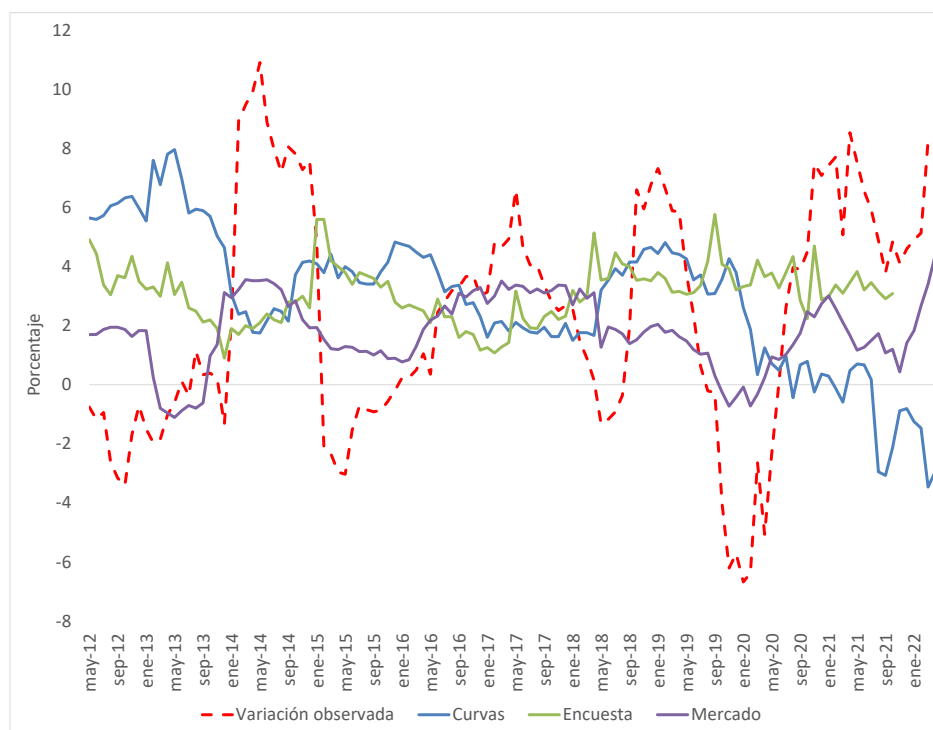
Dicha política monetaria expansiva generó mucha liquidez en colones en el mercado y presionó la tasa de interés de los instrumentos de deuda en colones a la baja, mientras que las tasas de interés de los instrumentos en dólares reaccionaron menos ante dicha política. Esto generó que la expectativa de variación cambiaria que se extrae a partir de las negociaciones tendiera a la baja como efecto directo de la medida de política monetaria, y no necesariamente como resultado de un cambio real en las expectativas de los agentes que negociaron instrumentos de deuda durante ese periodo.

sitio web de indicadores económicos y cuya metodología se describe en Segura-Rodríguez (2019).

¹⁴La Encuesta de Expectativas fue interrumpida por el BCCR entre diciembre del 2020 y noviembre de 2021. Esto explica la discontinuidad en el gráfico.

El Gráfico 10 muestra los diferentes indicadores de variación cambiaria a 12 meses y cómo se comparan con respecto a la variación cambiaria observada 12 meses después. Es decir, el gráfico muestra que tan bueno es el indicador de expectativa de variación cambiaria cuando se utiliza para pronosticar el valor futuro de esta variable. En general, la variabilidad de las variaciones observadas en el tipo de cambio ha sido mayor que la variabilidad de las expectativas de variación cambiaria.

Gráfico 10. Expectativas de variación cambiaria a 12 meses como pronósticos. 2012-2022



Fuente: BCCR y elaboración propia

Por otra parte, el gráfico muestra que la expectativa de mercado tiende a moverse en la misma dirección que la variación finalmente observada mientras que con los otros dos indicadores de expectativa no se presenta el mismo comportamiento. De hecho, al calcular la correlación entre los indicadores de expectativas y la variación cambiaria observada 12 meses después se obtiene que la correlación con la expectativa de mercado es positiva (0,62) mientras que es negativa con el indicador de la encuesta y con el obtenido a partir de las curvas de rendimiento (-0,34 y -0,14, respectivamente).¹⁵

¹⁵El análisis de correlaciones muestra el mismo patrón cuando se considera solo la variación esperada durante los primeros 6 meses y es negativa cuando se considera la variación esperada del tipo de cambio entre los meses 12 y 24 tanto con el indicador de mercado como a partir de la expectativa que se infiere de las curvas de rendimiento.

El Cuadro 6 presenta las medidas de bondad de ajuste del pronóstico que se obtienen a partir de los distintos indicadores de expectativa de variación cambiaria para expectativas con diferentes horizontes. El cuadro refuerza la conclusión que se obtiene del gráfico anterior en el sentido de que la expectativa de mercado es la que en el pasado ha generado un mejor ajuste cuando la expectativa se utiliza como pronóstico de la variación cambiaria futura. De hecho, este resultado no depende de que se utilice la expectativa de variación cambiaria en los próximos 12 meses.¹⁶

Cuadro 6. Medidas de bondad de ajuste del uso de indicadores de expectativas como pronóstico de variación cambiaria para diferentes horizontes. 2011-2022¹⁷

Horizonte	Indicador	Sesgo	EAM	RECM
0-6 meses	Curvas	0,06	2,65	3,31
	Encuesta	0,71	2,74	3,37
	Mercado	-0,39	2,12	2,98
0-12 meses	Curvas	0,09	4,38	5,40
	Encuesta	0,94	3,81	4,50
	Mercado	-0,55	2,82	3,40
12-24 meses	Curvas	1,38	3,21	4,11
	Mercado	0,77	2,93	3,85

Fuente: BCCR y elaboración propia.

¹⁶Esta conclusión se mantiene en términos generales aún si se considera solo la capacidad de pronóstico a partir de 2020.

¹⁷Para el horizonte de 24 meses no se incluye el indicador de la encuesta debido a que solo se cuenta con información disponible para un pequeño subperiodo del periodo en análisis.