BANCO CENTRAL DE COSTA RICA

Nota Técnica

04 | 2021

Estimación de la curva soberana *par* para Costa Rica

Valerie Lankester Campos

Róger Ortega Oviedo

Junio, 2021

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

Estimación de la curva soberana *par* para Costa Rica

Valerie Lankester Campos[‡]

Róger Ortega Oviedo[†]

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

Resumen

La estructura temporal de tasas de interés (ETTI) o curva de rendimientos es una herramienta que refleja la valoración por riesgo que tiene el mercado a cada plazo, y como tal, brinda información sobre las expectativas acerca de la política monetaria, la actividad económica y la inflación para el corto, mediano y largo plazo.

Existen diferentes metodologías para su estimación, sin embargo, para todas, se deben considerar las particularidades del mercado, en especial las características de los emisores, el número de negociaciones y la cantidad de instrumentos financieros disponibles.

El Banco Central de Costa Rica (BCCR) publica una curva de rendimientos soberana desde finales del 2015. Como parte de su compromiso con un proceso de mejora continua, este trabajo busca contribuir con algunos elementos sobre las características de los datos por considerar para el cálculo de esta herramienta. Para ello, se evalúan dos aproximaciones paramétricas de la relación entre el plazo y el rendimiento en el mercado de valores, el método de estimación propuesto por Nelson y Siegel (1987) y la extensión propuesta por Svensson (1994), así como las características del mercado bursátil y la metodología vigente antes de octubre de 2020.

Palabras clave: tasas de interés, curva soberana, deuda soberana

Clasificación JEL: E43, G12, G20, H63

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

[†] Este trabajo se inició mientras Róger Ortega era funcionario del departamento de Análisis y Riesgo. Sin embargo, para la fecha de publicación, él está laborando para otra entidad.

Estimating the *par* sovereign yield curve for Costa Rica

Valerie Lankester Campos[‡]

Róger Ortega Oviedo[†]

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

Abstract

The intertemporal interest rate structure financially signals the value at risk which the agents estimate for each period. As such, it provides information of expectations on monetary policy, economic activity and inflation for the short, médium and long run. There are different methodologies for its estimation, but still, al lof them, must consider the distinctive features of each market, primarily the issuers' characteristics, number of trades and the amount of available financial instruments.

The Central Bank of Costa Rica, BCCR, publishes on its website the estimation of a sovereign yield curve since 2015. Given its commitment to engage with a process of continuos improvement, this work intends to contribute to the actual methodology with different elements on data characteristics that enhance its estimation. For it, the parametric models of Nelson y Siegel (1987), and its extension, Svensson (1994), are assessed thoroughly, along with the spectific characteristics of Costa Rica's bond market and the methodology used until October 2020.

Key words: interest rate, yield curve, sovereign curve

JEL codes: E43, G12, G20, H63

[‡] Department of Economic Research, Economic Division, BCCR. Email address lankestercv@bccr.fi.cr

[†] This document was elaborated when Róger Ortega worked at the Central Bank, but he now works for other financial entity.

Contenido

1. Introducción 1

2. Marco referencial sobre la estructura temporal de tasas de interés 3

2.1 Marco teórico 3

2.2 Marco metodológico 5

2.2.1 Curva Nelson y Siegel (1987) 9

2.2.2 Svensson 10

3. La curva estimada por el Banco Central de Costa Rica 11

3.1 Metodología actual 11

3.2 Propuesta metodológica 14

4. Estimación propuesta 20

5. Publicación de la curva soberana costarricense 29

6. Curvas atípicas 29

7. Consideraciones finales 31

8. Referencias 32

Anexo 1. Diferencia entre la curva soberana par, la cero cupón y la forward 34

Anexo 2. Tasas forward 34

Anexo 3. Referencia legal sobre la curva de rendimientos 35

Anexo 4. Decreto Ejecutivo 39939 (TPRAS) 36

Anexo 5. Cantidad de negociaciones bursátiles por semana 36

Anexo 6. Criterio de exclusión de observaciones 37

Anexo 7. Diferencia entre rendimientos seleccionados entre 2012 y 2017 42

Estimación de la curva soberana *par* para Costa Rica[1]

1. Introducción

La estructura temporal de tasas de interés (ETTI) es una representación gráfica de la relación que existe en un momento en el tiempo entre la rentabilidad de un conjunto de instrumentos financieros y el plazo que resta para su vencimiento. Cuando los valores que se utilizan para su construcción son de un emisor soberano, sea un banco central o gobierno, se puede nombrar como ETTI soberana.

Para su estimación interesa aislar aquellos factores distintos al plazo de vencimiento que producen diferencias en las tasas de interés, por lo que es necesario que los títulos a partir de los cuales se genera posean las mismas características en cuanto al riesgo, la liquidez y aspectos impositivos.

La ETTI es una herramienta que refleja la valoración por riesgo que tiene el mercado a cada plazo, y como tal, brinda información sobre las expectativas acerca de la política monetaria, la actividad económica y la inflación para el corto, mediano y largo plazo. Por lo que su estimación es frecuente entre los agentes participantes del mercado de valores.

Sin embargo, para un país no hay una única ETTI. Se pueden estimar curvas de mercado que se diferencian por la forma en la que expresan sus rendimientos, pueden ser como cero cupón, par o *forward*[2].

En el BCCR, se estima la curva soberana par como parte de las referencias utilizadas para la determinación de los rendimientos que se ofrecen en las subastas de instrumentos de deuda, y también como medida de desempeño sobre su colocación. Lo anterior con base en el artículo 22 de las Políticas Generales para la Administración de Pasivos[3].

El artículo citado establece la evaluación anual del Tramo de Deuda por parte de la Junta Directiva del BCCR, para ello utiliza como referencia las tasas de interés a las que emisores similares hayan colocado, información que está contenida en la curva de referencia elaborada por el Departamento Análisis y Riesgo, según la metodología aprobada por la Junta Directiva.

Para la estimación de la relación entre el plazo y el rendimiento de los títulos valores se deben considerar las particularidades del mercado, en especial las características de los emisores, el número de negociaciones y la cantidad de instrumentos disponibles. Por ejemplo, en el mercado costarricense, si bien las emisiones de riesgo soberano predominan en la negociación diaria, no es usual que se realicen transacciones a todos los plazos tal que sea factible contar con suficientes observaciones de rendimiento a cada plazo de forma diaria.

---

[1] La metodología de estimación de la curva de rendimientos par soberana para Costa Rica que se presenta en este documento fue aprobada por la Junta Directiva del Banco Central de Costa Rica mediante artículo 8, del acta de la sesión 5963-2020, celebrada el 14 de octubre de 2020. Está vigente desde el 9 de diciembre de 2020.

[2] Se refiere como par a la estimación que considera el valor par al vencimiento, es decir, un precio igual a 100. El anexo 1 brinda más detalle sobre la diferencia entre estos tres tipos de curvas de rendimiento.

[3] Las políticas Generales para la Administración de Pasivos fueron aprobadas por la Junta Directiva del Banco Central de Costa Rica, mediante numeral I, literal A, Artículo 6, del acta de la sesión 5375-2008, celebrada el 23 de abril del 2008. Publicado en el Diario Oficial "La Gaceta" 93, del 15 de mayo del 2008. La última modificación fue el 19 de junio del 2019.

Para solventar esto es necesario tomar decisiones sobre cómo imputar rendimientos a determinados plazos, a partir de las negociaciones de instrumentos financieros, con diferentes vencimientos y rendimientos. Para que posteriormente se proceda a inferir el rendimiento asociado a todo el espectro de vencimientos.

Es decir, dadas las características del mercado bursátil costarricense, para poder tener rendimientos para horizontes desde un día hasta diez años, hay que interpolar a partir de las negociaciones existentes.

Si bien el BCCR publica una curva de rendimientos soberana desde finales del 2015[4], como parte del compromiso del BCCR con un proceso de mejora continua, este trabajo busca contribuir con algunos elementos sobre las características de los datos por considerar para el cálculo de esta herramienta. Para ello, se evalúan dos aproximaciones paramétricas de la relación entre el plazo y el rendimiento en el mercado de valores, el método de estimación propuesto por Nelson y Siegel (1987) y la extensión propuesta por Svensson (1994), así como las características del mercado bursátil y la metodología actual.

De hecho, dado que los títulos cero cupón en el mercado costarricense se concentran en el corto plazo (doce meses o menos) y no existe la posibilidad de negociar los cupones de los títulos soberanos, es que se estima una curva soberana *par*, que utiliza la información de los instrumentos con cupón.

En cuanto a la metodología de estimación, se propone cambiar el punto inicial de la curva para reflejar el costo de la liquidez a un día plazo con base en las operaciones del mercado integrado de liquidez, MIL, modificar el criterio de exclusión para valores extremos o de alta volatilidad intrínseca y, además, sólo utilizar un valor imputado (cuando no hay suficientes transacciones en el mercado) para reducir el grado de discrecionalidad.

Para definir estos cambios se examinaron los ajustes de las estimaciones como criterio de selección de la mejor aproximación, de acuerdo con la premisa de que esta curva soberana es una herramienta informativa, tanto para los participantes del mercado financiero como para el BCCR. Y dado este objetivo, también se propone que se publique su metodología y los parámetros resultantes de la estimación, con el fin de mejorar la información que se provee al público en términos de replicabilidad.

Este documento, en la siguiente sección (2), hace una breve referencia teórica que explica la relación entre los rendimientos de los instrumentos financieros y su plazo al vencimiento, para después repasar las diferentes metodologías para la estimación de una ETTI. Además, incluye un cuadro comparativo sobre la forma en que trece bancos centrales estiman la curva soberana de rendimientos, con el fin de ofrecer al lector un marco de referencia comparativa para el posterior análisis de la propuesta de estimación para el caso de Costa Rica, que se presenta en la sección 3. En la sección 4 muestra las estimaciones realizadas, así como sus medidas de ajuste y la visualización de los resultados desde el año 2012. Y antes de las consideraciones finales, en la sección 5 ofrece una propuesta para la publicación de este instrumento por parte del BCCR.

[4] Específicamente, se empieza a publicar el 09 de octubre del 2015. La nota metodológica sobre la estimación actual está en el sitio web del BCCR.

2. Marco referencial sobre la estructura temporal de tasas de interés

Esta sección explica las teorías detrás de la estructura esperada de la relación entre plazo y rendimiento, para después analizar las características metodológicas para la estimación de dicha estructura temporal y terminar con la ejemplificación de las especificaciones metodológicas de trece bancos centrales.

2.1 Marco teórico

Una curva de rendimientos sirve el propósito de ilustrar cómo cambian los rendimientos de acuerdo con el plazo al vencimiento de los instrumentos financieros que utiliza como insumos. Estos rendimientos son determinados por diferentes factores entre los que se puede mencionar la percepción de riesgo emisor, la política monetaria, las expectativas de los ahorrantes sobre inflación y actividad económica, y las preferencias por liquidez.

Normalmente, los instrumentos de más corto plazo tienden a tener una mayor relación con la tasa de política monetaria, donde ella existe, en tanto que los de más largo plazo consideran factores económicos que no se limitan a las condiciones del emisor, sino que incluyen las percepciones de riesgo e incertidumbre. Con base en estas ideas, hay al menos tres teorías que explican el razonamiento de la diferencia entre los rendimientos de corto y de largo plazo.

La hipótesis de las expectativas puras

Fue expuesta por Fischer (1930), mejorada por las contribuciones de otros autores, y en general, ha sido la base explicativa para la forma curva de la ETTI.

La relación entre las tasas de corto plazo actuales, las tasas de corto plazo esperadas y las tasas de largo plazo, es explicada por la teoría de las expectativas. En este pensamiento, por ejemplo, el ahorrante es indiferente entre tener un bono con un año al vencimiento que se renueva de forma anual hasta por diez años y tener uno a diez años y mantenerlo hasta el vencimiento, porque son sustitutos perfectos. Por lo que, si la parte corta de la curva tiene pendiente positiva, refleja que existe la expectativa de que la tasa de interés aumente.

Entonces, en un contexto de ahorrantes neutrales al riesgo, los cuales no se encuentran sujetos a un horizonte específico ni toman en cuenta el riesgo de refinanciamiento, la forma de la curva se determina en función de las expectativas que tienen sobre la evolución de las tasas de interés. La pendiente de la curva, por tanto, refleja lo que el mercado espera que pase con las tasas de interés.

Con base en esta idea, parte de las contribuciones a esta hipótesis es la consideración de la prima por riesgo; cuanto más largo sea el plazo al vencimiento, mayor va a ser la incertidumbre y, por tanto, mayor es la prima por riesgo que espera el ahorrante ver reflejada en la tasa de interés del instrumento. Entonces, si se supone una relación positiva entre la prima por riesgo e incertidumbre, la curva soberana tendría pendiente positiva. Si la prima por riesgo fuera constante, cambios en la pendiente de la curva proyectarían cambios en la trayectoria de las tasas de interés.

Además, se esperaría que las tasas de largo plazo varíen menos, en promedio, que las tasas de los instrumentos financieros de corto plazo, y que la autoridad monetaria no pueda influir de manera significativa sobre las tasas de largo plazo por medio de operaciones de

mercado abierto. A pesar de ello, la influencia que tiene esta autoridad en los rendimientos de corto plazo puede cambiar el nivel y pendiente de la curva.

Una de las críticas a esta teoría es que no considera que hay diferentes riesgos de acuerdo con el plazo de la inversión financiera. Y en general, (esta teoría) se queda corta al sostener que las expectativas sobre las tasas de interés son el único factor para definir la forma de la curva.

Hay evidencia empírica de que ese no siempre es el caso; se deben considerar factores que afectan la prima por riesgo y la posible convexidad[5] de la forma de la curva por las negociaciones del mercado. Sin embargo, se reconoce que su importancia reside en señalar la función que tienen las expectativas para determinar cambios en la forma de la curva de rendimientos.

Teoría de la preferencia por la liquidez

Esta teoría parte de los aportes realizados por Hicks (1939), en donde se establece que los bonos con diferentes vencimientos son sustitutos imperfectos, y existe un premio por riesgo de liquidez.

Así, las primas por riesgo son siempre positivas al suponer que los agentes son aversos al riesgo y que, por tanto, siempre prefieren ahorrar en el corto plazo que en el largo plazo. Esta preferencia obedece a que, si llegan a necesitar liquidez, su flujo sería afectado por la volatilidad e incertidumbre de los retornos de instrumentos de largo plazo.

Por tanto, los agentes económicos ahorrarán en instrumentos de largo plazo solamente si reciben un rendimiento adicional que compense su aversión al riesgo. El premio será una función creciente del plazo al vencimiento de los instrumentos de deuda, por lo que la curva podría exhibir una pendiente positiva la cual puede mantenerse aun cuando la expectativa es de reducción de las tasas de interés.

Mercados segmentados

Para Culberston (1957), los mercados de bonos de diferente vencimiento no son sustitutos, se analizan por separado. Este autor supone que los agentes económicos son aversos a ahorrar en segmentos diferentes a su ambiente natural (hábitat preferido). Un ejemplo es la preferencia de los fondos de pensión por instrumentos financieros con vencimiento de largo plazo.

En este marco, se crean sub-mercados para cada plazo de un instrumento, en lugar de existir un único mercado. Cada sub-mercado tiene entonces, una dinámica independiente y particular para determinar los rendimientos y precios, y por ello, la ETTI resultante puede ser una función discontinua formada por los equilibrios de las colocaciones de recursos de cada uno de los diferentes fondos con distintos plazos al vencimiento. Las tasas de interés reflejan entonces, las condiciones de mercado en cada horizonte de maduración.

No obstante, Reilly y Brown (1997) mostraron que los agentes económicos están dispuestos a cambiar el plazo de sus ahorros, al pasar de un segmento de la curva a otro, en función de un rendimiento adicional (ofrecido), lo cual deja al enfoque teórico de los sub-mercados con poco sustento empírico.

[5] Se refiere a la relación que existe entre el rendimiento de un título valor y su precio en el mercado. La convexidad de un bono es la pendiente de la curva que relaciona precio y rendimiento. A igualdad de precios se preferirá siempre el bono más convexo, ya que permite que si los tipos de interés disminuyen se incremente más el valor y análogamente, si los tipos de interés aumentan disminuye menos.

Teoría del hábitat preferido

Modigliani y Sutch (1966) desarrollaron su teoría con base en la idea de que la ETTI refleja expectativas de tasas de interés y un premio que depende de la oferta y demanda por recursos a distintos plazos. Ellos afirman que, si bien los ahorrantes poseen un hábitat preferido según su aversión al riesgo que los motiva a mantenerse en un rango temporal, dicha aversión no es absoluta.

Es decir, si hay un desequilibrio entre oferta y demanda de fondos para un determinado plazo, algunos demandantes y oferentes de recursos podrían cambiarse hacia otros plazos si consideran que las tasas de interés son más convenientes: la tasa de interés que compense el riesgo de abandonar el hábitat (temporal) del agente económico. Por lo tanto, la ETTI refleja la tasa esperada para un determinado plazo, más un premio (castigo) por demanda y oferta para ese plazo en específico.

Con base en esto, la ETTI puede tener cualquier pendiente e incluso que sea cambiante. Ante un exceso de oferta por un instrumento de cierto plazo, se ofrecería una prima adicional que motive la demanda por parte de nuevos ahorrantes. De manera contraria, ante un exceso de demanda del activo, su rendimiento tendería a caer, por lo que la prima sería negativa. Entonces, algunos agentes que ahorren en instrumentos de cierto plazo pueden afirmar que la rentabilidad que ofrece el activo está fuera de sus expectativas, y, por tanto, buscarían otro que no ofrezca una prima negativa, aunque esto genere que se ubiquen fuera de su horizonte preferido.

2.2 Marco metodológico

Con base en lo revisado en las referencias teóricas anteriores, se sustenta que el ahorrante al tomar la decisión de comprar o vender instrumentos de deuda como bonos soberanos, incluye en el precio de dicho instrumento, su expectativa de inflación, de tasas de interés y una valoración de riesgos, así como el valor presente de los flujos futuros. De ahí la importancia para los formuladores de política monetaria el estudiar la ETTI y sus cambios.

Además, movimientos en los precios y en los volúmenes transados de instrumentos financieros afectan las decisiones de gasto por medio del efecto que tienen sobre la confianza en la economía y la riqueza agregada.

La ETTI incorpora la valoración de los agentes económicos sobre el costo del dinero en el tiempo (lo cual incluye inflación), así como su percepción sobre la proyección de la actividad económica. Los movimientos y cambios de la ETTI en nivel, pendiente y curvatura, también reflejan la respuesta del mercado a diferentes choques. Si el cambio es en el nivel, se indica que los movimientos en las tasas de interés son de la misma magnitud para todos los vencimientos, mientras que, si es en la pendiente, muestra un cambio en la relación relativa entre las tasas de corto y las de largo plazo. Y si es en la curvatura, lo que se refleja son cambios en su plazo medio.

Para estimar una curva de rendimientos, existe una diversidad de métodos y la literatura empírica ha buscado definir cuál es el que mejor representa el mercado respectivo de acuerdo con el objetivo del instrumento y con base en dos tipos de aproximaciones: los modelos paramétricos y los no paramétricos.

Los primeros realizan la estimación de la curva a partir de una muestra de rendimientos o precios mediante un proceso que busca replicar la forma funcional de la estructura de tasas

de interés. Los principales modelos desarrollados dentro de esta categoría son los de Nelson-Siegel (1987), NS, Svensson (1994), NSS, en donde se estiman parámetros y los modelos polinomiales, *splines*[6].

Los modelos no paramétricos[7], buscan ajustar los datos observados y estiman la curva con base en una función diferencial estocástica. Esta función establece una relación teórica entre las tasas de corto plazo y el resto de las tasas de interés, con lo que se infiere toda la curva a partir del segmento de corto plazo.

La estimación de la curva mediante el ajuste de datos observados en el mercado se remonta a David Durand (1942), quien estimó una curva para la economía francesa y fue McCulloch (1975), quien propuso posteriormente, aproximar la función de valor presente a los datos observados mediante el uso de *splines* polinómicos.

Es posible comparar los resultados de las estimaciones obtenidas mediante estas técnicas para decidir cuál, entre ellas, tiene el mejor ajuste a los datos observados. Sin embargo, existen características de mercado que pre-determinan las técnicas viables.

La forma de estimación también depende del objetivo de la curva, porque puede existir una relación inversa entre el "suavizamiento" de la curva y su grado de ajuste (un mayor suavizamiento reduce el grado de ajuste), esto a partir de la forma de interpolación entre los puntos que se utilice.

En la literatura empírica, los modelos paramétricos son los más utilizados debido a que han demostrado un mejor desempeño, aunque sus parámetros estimados, a diferencia de los modelos dinámicos, son estáticos y, por tanto, válidos solo para la fecha determinada de estimación.

Los modelos *spline* ajustan segmentos de la curva para capturar la forma de la ETTI, por lo que la literatura considera estos modelos como adecuados para mercados con una profundidad elevada y una alta transacción de instrumentos representativos de deuda, para que las observaciones sean suficientes para cada intervalo de la curva. Es decir, su validez depende de la cantidad de observaciones en los distintos segmentos de la curva y la robustez de sus estimaciones depende críticamente de la muestra de datos disponible y del número de intervalos en que se divide la curva (nodos).

El propósito de la estimación de una curva de rendimientos con una metodología como esta, es que los datos definan la estructura entre plazo y rendimiento. Sin embargo, cuando hay pocos datos la estructura no se captura de las observaciones. Por lo que este método no es aconsejable para mercados poco profundos como el costarricense.

Según Pereda (2010), para Perú los modelos paramétricos tienen mejor ajuste. En su estudio concluye que la estimación del modelo de Svensson tiene el mejor ajuste, sin

[6] Supóngase que se quiere estimar una función, pero el investigador encuentra que puede aproximar dicha función por partes por lo que usa diferentes polinomios para diferentes segmentos de la función (curva). Por tanto, en vez de tener una función única para todos los segmentos de la curva que desea estimar tiene una estimación para cada segmento. Al tener "segmentos" en vez de una única línea, se hace la analogía gráfica de que cada segmento o tramo de la curva se estima con una "línea específica" para ese tramo. Por ser una línea que cubre una parte pequeña de la curva, se le denomina "fragmento o astilla", de ahí el uso de la palabra "spline" del inglés. Así, se entiende por un *spline* matemático una curva formada por astillas o segmentos. La forma de estimación es con base en una interpolación segmentada, en donde cada segmento (o fragmento de la curva) es aproximado por un polinomio (generalmente, por ajuste, se escoge el polinomio de menor grado para cada uno de los segmentos).

[7] Para estos modelos algunos de los métodos de suavizamiento utilizados son: la regresión de Kernel, polinomios locales, *splines* suavizados, supersuavizador de Friedmann y redes neuronales.

embargo, es más inestable cuando no se dispone de datos suficientes para los diferentes plazos de la curva de rendimiento —por la ausencia de emisiones o de precios cuando la negociación en el mercado secundario es incipiente— en cuyo caso es preferible el uso del modelo de Nelson y Siegel (NS).

Por otro lado, Anderson, Breedon, Deacon, Derry y Murphy (1996) compararon cuatro metodologías para el Reino Unido y encontraron que la forma de las curvas no difería en gran manera, sin embargo, la tasa a futuro (*forward*[8]) sí variaba entre las estimaciones. En los modelos de NS y Svensson, las tasas a futuro tendían de manera suave hacia el largo plazo, mientras que en el modelo de McCulloch las tasas futuras fluctuaban de acuerdo con el vencimiento, pues aumenta la pendiente con el plazo al vencimiento. Finalmente, la curva estimada con el método de Mastronikola (1991) mostró un aplanamiento en el largo plazo, con una curvatura más pronunciada que, la curva resultante de las metodologías de NS y Svensson. En este caso, la principal diferencia está en que en los paramétricos, las tasas a futuro (*forward*) tienden de manera suavizada hacia una tasa de largo plazo y sus curvas estimadas no identifican de manera precisa las distorsiones en plazos al vencimiento específicos o bonos individuales.

Por su parte, Bliss (1996) examina y compara cinco métodos diferentes: el de Fama-Bliss (con y sin suavizamiento), el de McCulloch, el de Fisher, el de Nychka y Zervos (1995), FNZ, así como el de Svensson. En sus resultados muestra que el método de FNZ no se desempeña tan bien como los otros en la parte de corto plazo y es susceptible a errores de medición en los datos, y concluye que los modelos más parsimoniosos son el Fama-Bliss y el Svensson, así como el spline cúbico (McCulloch) que tiene un desempeño similar.

En términos generales, de acuerdo con los estudios comparativos mencionados, así como con Nymand-Andersen (2018), debe tomarse una decisión entre el factor de suavizamiento y el grado de ajuste según el modelo utilizado pues cuanto mayor es el factor de suavizamiento menor es el ajuste del modelo a los datos. Entonces, es necesario ponderar las características entre aquellos que son muy flexibles, los que "sobre ajustan" (*over fit*) los datos, los que toman los valores extremos como la norma y los que son más parsimoniosos. Por ende, la decisión final sobre la combinación adecuada de ajuste y suavizamiento depende del objetivo final que tenga el uso de la curva de rendimientos.

Por ejemplo, una curva estimada de forma paramétrica cumple el propósito de analizar los determinantes fundamentales, la estructura de las expectativas de mercado y sus movimientos subyacentes, mas no debería pretender recoger la dinámica de cada uno de los puntos observados. Una curva estimada con interés de captar las volatilidades transitorias de emisiones específicas, o que pase por una alta proporción de los valores observados, resultaría de otra metodología de estimación.

El siguiente cuadro (1) pretende ser ejemplo de los diferentes métodos de estimación que utilizan otros bancos centrales para la estimación de la curva soberana.

[8] Se puede definir como la tasa de interés a plazo. Estas tasas representan el tipo de interés en un momento futuro en el tiempo y para un cierto plazo. El anexo 2 brinda el detalle matemático de su definición.

Cuadro 1: Detalles de la estimación de curva de rendimientos por diferentes bancos centrales

Banco Central	Método de estimación	Observaciones	Mínimo plazo considerado	Ajuste por distorsiones impositivas	Espectro de vencimientos considerado
Alemania	Svensson	Rendimientos	3 meses	No	1 a 10 años
Bélgica	Svensson o Nelson-Siegel	Precios ponderados	bonos del Tesoro: pocos días otros bonos: 1 año	No	De un par de días hasta 16 años
Canadá	Merrill Lynch Exponential Spline	Precios ponderados	Letras: 1 a 12 meses Bonos: 12 meses	Sí, se hace exclusión de bonos	3 meses hasta 30 años
Estados Unidos	*Splines* suavizados (dos curvas)	Letras: precios ponderados	-	No	hasta un año
		Bonos: precios	30 días	No	de 1 a 10 años
Finlandia	Nelson-Siegel	Precios ponderados	1 día	No	1 a 12 años
Francia	Svensson o Nelson-Siegel	Precios ponderados	Letras del tesoro: todas, Notas: 1 mes bonos: 1 año	No	hasta 10 años
Italia	Nelson-Siegel	Precios ponderados	tasas de mercado de dinero y tasa Libor de 1 a 12 meses; bonos: 1 año	No	hasta 30 años
Japón	*Splines* suavizados	Precios	1 día	Sí, se ajustan los precios de las letras	1 a 10 años
Noruega	Svensson	Rendimientos	Tasas de mercado de dinero: 30 días; bonos: 2 años	No	hasta 10 años
España	Svensson	Precios ponderados	1 día	Sí	hasta 10 años
Suecia	*Splines* suavizados y Svensson	Rendimientos	1 día	No	hasta 10 años
Suiza	Svensson	Rendimientos	Mercado de dinero: 1 día; bonos: 1 año	No	1 a 30 años
Reino Unido	VRP (nominal)	Rendimientos	1 semana (tasa repo)	No	alrededor 30 años
	VRP (real/inflación implícita)	Rendimientos	1.4 años	No	alrededor 30 años
	VRP (curva de pasivos del banco)	Rendimientos	1 semana	No	alrededor 30 años

Fuente: BIS papers No.25

Con base en lo revisado y dado que el objetivo de este trabajo es estimar la curva soberana par como una herramienta informativa para los agentes de la economía y para el BCCR, así como la característica de poca profundidad[9] del mercado bursátil costarricense, se analiza la estimación de un conjunto de parámetros que replica una forma funcional de la curva de rendimientos (metodologías de Nelson-Siegel y Svensson) [10].

2.2.1 Curva Nelson y Siegel (1987)

Los autores utilizaron un modelo de tiempo continuo para modelar la estructura de la tasa instantánea a futuro[11] con una especificación flexible, suavizada, parsimoniosa y simple. Para ello, definen un modelo paramétrico que especifica una forma funcional para la tasa futura instantánea, $r(m)$, que es función del tiempo al vencimiento (m).

El modelo utiliza la capitalización continua para desarrollar las fórmulas necesarias para su implementación y supone que la tasa a futuro instantánea es la solución a una ecuación diferencial de segundo orden con dos raíces iguales. Con base en la teoría de las expectativas, si las tasas de hoy son generadas por una ecuación diferencial entonces las tasas a futuro, al ser predicciones, serán la solución a dichas ecuaciones.

Por tanto, si $r(m)$ es la tasa a futuro con vencimiento en el plazo de madurez m, se busca resolver la siguiente ecuación diferencial:

$$r(m) = \beta_0 + \beta_1 e^{-m/\tau} + \beta_2 \left[(m/\tau) e^{-m/\tau}\right] \quad (1)$$

Donde τ es una constante temporal asociadas a la ecuación y β_0, β_1 y β_2 son los parámetros del modelo determinados por las condiciones de inicio[12]. Esta ecuación genera una serie de curvas a futuro que son monotónicas, con joroba o forma de S, según sean los valores de β_1 y β_2. El rendimiento al vencimiento de un instrumento, $R(m)$, va a ser el promedio de sus tasas futuras

$$R(m) = 1/m \int_0^m r(x)dx$$

La curva de rendimientos con base en este modelo también puede tener las formas mencionadas y se obtiene al integrar (1) de 0 hasta m y dividir por m, lo que resulta en

$$R(m) = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{1 - e^{-m/\tau}}{m/\tau}\right) + \beta_2 \left(\frac{1 - e^{-m/\tau}}{m/\tau} - e^{-m/\tau}\right) \quad (2)$$

El valor límite de $R(m)$ conforme m crece es β_0 y conforme m disminuye es $\beta_0 + \beta_1$.

Por tanto,

---

[9] Referirse a la sección 3, gráfico 4, para detalle de la cantidad de operaciones por plazo como ejemplo ilustrativo de la razón por qué se podría considerar el mercado bursátil costarricense como poco profundo.

[10] No se consideran los modelos de *splines* porque, a pesar de que son comúnmente utilizados en otras latitudes, requieren de una cantidad mayor de datos. Para el mercado costarricense que cuenta en algunos momentos con muy pocas observaciones, es casi inmediato que se dé un sobreajuste que invalidaría las predicciones fuera del rango de las observaciones.

[11] Se refiere a la tasa "*forward instantánea*", que es una tasa forward cuyo vencimiento x se da un periodo infinitesimal luego de transcurrir m periodos. Es decir, x tiende a m. El anexo 2 brinda otra explicación de esta tasa de interés con mayor detalle.

[12] La estimación de los parámetros de este modelo requiere asignar valores iniciales.

β_0: es un valor asintótico no negativo, obtenido por el modelo que determina la tasa a la que converge la curva. Se puede interpretar como la tasa de largo plazo esperada.

β_1: determina la intersección de la curva con el eje. Es el margen entre la tasa de corto plazo y la de largo plazo. El signo de este parámetro indica si la tasa de corto plazo de la curva estará por abajo (-) o por arriba de la tasa de largo plazo (+).

β_2: es un determinante de la concavidad y dirección de la joroba. Si β_2 es positivo, ocurre una joroba y si es negativo, ocurre una forma "U".

m/τ: es un parámetro no negativo, representa la no linealidad del modelo y determina la posición de la joroba, así como la velocidad de ajuste a la que las tasas de corto y mediano plazo convergen a su tasa de largo plazo.

2.2.2 Svensson

El modelo de estimación de Svensson (1994) se puede decir es una extensión al modelo NS. Es un modelo paramétrico que especifica una forma funcional para la tasa futura instantánea $r(m)$, que es función del tiempo al vencimiento t, que agrega una segunda joroba a la especificación de NS.

$$r(m) = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{1-e^{-m/\tau_1}}{m/\tau_1}\right) + \beta_2 \left(\frac{1-e^{-m/\tau_1}}{m/\tau_1} - e^{-m/\tau_1}\right) + \beta_3 \left(\frac{1-e^{-m/\tau_2}}{m/\tau_2} - e^{-m/\tau_2}\right) \quad (3)$$

Donde la especificación de los parámetros es la misma que en el caso de NS, pero agrega:

m/τ_2= es un parámetro que debe ser positivo, especifica la posición (temporal) de la segunda joroba (o forma "U") en la curva.

β_3 = es, en forma análoga a β_2, un determinante de la concavidad y dirección de la segunda joroba o forma "U".

El modelo entonces debe estimar 6 parámetros.

Para ambos casos, el modelo de NS y el de Svensson, la función objetivo es hacer mínima la raíz promedio del error cuadrático de los rendimientos; es decir, el objetivo es obtener la menor suma de las diferencias (errores) al cuadrado entre los rendimientos observados y los estimados.

$$\min \sqrt{\sum_{t=1}^{n} (Y_t - \widehat{Y_t})^2} \quad (4)$$

En este caso,

Y_t: es el rendimiento observado del instrumento en el mercado en el periodo t.

$\widehat{Y_t}$: es el rendimiento estimado del instrumento con base en la metodología de NS o la de Svensson.

3. La curva estimada por el Banco Central de Costa Rica

El BCCR estima una curva de rendimientos soberana desde hace más de una década con el propósito de que la información de mercado que ahí se refleja se considere dentro del proceso de toma de decisiones relacionadas con su participación en los mercados bursátiles y de deuda.

De hecho, desde el 8 de julio del 2009, como parte de la Política de Administración de Activos y Pasivos, se definió una "Metodología para Fijar las Tasas de Colocación de los Pasivos con Costo del BCCR" que utiliza la estimación de la curva soberana[13]. Su propósito es tener una referencia objetiva de las tasas de interés a las que otras entidades, con un perfil crediticio similar, son capaces de efectuar captaciones en el mercado. Con esto, la administración dispone de información de mercado para colocar los instrumentos financieros del Banco y, adicionalmente, medir su desempeño.

En un inicio, la curva se calculaba con el modelo Nelson Siegel (NS) y la tasa de depósitos "*overnight*", DON, como punto de inicio. Pero en el año 2015, con el fin de mejorar la metodología utilizada, la Junta Directiva autorizó[14] y aprobó algunos cambios al procedimiento de estimación. El propósito fue proveer una mejor referencia para el sector más líquido de la curva y brindar una mayor estabilidad para las tasas de referencia del sector menos líquido, como es el caso de los plazos superiores a diez años (DAP, 2015).

Es a partir del 09 de octubre de ese año, que el BCCR publica por primera vez en su sitio web una estimación de la curva de rendimiento soberana en colones para Costa Rica, con lo que proporciona información de referencia a los agentes económicos para la toma de decisiones de ahorro en el mercado financiero local. Desde entonces, dicha estimación se realiza semanalmente y se procede a su publicación.

Como parte del proceso de mejora y también como respuesta al requerimiento de auditoría interna[15], el objetivo de la siguiente sub sección es hacer referencia a la metodología actual y dar una propuesta, con base en su análisis, sobre criterios que mejoran el ajuste de la estimación de la curva de rendimientos *par* con instrumentos de riesgo soberano.

3.1 Metodología actual[16]

De acuerdo con el documento metodológico DAP (2015), la modelación de la curva de rendimiento pasa por dos procesos fundamentales. En el primero se realiza la selección de

[13] Considera instrumentos financieros de emisores soberanos.
[14] Sesión 5703-2015 del 13 de octubre del 2015: sobre la directriz 18-H (metodología para la fijación de tasas de captación e inversiones financieras de entidades públicas del Estado (grandes depositantes)): las tasa de interés no podrán ser superiores a las de referencia vigente. Deberán utilizar como tasa de referencia las tasas de interés netas de la Curva de Rendimiento soberana divulgadas en la página web del BCCR. Para mayor detalle referirse al anexo 3.
[15] Recomendación AI-0087-2017: Coordinar con la División Gestión de Activos y Pasivos el traslado al Departamento Estadística Macroeconómica la ejecución de las actividades relacionadas con el cálculo y publicación de la curva de rendimiento soberana (conforme las funciones asignadas al Área Estadísticas Monetarias y Financieras en la Estructura de Organización y Funciones del Banco Central), y gestionar la reubicación de los procedimientos operativos correspondientes en el Sitio de Calidad, como parte del Proceso Producción y Divulgación de Estadísticas Macroeconómicas.
[16] La metodología que se describe en este apartado estuvo vigente hasta el 8 de diciembre de 2020. Para efectos de este documento, en adelante se hace referencia a ella como metodología actual.

los datos (elegir pares de plazo al vencimiento y rendimiento negociados), que representen adecuadamente el mercado y riesgo al cual la curva hace referencia. En el segundo, se busca un procedimiento de cálculo que permita generar una referencia para los demás plazos de la curva a partir de los datos observados.

Con base en la información de las transacciones de bonos soberanos en el mercado primario y secundario, el BCCR hace una selección de observaciones de acuerdo con los siguientes criterios:

Emisores. Dentro de los emisores públicos se puede distinguir entre los títulos emitidos por el Banco Central de Costa Rica, los del Ministerio de Hacienda y los del resto del sector público, con base en la garantía estatal que representan.

Las entidades que pertenecen al resto del sector público tienen una garantía indirecta y que se percibe como implícita. Este grupo incluye entidades como el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), la Refinadora Costarricense de Petróleo (RECOPE), y los bancos públicos. Dado que los títulos emitidos por entidades de este grupo se "perciben como de una menor calidad crediticia"[17], no se incluyen en el cálculo de la curva; solamente se incluyen las negociaciones de los intrumentos emitidos por el BCCR y el Ministerio de Hacienda (MH).

Tipos de instrumentos. El MH y el BCCR emiten cuatro tipos de instrumentos en el mercado local: cero cupón[18], tasa fija, tasa variable y tasa real. Los dos últimos, son menos negociados en el mercado bursátil costarricense por lo que generalmente su tasa de interés tiene un margen sobre la de los instrumentos tasa fija y cero cupón a plazos equivalentes. Por ello, se excluyen en la estimación de la curva soberana. Por lo tanto, sólo se incluyen las emisiones estandarizadas de MH y BCCR con cupones tasa fija o sin cupones.

Además, se excluyen los títulos de bonos con cupones cuyo plazo al vencimiento es menor a los 9 meses, dado que los instrumentos cero cupón representan en mejor medida este sector de la curva[19].

Mercado. Dado que no se encontró evidencia estadística de que exista una diferencia significativa entre los rendimientos de los títulos negociados en mercado primario, por medio de subastas, o en mercado secundario, se consideran las negociaciones de los dos en función de la "transaccionalidad" (bursatilidad) y rendimientos que presentan.

Monto de las transacciones. Se incluyen únicamente aquellas que se realicen por un valor transado que sea superior al percentil 40 e inferior al percentil 99 de los montos negociados durante el semestre inmediatamente anterior[20]. Con esta restricción se busca esencialmente incorporar la mayor cantidad de negociaciones que se realicen alrededor de la media (representan mayoritariamente al mercado).

---

[17] Por lo general son empresas públicas que generan ingresos mediante la venta de servicios lo cual en última instancia determina su capacidad de pago, pero que no tienen una garantía contractual del estado o la capacidad de generar ingresos mediante tributos.

[18] Los bonos cupón cero no tienen un interés periódico. Su rentabilidad se obtiene de la diferencia entre el precio de adquisición y el precio al vencimiento del bono.

[19] El documento DAP(2015) menciona que los títulos cero cupón, son muy similares entre ellos, en cuanto a los precios transados, rendimientos y valor de emisión. Por otra parte, los bonos con cupones para plazos residuales al vencimiento similares, especialmente menores a los 9 meses, presentan algunas diferencias por la diversidad de cupones y fechas en las que fueron emitidos.

[20] Para el cálculo de estos percentiles se utiliza como referencia el valor transado "sucio" (considera intereses). Se argumentó que con dicho criterio se busca limitar la entrada de puntos cuyo precio esté fuera de mercado, ya sea porque su volumen es muy elevado, o bien porque su volumen sea muy bajo (DAP, 2015).

Periodicidad de cálculo. Semanalmente se procede a realizar el cálculo; se seleccionan las transacciones realizadas en la semana inmediatamente anterior, definida de miércoles a martes, con el fin de capturar la interacción entre el mercado primario y secundario, dado que las subastas de BCCR y MH se realizan por lo general los lunes. Adicionalmente, se requiere de un número mínimo de negociaciones para la generación de la curva, de manera que, la estimación se realice con suficiente información y así evitar que por eventos idiosincráticos, unas pocas transacciones determinen la curva en una semana particular.

Tasa de muy corto plazo. Como punto de inicio de la curva o tasa de muy corto plazo (*overnight*), se utiliza la Tasa de la Facilidad Permanente de Depósito (FPD) a un día plazo que se ofrece en el Mercado Integrado de Liquidez (MIL). La tasa de FPD, representa el límite inferior del corredor de tasas de interés del MIL, y se establece mediante acuerdo de Junta Directiva con referencia a la Tasa de PolíticaMonetaria (TPM). Se considera que representa la tasa de menor plazo disponible para colocar recursos en un instrumento emitido por un emisor soberano.

Plazos. Las transacciones en el mercado de deuda soberana se concentran mayoritariamente en plazos menores a los 11 años, con colocaciones ocasionales alrededor de los 15 años. Para propósitos metodológicos, el tramo de la curva con plazos menores a los 10 años se considera como el sector de corto/mediano plazo, mientras que el tramo con plazos superiores, hasta los 20 años, se define como el sector de largo plazo. Dado que ambos sectores de la curva tienen una liquidez distinta, se utilizan dos enfoques diferentes para la estimación[21]. Adicionalmente, para puntos específicos del sector corto/mediano de la curva, se añaden tres puntos imputados basados en negociaciones recientes con el fin de evitar volatilidad no deseada generada por la ausencia de transacciones.

Ausencia de observaciones para algunos plazos. Se implementó una metodología que permite "imputar" tres puntos "críticos", de forma que la ausencia de negociaciones no genere volatilidad espuria. Concretamente, la metodología permite incorporar de manera permanente tres puntos imputados para los plazos de 6, 8 y 10 años, de la siguiente manera:

- Valor imputado a 6 años: se estima mediante una regresión de Mínimos Cuadrados Ponderados (MCP) con base en las negociaciones realizadas en un rango de 5 y hasta 7 años plazo, durante las cuatro semanas previas al día del cálculo. Se pondera de acuerdo con un esquema de rezagos distribuidos; en donde se le otorga más peso a las observaciones más recientes.

- Valor imputado a 8 años: se repite el proceso anterior pero para las negociaciones realizadas alrededor de los 8 años (en un rango desde 7 y hasta 9 años plazo), adicionalmente incorpora el punto imputado de 6 años recién calculado.

- Valor imputado a 10 años: se repite el proceso pero para las negociaciones realizadas alrededor de los 10 años (en un rango de 9 y hasta 11 años plazo), adicionalmente incorpora el punto imputado de 8 años calculado en el punto anterior; con esta metodología se asegura la coherencia en la forma de la curva.

[21] Además, la curva sólo se publica en la página web del BCCR hasta 10 años. Después de este vencimiento, se publica una referencia para 15 años pero no como parte de la curva.

La elección de estos puntos no es permanente. De acuerdo con la actividad transaccional de las emisiones de MH y de BCCR, se definirá de forma anual la necesidad de contar con ellos, o bien, si se trasladarían los puntos a otros sectores de la curva.

El siguiente cuadro (2) presenta a manera de resumen, los criterios metodológicos vigentes.

Cuadro 2: Criterios para la selección de datos de acuerdo con la metodología actual

Criterios metodológicos	**Metodología actual**
Modelo paramétrico	Svensson
Mercado	Primario y secundario
Emisores	BCCR y MH
Instrumentos incluidos	Estandarizados: tasa fija y cero cupón
Plazo	10 y 20 años (solo se publica hasta 10 años)
Punto de inicio	Mercado Integrado de Liquidez - Facilidad Permanente de Depósito, FPD.
Criterio de exclusión de observaciones	Se excluyen aquellas operaciones cuyos montos negociados sean inferiores al percentil 40 y superiores al percentil 99 de los volúmenes negociados durante el semestre inmediatamente anterior. Estos montos son revisados periódicamente por el BCCR.
Datos imputados	Se toman para los plazos 6, 8 y 10 años con base en la información transaccional de las últimas 4 semanas.

Fuente: elaboración propia con base en DAP (2015).

3.2 Propuesta metodológica

Con base en el análisis de la metodología actual, se proponen algunos cambios con los siguientes objetivos:

a. Que la curva sea replicable a partir de la nota metodológica en que se define su procedimiento de cálculo y la información que exista en el mercado. Esto favorece la rendición de cuentas del BCCR.

b. Atenuar el suavizamiento generado por el punto de inicio y los puntos de referencia imputados (6, 8 y 10 años), de modo que la curva ajustada refleje en mayor medida las características más recientes del mercado costarricense.

c. Que la metodología refleje el mejor ajuste con base en la información de mercado y evitar en la medida de lo posible que parte del ajuste sea por "valores imputados", que como tales no corresponden a transacciones de mercado.

Como inicio del proceso, para conocer los datos disponibles, se hizo un análisis estadístico descriptivo de los datos para entender sus características y patrones. Este análisis empírico es fundamental para poder obtener un conjunto de datos que permita la estimación de la ETTI con mejor ajuste e insesgada.

Como menciona Nymand-Andersen (2018) los resultados de la estimación de una curva de rendimientos pueden estar sesgados por cambios en los datos o en bonos específicos en vez de diferencias por los resultados de los modelos. De ahí la importancia del uso de datos con base en estadísticas descriptivas, para la fiabilidad y replicabilidad de los indicadores de mercados financieros.

Se dará entonces una explicación de los criterios de selección propuestos así como el detalle de cuáles criterios de la metodología actual se mantienen.

Dado el objetivo de esta estimación, el riesgo crediticio soberano, la liquidez y la estructura de vencimientos, **los emisores, el tipo de instrumento y los mercados de negociación** se mantienen de acuerdo con la especificación actual. Es decir, los instrumentos utilizados para la estimación de la curva de rendimientos *par* son los títulos estandarizados en moneda nacional, tasa fija y cero cupón, emitidos por el MH y el BCCR, negociados en mercado primario y secundario[22].

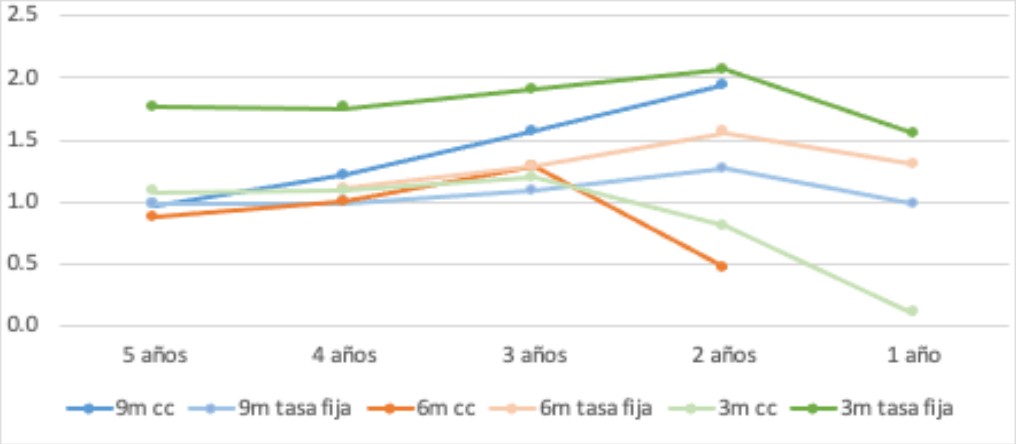
Ahora, existe diferencia entre los criterios de exclusión de observaciones que utiliza la metodología actual y los que se proponen en esta revisión metodológica. En total, se proponen cuatro criterios de exclusión con base en volatilidad, liquidez y estabilidad.

Por volatilidad, se excluyen de la muestra los bonos tasa fija con vencimiento entre cero y seis meses, y los cero cupón con vencimiento entre cero y tres meses.

El primer grupo se excluye debido a la volatilidad implícita en su valoración cercana al vencimiento como se muestra en el gráfico 1 y se ejemplifica en el gráfico 2.

[22] Son excluidos del cálculo los bonos tasa variable y los indexados a inflación (TUDES) y a la curva soberana (TPRAS). La información se obtiene de SIOPEL (plataforma de la BNV) y del sistema de registro de deuda estandarizada, RDE, para incluir el "servicio de ventanilla electrónica de valores". Además, se incluyen las colocaciones directas realizadas por los emisores soberanos (MH y BCCR). Es decir, se incluyen todas las colocaciones realizadas por la plataforma de la BNV y la del BCCR (SINPE).

Gráfico 1: Volatilidad medida por la desviación estándar de títulos tasa fija y cero cupón con diferentes plazos al vencimiento.
Datos desde el 2012 hasta el 2017.



Fuente: elaboración propia con base en información de la plataforma SIBO[23] de la BNV.

Como se observa la volatilidad de los títulos tasa fija es mayor que la de los "cero cupón" independientemente del número de observaciones que se incluyan en la estimación de dicho indicador.

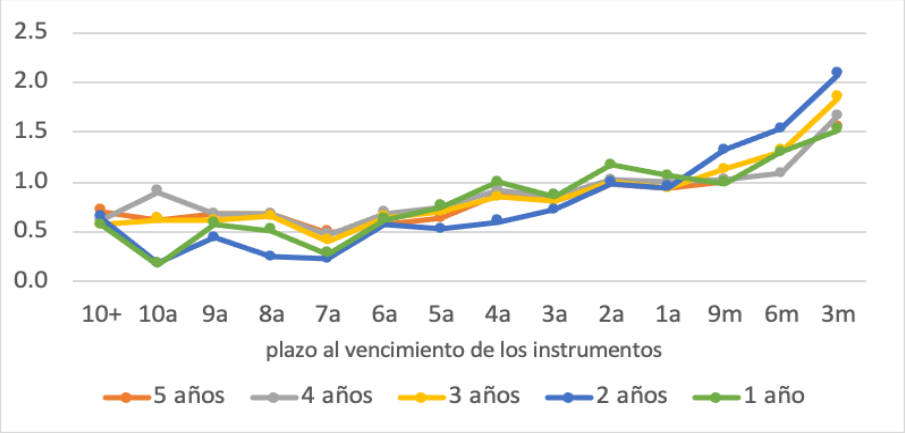
Gráfico 2: Comparación de la valoración entre un título cero cupón (N180418) y uno tasa fija (G280318). Datos desde julio 2017.

Fuente: elaboración propia con base en datos de PIPCA.

[23] El servicio SIBO que provee la BNV, ofrece la información agrupada por conjuntos que denominan "universos". Los universos disponibles incluyen: **Universo de contratos**: Información con base en las boletas de operación, desde el año 2000. Con el detalle de fechas, tipo de operación, tipo de instrumento, emisor, precio, rendimiento, facial y valor transado, entre otras. **Universo de ofertas**: Información de ofertas incluidas en sistema de negociación SIOPEL, disponible desde 2008. Con el detalle de precios, rendimientos, cantidad facial. **Universo de ISIN**: Principales características de las emisiones vigentes y vencidas. **Universo de vector**: Datos históricos del vector de precios de la Bolsa Nacional de Valores, desde 2004.

El segundo grupo se excluye debido a que intrínsecamente la volatilidad en este plazo es mayor. El gráfico 3 muestra que cuanto más corto el plazo al vencimiento, mayor es la volatilidad inherente, indiferentemente de si se consideran cinco años de información o menos.

Gráfico 3: Desviación estándar del rendimiento, como medida de volatilidad, de acuerdo con el plazo al vencimiento del título. Datos de 2013 a 2017.



Fuente: elaboración propia con base en datos de SIBO.

Los bonos con vencimiento menor a tres meses tienden a presentar una volatilidad mayor[24] que el resto de los bonos (con vencimientos mayores). Esta característica de los bonos de muy corto plazo puede ser una causa potencial de sesgo si se mantienen dentro de la población muestral en las estimaciones de la curva.

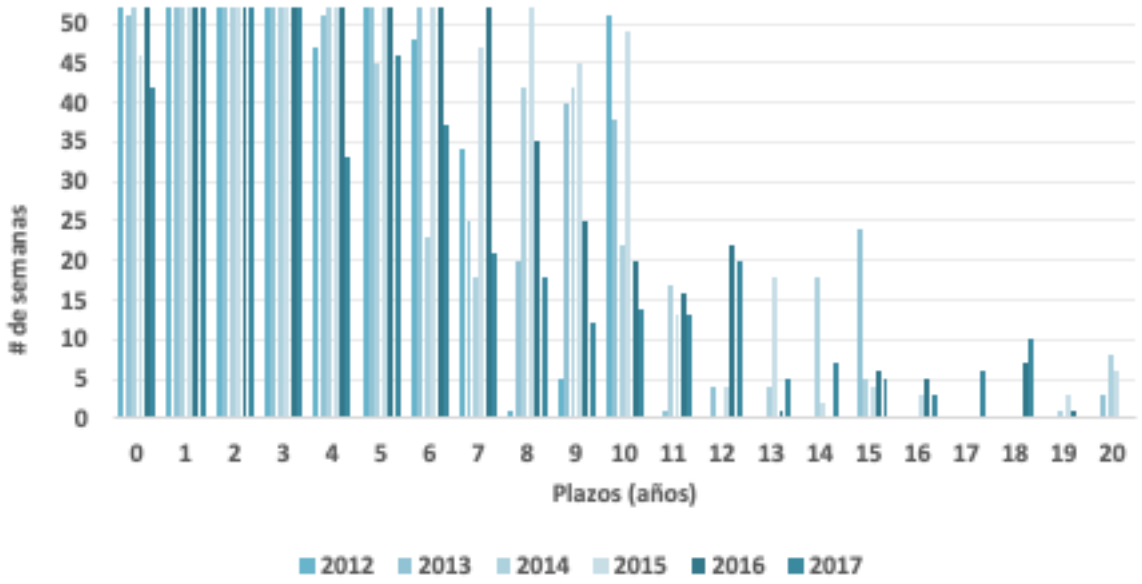
El tercer filtro de exclusión se emplea en los bonos con un vencimiento mayor a diez años dado que son pocas las negociaciones, relativamente, de estos títulos y generalmente, su precio refleja una demanda particular de ahorrantes institucionales que necesitan activos de mayor duración.

El gráfico 4 muestra el número de semanas al año en que se dio al menos una transacción de los bonos soberanos de acuerdo con el plazo al vencimiento[25], con lo que se evidencia que en menos de una cuarta parte del año se negocian títulos con vencimientos mayores a 10 años. Con base en las posibles distorsiones que puedan generar y la poca liquidez de estos títulos, se decide no considerarlos en la estimación.

[24] Esta mayor volatilidad es natural en instrumentos de muy corto plazo, pero además, en Costa Rica, sus cambios de rendimiento frecuentes y de gran magnitud obedecen también a elementos idiosincráticos y regulatorios que no necesariamente tienen que ver con condiciones de mercado tal es como es la normativa sobre la reserva de liquidez y las políticas de valoración de activos de menos de un año.

[25] Para el detalle entre mercado primario y secundario referirse al anexo 5, que muestra el número de semanas de negociación para el año 2017.

Gráfico 4: Número de semanas con al menos una negociación, 2012-2017, rangos de plazos de ± 6 meses



Fuente: elaboración propia con base en datos de SIBO.

Con base en la evidencia estadística del mercado bursátil costarricense sobre el perfil de vencimientos, parece indicado construir una ETTI con instrumentos de deuda soberana con vencimientos (residuales) por encima de los tres meses y menores o iguales a diez años.

Finalmente, el cuarto criterio de exclusión es el de **observaciones atípicas** que obedece al objetivo de eliminar valores extremos que puedan generar sesgos en la estimación. Bonos cuyo rendimiento esté por debajo del percentil 5 o por encima del percentil 95 de las observaciones de los últimos tres meses se considerarán como valores extremos por lo que se excluyen de la muestra para la estimación.

Monto de las transacciones. Cada punto (plazo, rendimiento) estará ponderado por el monto negociado como una consideración de liquidez. Cuanto más líquido sea el título, más transacciones y por tanto, mejor información (sobre ese plazo al vencimiento) es reflejada en el precio acordado entre oferente y demandante.

La propuesta metodológica es por tanto incluir todas las transacciones de los instrumentos especificados anteriormente con su respectiva ponderación por monto[26].

Periodicidad de cálculo. Debido a la poca profundidad del mercado bursátil costarricense, el cálculo de la curva se mantiene semanal. Se publicará los días miércoles, con base en las negociaciones observadas durante la semana inmediatamente anterior, definida de miércoles a martes. Esto en procura de obtener la mayor cantidad de observaciones para cumplir con el tamaño de muestra y con representatividad en la mayoría de los plazos al vencimiento posibles sin sacrificar actualidad/realidad del mercado.

Punto de inicio. Se utilizan las negociaciones del Mercado Integrado de Liquidez (MIL) a un día plazo en moneda nacional. Aunque en el MIL participan las entidades autorizadas

[26] Referirse al anexo 6 para el análisis comparativo entre el criterio actual y el propuesto.

para la administración de sus posiciones de liquidez de corto plazo y aquellas que mantienen su reserva de liquidez en el BCCR, se considera que es el mercado que cumple con el objetivo de reflejar el costo del financiamiento a un día y en donde se refleja la tasa a la cual el BCCR está dispuesto a captar recursos de forma permanente.

Específicamente, se considera la tasa de interés ponderada por el monto de las operaciones a 1 día plazo, entre los participantes del mercado (BCCR y los autorizados), así como las subastas.

Baja frecuencia de observaciones de largo plazo o ausencia de puntos. Dado que el propósito de esta revisión metodológica es que la curva estimada refleje, en la medida de lo posible, la ETTI que subyacen en las negociaciones de títulos valores soberanos, si la información de dichas negociones contiene una variedad de plazos, (cortos, medios, largos) lo que procede es aplicar el procedimiento de estimación. Sin embargo, si la información de mercado no provee datos para la relación plazo-rendimiento para el largo plazo, podría ser necesario agregar una referencia para dicho largo plazo.

Dada la evidencia empírica de escasez de información en el mercado bursátil costarricense para plazos al vencimiento mayores a ocho años, se decidió imputar un valor de referencia a diez años que se utilizaría en las semanas en donde no haya información para ese plazo. Esto debido a que las metodologías para estimar la curva dependen de la información disponible para hacer el ajuste.

La estimación de esta referencia a diez años se hace con base en la metodología actual. La diferencia es que se elimina la opción imputar valores a seis y ocho años, con el objetivo de reducir el uso de puntos que no corresponden a observaciones de mercado.

Con base en las operaciones de mercado primario y secundario de títulos estandarizados del MH y del BCCR, así como con los criterios de exclusión especificados, se estima entonces una curva soberana *par* para Costa Rica. El siguiente cuadro (3) presenta de manera resumida los criterios metodológicos propuestos.

Cuadro 3: Criterios para la selección de datos de acuerdo con la metodología propuesta

Criterios metodológicos	Metodología propuesta
Mercado	Primario y secundario
Emisores	BCCR y MH
Instrumentos incluidos	Estandarizados: tasa fija y cero cupón
Plazo	10 años
Punto de inicio (plazo, tasa)	Tasa de interés del Mercado Integrado de Liquidez, negociaciones a un día, ponderadas por monto.
Criterio de exclusión de observaciones	1. Bonos cero cupón con menos de tres meses al vencimiento. 2. Bonos tasa fija con menos de seis meses o más de diez años al vencimiento. 3. Valores extremos, elegidos a partir de criterios estadísticos previamente establecidos.
Datos imputados	10 años con base en la información transaccional de las últimas 4 semanas.

Fuente: elaboración propia.

4. Estimación propuesta

Diferentes modelos pueden utilizarse para la estimación de la curva soberana. Como se indicó anteriormente, específicamente en la sección referente a metodologías (sección 2.2), la selección del modelo depende del objetivo que se busque con la estimación de la curva de rendimientos, debido a la inevitable escogencia y por lo tanto balance entre lograr un suavizamiento "adecuado" de la curva y el objetivo de obtener un grado de ajuste que represente razonablemente la realidad del mercado soberano de deuda de Costa Rica.

Lo ideal sería comparar los resultados de los modelos parsimoniosos (paramétricos) con los de los modelos polinómicos *spline,* analizar los resultados y escoger la metodología que mejor logre el suavizamiento de la curva, pero que sea lo suficientemente flexible para reflejar los movimientos en la estructura temporal de rendimientos que obedecen a la política monetaria u otros factores de la economía. Sin embargo, las metodologías basadas en *splines* requieren de una gran cantidad de datos para poder obtener resultados robustos[27], lo que es una limitante dadas las características del mercado bursátil costarricense.

Este trabajo, como se mencionó anteriormente, tiene el objetivo de estimar la curva soberana que tenga mejor ajuste para la realidad del mercado de Costa Rica como una

[27] Con pocas observaciones se da un sobreajuste que invalidaría las predicciones fuera del rango de dichas observaciones, por lo que no se generaría con éxito un reflejo de la estructura temporal de los rendimientos para Costa Rica.

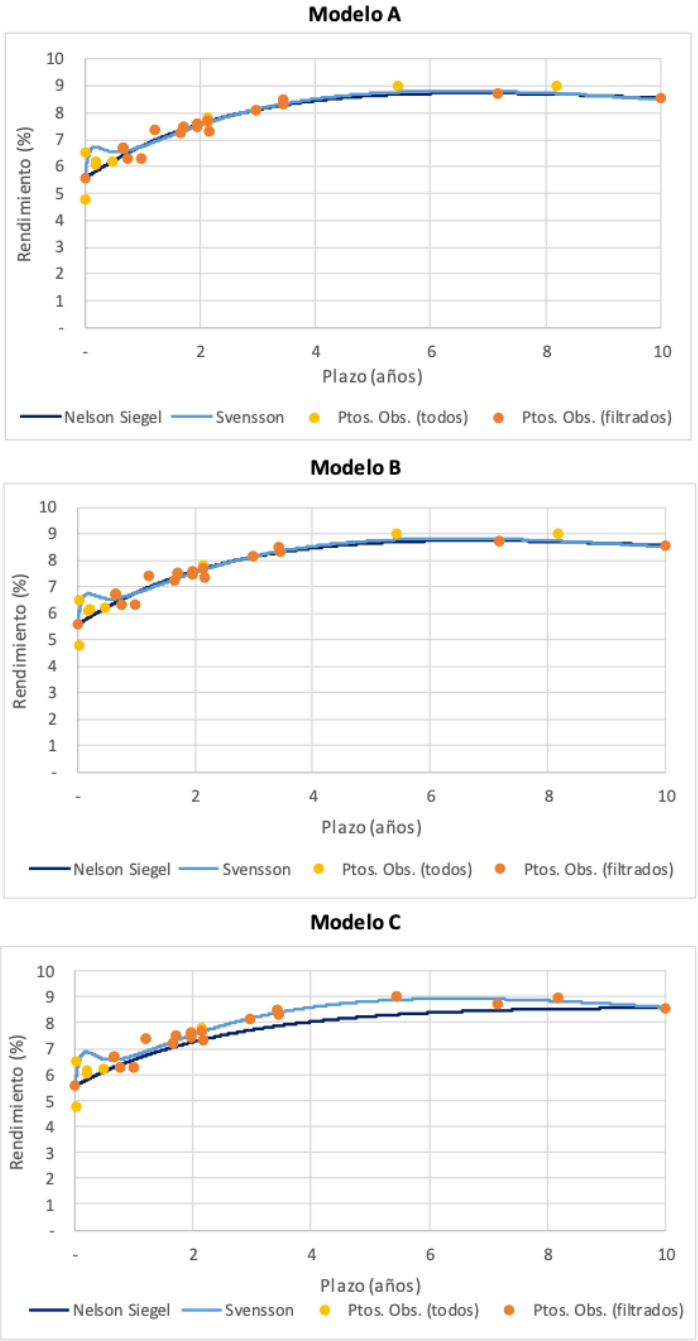
herramienta informativa, que considera las características del mercado bursátil. Se analizan entonces las estimaciones con las metodologías de Nelson-Siegel (NS) y Svensson, en donde la forma funcional es una aproximación exponencial de la tasa de descuento en función de los precios de los bonos.

Para la estimación se consideraron las negociaciones de títulos soberanos (MH y BCCR) estandarizados, tasa fija y cero cupón, desde enero del 2012 hasta mayo del 2020 y se calculó el plazo al vencimiento bajo la convención de días 30/360.

Dado que el propósito de este trabajo es escoger la estimación de la curva soberana con mejor ajuste, que sea replicable y que tenga criterios razonados de acuerdo con la realidad del mercado bursátil costarricense (evidencia empírica), se estimó el modelo con los determinantes escogidos y explicados en la sección 3.2, y sus resultados se compararon con diferentes especificaciones como medidas de robustez. Por tanto,

- El modelo A es la referencia. Es decir, incluye las especificaciones metodológicas propuestas y resumidas en el cuadro 3.
- La especificación del modelo B cambia parte de la información de corto plazo al incluirse los títulos cero cupón de cero a seis meses al vencimiento.
- El modelo C no incluye el criterio de exclusión, es decir, se incluyen todas las transacciones de los bonos de MH y el BCCR (tasa fija y cero cupón) que se realicen en el mercado primario o secundario.

Gráfico 5: Representación de la curva de rendimientos bajo diferentes especificaciones para la fecha 18 de julio del año 2017



Fuente: elaboración propia.

El gráfico anterior (5) ejemplifica las especificaciones que se analizaron para una fecha determinada. Los resultados son para las dos metodologías consideradas como más parsimoniosas (NS y Svensson) y que se ajustan a la disponibilidad de información.

Para estos modelos el grado de flexibilidad de la curva está determinado por la cantidad de parámetros por estimar: cuatro para NS y seis para Svensson. Como se mencionó, estos

parámetros pueden interpretarse como la relación entre los niveles de la tasa de interés de largo plazo, las tasas de corto, la curvatura y la pendiente de la curva. Los parámetros "extra" del modelo de Svensson son los que permiten interpretar una segunda curvatura.

Ambos modelos, están restringidos al tener que converger a un nivel constante bajo la hipótesis de expectativas insesgadas, donde los agentes perciben expectativas similares y constantes en la parte larga.

En general, las curvas proveen una representación similar de la ETTI, por tanto, para su evaluación, se calcularon indicadores representativos: como medidas de bondad de ajuste, la raíz del error cuadrático medio (RMSE por sus siglas en inglés) y el promedio del error absoluto (MAE), y como indicador de precisión, una razón de acierto[28] (HIT ratio).

Cuadro 4: Indicadores de ajuste de acuerdo con los resultados obtenidos

Resultados: promedio de estadísticos 2012-2018				
Criterio	**Metodología**	**Modelo A**	**Modelo B**	**Modelo C**
RMSE	NS	0,260	0,299	0,270
	Svensson	0,194	0,210	0,202
MAE	NS	0,196	0,219	0,203
	Svensson	0,141	0,152	0,146
Hit Ratio	NS	92,99%	90,94%	92,40%
	Svensson	96,03%	95,37%	95,53%
R^2	NS	94,83%	93,71%	94,52%
	Svensson	96,81%	96,52%	96,58%

Fuente: elaboración propia.

El cuadro 4 sustenta la elección del Modelo A, estimado con la metodología de Svensson, como aquel con el menor indicador de error[29] (RMSE y MAE) y con la mayor proporción de aciertos (Hit ratio, HR).

Dado que en el mercado costarricense existe una mayor concentración de bonos de corto plazo y que ello puede tener un impacto en las estimaciones y en los errores estadísticos[30], se estudiaron los resultados para diferentes tramos de la curva.

[28] La razón de acierto, HR, representa el porcentaje de los rendimientos observados que están dentro de un rango de más menos cincuenta puntos base sobre los rendimientos estimados. Los modelos con un mayor porcentaje de aciertos, se ajustan mejor que aquellos que tienen uno relativamente menor.
[29] Por construcción, los valores del RMSE son mayores que los de MAE, pero muestran la misma dirección en las estimaciones.
[30] Las metodologías utilizadas ajustan de mejor manera los intervalos donde hay más información muestral, por lo que los bonos de menor plazo al vencimiento pueden sesgar los errores.

El siguiente cuadro muestra los indicadores para el corto plazo (un año o menos), Tramo CP, el mediano plazo (entre uno y cuatro años), Tramo MP, y el largo plazo (entre cuatro y diez años), Tramo LP.

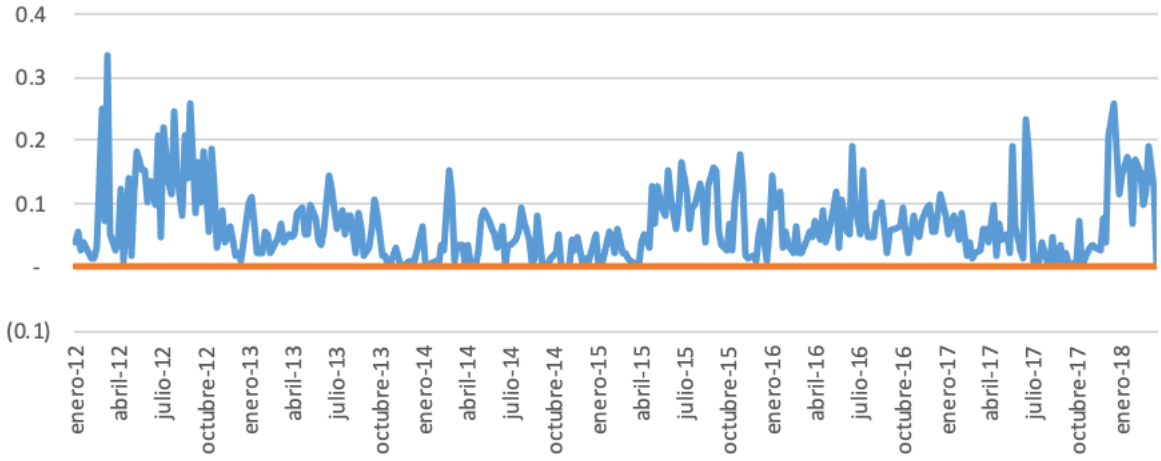
Cuadro 5: Indicadores de ajuste de acuerdo con los resultados obtenidos, por tramos temporales

Indicadores de ajuste (por tramos)					
	Criterio	**Metodología**	**Modelo A**	**Modelo B**	**Modelo C**
RMSE	**Tramo CP**	NS	0,150	0,201	0,155
		Svensson	0,105	0,128	0,109
	Tramo MP	NS	0,159	0,158	0,166
		Svensson	0,127	0,128	0,132
	Tramo LP	NS	0,110	0,118	0,114
		Svensson	0,072	0,076	0,075
MAE	**Tramo CP**	NS	0,276	0,333	0,285
		Svensson	0,190	0,217	0,201
	Tramo MP	NS	0,184	0,187	0,191
		Svensson	0,145	0,150	0,149
	Tramo LP	NS	0,179	0,201	0,185
		Svensson	0,113	0,125	0,118
Hit ratio	**Tramo CP**	NS	81,50%	76,60%	80,97%
		Svensson	89,46%	87,92%	88,92%
	Tramo MP	NS	95,44%	95,22%	94,91%
		Svensson	96,98%	96,54%	96,53%
	Tramo LP	NS	93,71%	91,42%	93,17%
		Svensson	97,41%	96,86%	96,86%

Fuente: elaboración propia

Dado que el modelo A es el que presenta mejores resultados, se hace una representación gráfica de sus errores estadísticos para facilitar la comparación entre las metodologías, por ello, el siguiente gráfico compara los resultados del RMSE para NS y para Svensson.

Gráfico 6: Diferencia del RMSE[31] de Svensson con respecto al de NS para el modelo A



Fuente: elaboración propia.

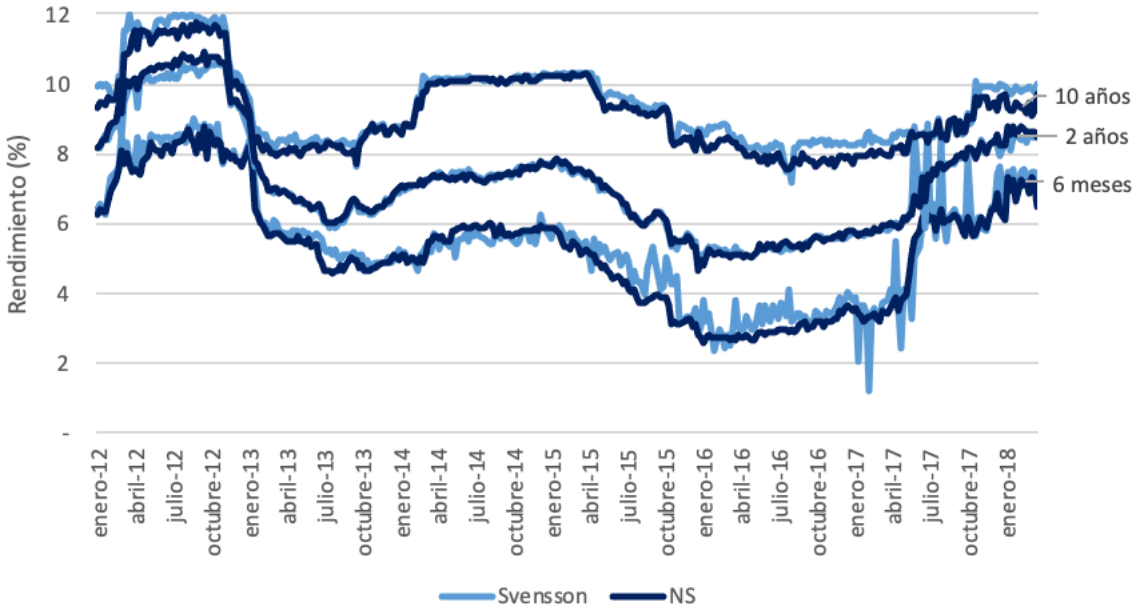
Un valor positivo significa que el modelo de Svensson tiene menores errores estadísticos que los obtenidos con la metodología de NS para una fecha determinada. Si el valor es negativo, significa que NS se desempeña mejor.

Prácticamente, en todos los casos la diferencia es positiva: la raíz de los errores promedio al cuadrado diarios que resultan de utilizar la metodología de Svensson son menores que los de NS en las estimaciones realizadas con información de los últimos seis años, es decir desde el 2012.

Al comparar ambas estimaciones, se refleja que el modelo de Svensson en más sensible a cambios en la tasa de interés y por tanto, cualquier cambio en dicho macroprecio tiene un mayor efecto en sus estimaciones relativo a las de NS. El siguiente gráfico (7) muestra la diferencia de estas estimaciones para tres plazos seleccionados: diez y dos años, así como seis meses.

[31] La diferencia se calcula, para un día (t): diferencia (t) = RMSE [NS] (t) – RMSE [Svensson] (t).

Gráfico 7: Rendimientos estimados por Svensson y NS para plazos específicos



Fuente: elaboración propia.

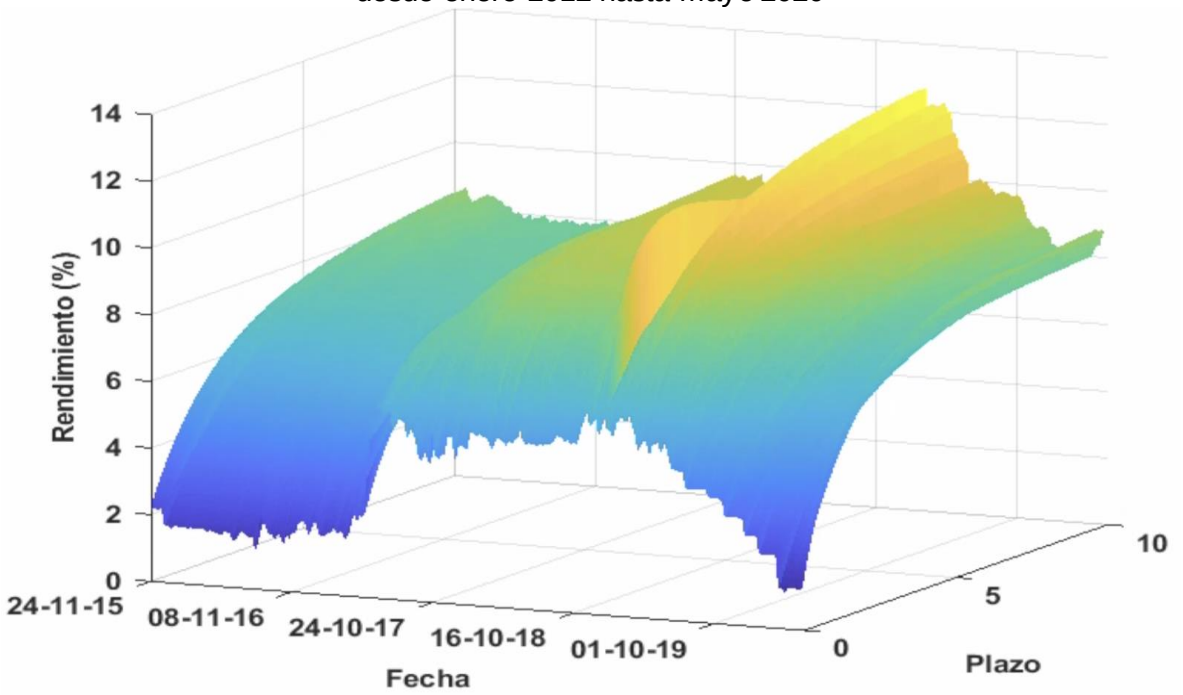
A pesar de estas diferencias, los resultados de los indicadores de bondad de ajuste demuestran que ambos capturan la estructura de tasas de interés subyacente.

Con base en la flexibilidad y en los indicadores estadísticos mencionados, se puede concluir que los modelos, en general, tienen un buen desempeño al mostrar bajos resultados en términos de errores mientras que su razón de acierto es alta. Pero es el *modelo A* estimado con Svensson el que demostró ser mejor de forma consistente.

Esta evidencia da sustento a la especificación escogida para la estimación de la curva soberana para Costa Rica, con la consideración de que para ningún caso se supone que los parámetros se mantienen constantes, por lo que pueden cambiar semana a semana.

El gráfico 8 muestra el histórico de curvas estimadas con la metodología propuesta, desde enero del 2012 hasta mayo del 2020. Se observa cómo esta herramienta perfila el comportamiento del mercado, por ejemplo con el aumento de tasas de interés a lo largo de toda la curva en los últimos meses del 2018 y también con el aumento y disminución de la tasa de política monetaria reflejado en el punto de inicio a lo largo del período.

Gráfico 8: Estimación de la curva soberana semanal,
desde enero 2012 hasta mayo 2020



Fuente: elaboración propia.

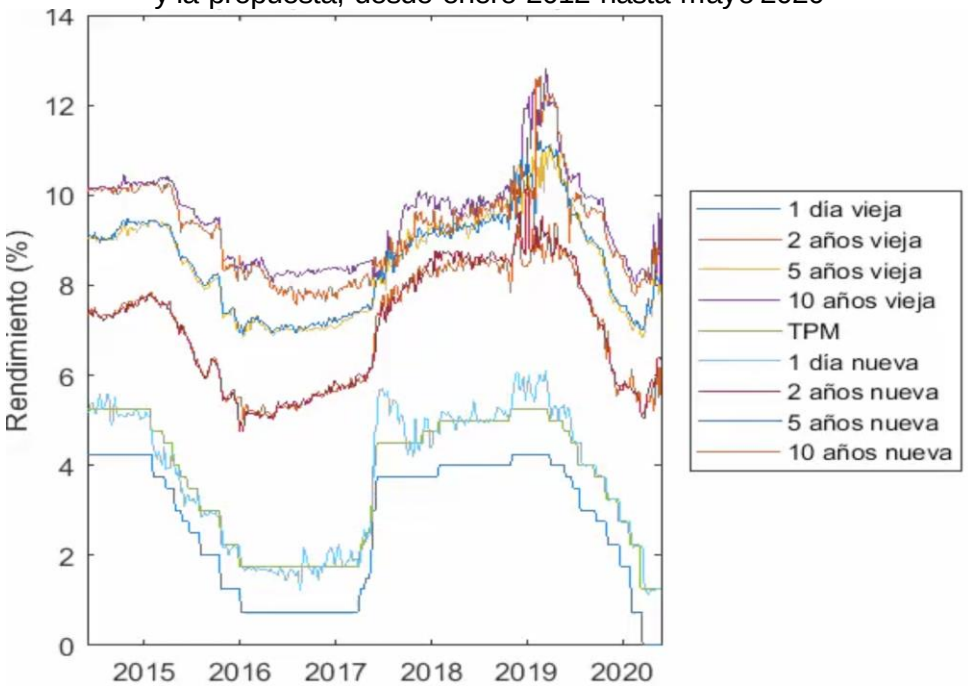
Por último, es necesario comparar los resultados de la estimación propuesta con los resultados de la metodología actual, para ello, el gráfico 9 muestra la comparación entre los rendimientos a diferentes plazos de la ETTI estimados con las dos metodologías y el gráfico 10 muestra la diferencia, en porcentaje para cuatro plazos seleccionados: 1 día que obedece al cambio del punto de inicio, 2 años como representación entre el corto y mediano plazo, 5 años como el punto entre el mediano y largo plazo, y 10 años que es la última observación para la estimación.

Con base en ambos gráficos se evidencian tres diferencias principales. Primero, el punto de inicio hace que la parte corta de la curva sea la que presenta mayores diferencias. Segundo, el punto más largo de la curva, el rendimiento a diez años, también varía pero de manera mucho menor. Y tercero, el no imputar valores para los plazos de 6 y 8 años, no revela diferencias significativas entre ambas estimaciones.

Es decir, el cambio más significativo de la metodología propuesta se muestra en el punto de inicio, al cambiar la facilidad permanente de depósito por la tasa de interés ponderada de las transacciones entre todos los participantes del MIL[32].

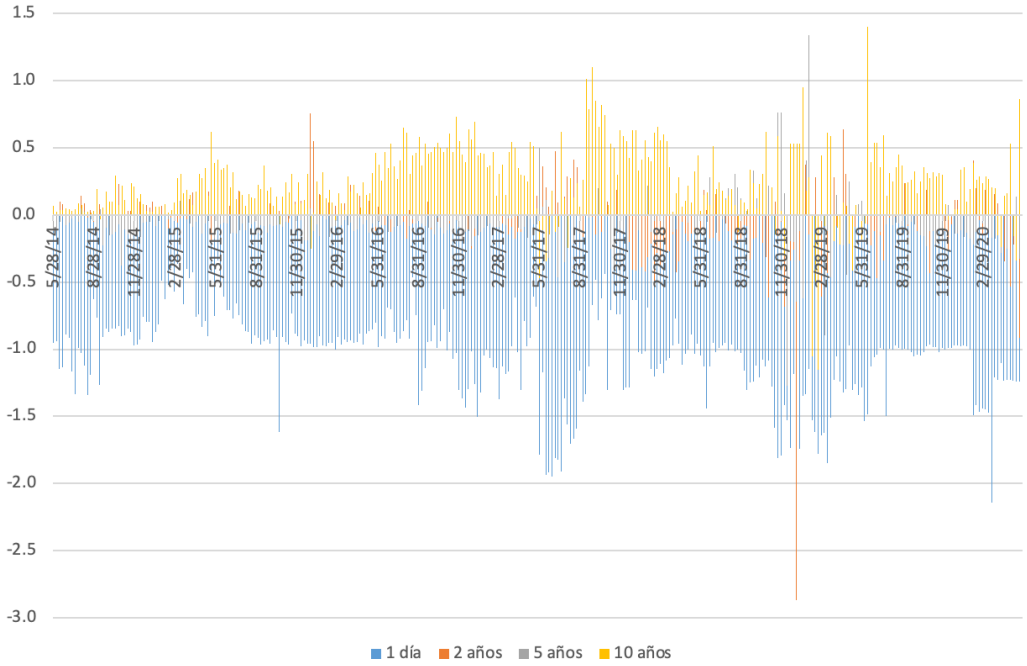
[32] Se excluyen las negociaciones de las facilidades de crédito y depósito.

Gráfico 9: Comparación por plazo entre las estimaciones de la metodología actual y la propuesta, desde enero 2012 hasta mayo 2020



Fuente: elaboración propia.

Gráfico 10: Diferencias por plazo entre las estimaciones de la metodología actual y la propuesta, desde enero 2012 hasta mayo 2020, en porcentaje



Fuente: elaboración propia.

5. Publicación de la curva soberana costarricense

La curva se publicará una vez por semana, como se hace actualmente y se mantendrá la base histórica de los resultados en el sitio web del BCCR. A su vez, estará disponible el documento metodológico, con el fin de que cualquier participante del mercado o persona interesada pueda replicar el cálculo de dicho instrumento.

6. Curvas atípicas

Se reconoce que a pesar de que la estimación propuesta es la que cumple con los objetivos planteados en un inicio, no está exenta de que se presenten casos en donde la curva tenga una forma atípica[33] en ciertas ocasiones.

Si se toma como ejemplo, una submuestra temporal, entre el 10 de enero del 2012 y el 27 de marzo del 2018, de las 321 curvas semanales estimadas, veintinueve se consideraron atípicas (9%). Sin embargo, es necesario poder definir de manera objetiva lo que se pueda considerar una estimación atípica.

Con base en el análisis de cada uno de estos casos, se definió que puede ser causado por dos razones:

- falta de información durante una semana específica debido a pocas (o ninguna) negociación de bonos soberanos en colones en uno o diferentes plazos, o
- un cambio súbito en la tendencia de las tasas de interés. Puede ser por un movimiento en la tasa de política monetaria o por movimientos específicos en el corto, mediano o largo plazo del mercado de bonos.

Para estos casos y con el propósito de dar objetividad a la forma en que se determina la atipicidad de la curva de rendimientos, se propone un procedimiento uniforme y estandarizado.

Como solución al primer caso, se sugiere incorporar la información de la estimación de la curva publicada la semana anterior. Si no hay datos observados que sustenten la parte corta de la curva (entre 0 y 12 meses), utilizar el dato de seis meses estimado en la publicación inmediatamente anterior. Si es en el mediano plazo (entre 1 y 4 años), utilizar el punto a dos años, y si es en el largo plazo (entre 4 y 10 años), considerar el punto de cinco años.

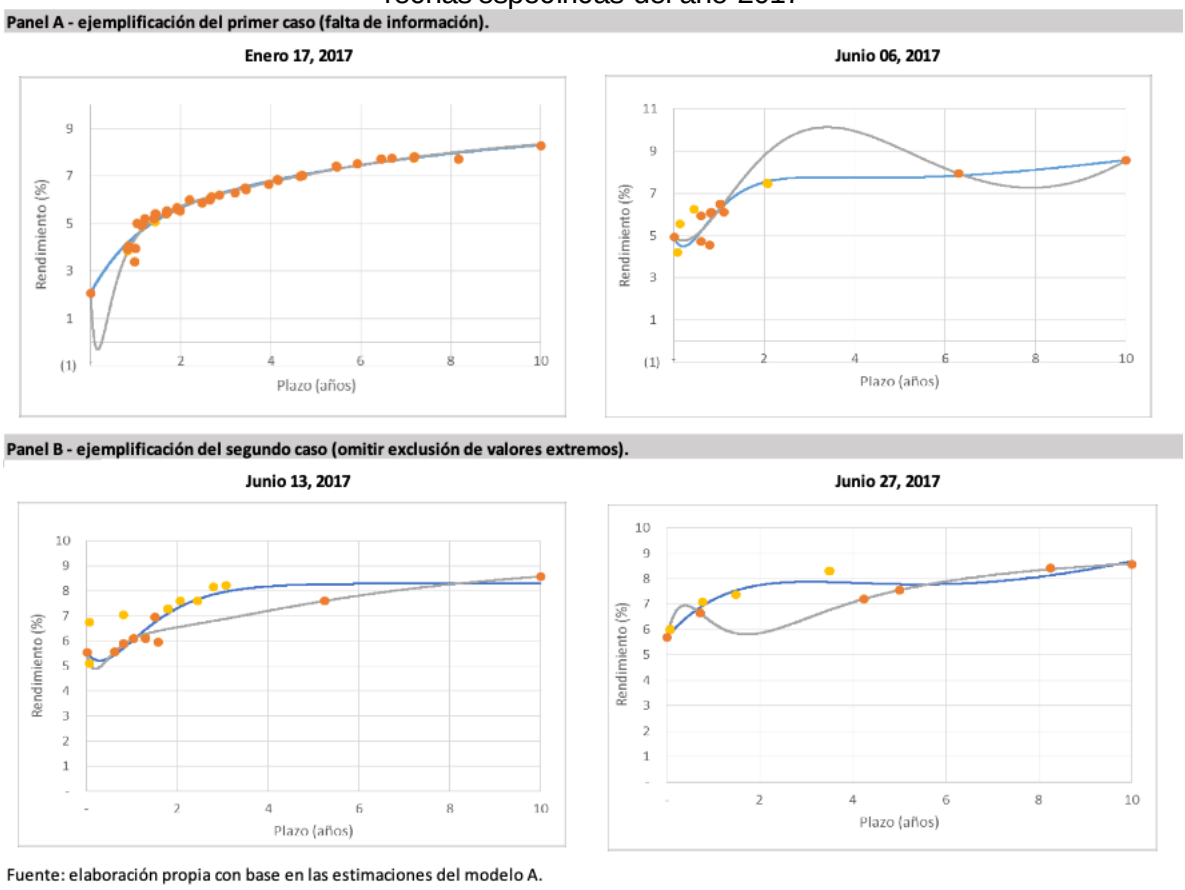
Para el segundo caso, se propone eliminar el criterio de observaciones extremas. Cuando hay un cambio en los rendimientos sustentado por un cambio en la tendencia[34] subyacente de las tasas de interés, es posible que el ajuste de la curva estimada no haya sido transmitido en su totalidad. Por ello, se propone no eliminar observaciones, que no corresponden a valores extremos, sino que son reflejo de dicho cambio.

[33] El gráfico 10 presenta con una línea gris lo que se considera una forma atípica. Si en una semana determinada no hay suficientes negociaciones o el rendimiento negociado está por encima o por debajo de los límites definidos por el criterio de exclusión, pero no son observaciones atípicas, la forma de la curva estimada se considera atípica.

[34] Puede ser causado por una diversidad de motivos como un cambio en la tasa de política monetaria, cambio en las expectativas, cambio en el premio por ahorro en moneda nacional, en la percepción del riesgo, etc.

El siguiente gráfico (11) muestra la estimación de la curva de acuerdo a la metodología propuesta, línea gris, y la estimación ajustada de acuerdo con los criterios propuestos, línea celeste.[35]

Gráfico 11: Estimación de la curva soberana para Costa Rica, fechas específicas del año 2017



Fuente: elaboración propia con base en las estimaciones del modelo A.

Las dos representaciones del panel A, muestran casos en donde no hay datos para cierto tramo temporal de la curva, por lo que la parametrización de la metodología de Svensson sigue la ecuación que le dé un mejor ajuste, sin que eso corresponda con la intuición relevante de la relación entre plazo y rendimiento y de ahí la forma que adopta la curva.

En ambos casos, se agregó el punto de referencia: para el primero, un punto de referencia de seis meses, y para el segundo, el de cinco años.

El panel B muestra dos casos en donde el criterio de valores extremos excluye datos representativos de la situación de mercado, por lo que la estimación original del modelo (línea gris) se aleja de lo observado empíricamente. El flexibilizar el criterio de exclusión, al incluir todas las negociaciones, genera una representación de la curva más acorde (línea celeste).

[35] El anexo 7 muestra la comparación de ajuste entre la curva estimada con los criterios descritos en el cuadro 3 y la curva ajustada debido a formas atípicas.

Como se observa, en ambos casos se logra atenuar la atipicidad de la curva estimada. En los casos en que fuera necesario este ajuste, se propone el siguiente procedimiento uniforme y estandarizado:

- El responsable de la estimación de la curva de rendimientos dentro del Departamento de Estadística Macroeconómica, DEM, informará a su director mediante un documento (correo electrónico) con el gráfico de la curva considerada atípica.
- El correo debe evidenciar los criterios objetivos (financieros y estadísticos) por los cuales se considera que la curva es atípica: falta de observaciones o movimientos abruptos en las tasas negociadas dentro del mercado.
- Además, debe incluir el resultado del *indicador de exclusión*, que se define como la proporción de observaciones excluidas, de acuerdo con el criterio de la metodología, sobre el total de observaciones[36].
- El director del DEM informará a los miembros de la Comisión de Mercados sobre las razones por las que la estimación de la curva de rendimientos presenta una forma atípica y propondrá el cambio sobre la metodología que debe hacerse para realizar la estimación de la semana en cuestión.
    - Si es por falta de observaciones: utilizar la referencia de la curva estimada para la semana anterior de la manera mencionada.
    - Si es por cambios abruptos en tiempo o magnitud en los rendimientos negociados en el mercado: hacer la estimación sin considerar el criterio de exclusión de valores extremos.
- Los miembros de la Comisión de Mercados deberán expresar en un correo de respuesta que se apartan del procedimiento metodológico basado en las consideraciones objetivas informadas por el director del DEM en la semana particular. Y que autorizan la estimación de la curva de rendimientos de acuerdo con los cambios sugeridos.

7. Consideraciones finales

Los rendimientos negociados de los bonos de deuda reflejan las decisiones que los participantes del mercado toman con base en sus expectativas y el nivel observado de las tasas de interés. La curva de rendimientos estimada con base en esta información es una herramienta de gran utilidad al reflejar los niveles esperados de tasas de interés, la percepción sobre la actividad económica y sobre la inflación, entre otros. De ahí el interés del BCCR por evaluar las aproximaciones metodológicas y establecer de acuerdo con criterios objetivos la mejor opción disponible dadas las características de este mercado bursátil.

Este trabajo cumple con el objetivo de discutir sobre la selección entre los criterios necesarios para la estimación, con el fin de disminuir la discrecionalidad y facilitar la

[36] Este indicador es un criterio automatizado que se utilizaría como una llamada de alerta. Si el indicador señala que más de una tercera parte de las observaciones del mercado se excluyen, por ejemplo, quien está haciendo la estimación de la curva debe revisar de manera objetiva (con criterios técnicos estadísticos y financieros) la razón por la que se da el caso.

replicabilidad de este instrumento. Para ello, se analizaron dos metodologías y diferentes criterios de información, para escoger la opción que demostrara tener un mejor desempeño de acuerdo con indicadores estadísticos.

Es vital, de acuerdo a como lo señala Nymand-Andersen (2018), para estimar una curva de rendimientos que se conozca detalladamente el conjunto de observaciones disponibles y se eliminen los valores extremos para evitar sesgos en los resultados. Hay que considerar además la liquidez de los instrumentos, ya que entre más negociaciones se den, más representativa es la información. Y también hay que estudiar la volatilidad de los instrumentos de acuerdo con su plazo al vencimiento. De acuerdo con las características del mercado bursátil costarricense y el objetivo de estimación de la curva de rendimientos *par*, las metodologías paramétricas resultan más adecuadas.

Después de la comparación de los resultados de las estimaciones, se concluye que el modelo de Svensson tiene un mejor desempeño que el Nelson-Siegel en términos de flexibilidad y bondad de ajuste.

En el análisis se identificó que los resultados de las dos metodologías son muy sensibles a los valores iniciales de los parámetros por lo que se recomienda hacer su publicación con el objetivo de replicabilidad. Se puede considerar la recomendación de utilizar los parámetros disponibles anteriormente como valores iniciales del algoritmo. Dado que estos coeficientes son interpretables, su publicación incluso, puede apoyar la estrategia de comunicación por parte del BCCR.

En resumen, dado que esta herramienta cumple con un objetivo informativo y no busca ser instrumento para valoración, se propone la estimación de la curva soberana *par* para Costa Rica con la metodología de Svensson y los criterios especificados en la sección 3.2. Así como la publicación de la metodología, los datos, los parámetros y la representación gráfica de manera semanal.

Además, de acuerdo con el principio de mejora continua, la Administración del Banco Central de Costa Rica vigilará que la metodología sea adecuada para la realidad del mercado financiero costarricense y en caso de identificarse situaciones que requieren ajustes metodológicos informará y propondrá a la Junta Directiva los cambios requeridos.

8. Referencias

Anderson, N., Breedon, F., Deacon, M., Derry, A., y Murphy, G. (1996). *Estimating and Interpreting the Yield Curve*.

BIS (2005). *Zero coupon yield curves: technical documentation*. Departamento Económico y Monetario. Bank for International Settlements. BIS papers, No.25.

Bliss, R.R. (1996). *Testing Term Structure Estimation Methods*. Working Paper 96-12a. Federal Reserve Bank of Atlanta.

Cultberson, J. (1957). *The term structure of interest rates*. Quarterly Journal of Economics. Vol. 71, pp. 485-517.

Delfau, E. (2017). *Método de estimación de curvas de rendimiento cupón cero en Argentina*. Universidad de la CEMA, documento de trabajo, No. 623.

DAP (2015*). Modelación de la curva de rendimiento soberana para Costa Rica. División de Gestión de Activos y Pasivos*. Banco Central de Costa Rica.

Fisher, D. (1966). *Expectations, the term structure of interest rates, and recent British experience.* Economics 33 (August), pp.319-29.

Fisher, I. (1930). *The Theory of interest*. The Macmillian Company. ISBN 13 978-0879918644.

Hicks, J. (1939). *Value and Capital*. Segunda Edición, Oxford University Press.

Mastronikola, K. (1991). *Yield curves for gilt-edged stocks: a new model*. Bank of England, London. Discussion paper (Technical series), No.49.

McCulloch, J. (1971). *Measuring the Term Structure of Interest Rates*. Journal of Business 44, pp.19–31.

Modigliani, F. y Sutch, R. (1966). *Innovations in Interest Rate Policy.* The American Economic Review. Vol. 56, No. 1/2 (Mar. 1. 1966), pp.178-197.

Nelson C.R. y Siegel A.F. (1987). *Parsimonious modeling of yield curve for U.S. treasury bills*. Journal of Business, Vol. 60, N°4, pp 473-489.

Nymand-Andersen, P. (2018). *Yield curve modelling and a conceptual framework for estimating yield curves: evidence from the European Central Bank's yield curves*. European Central Bank, Statistics paper series No.27.

Reily, F. y Brown, K. (1997). *Investment analysis and portfolio management*. Philadelphia. The Dryden Press.

Svensson, L. (1994). *Estimating and Interpreting Forward Interest Rates: Sweden 1992-1994*. Working Paper. No. 4871, NBER. Cambridge. MA.

Vasicek, O.A. y Fong, H.G. (1982). *Term Structure Modelling Using Exponential Splines*. Journal of Finance 37, pp.339–348.

Waggoner, D.F. (1997). *Spline Methods for Extracting Interest Rate Curves from Coupon Bond Prices*. Working Paper 97-10, Federal Reserve Bank of Atlanta.

Anexo 1. Diferencia entre la curva soberana par, la cero cupón y la forward

Una manera de diferenciar entre estimaciones de curvas soberanas es por la forma en la que incorporan los rendimientos que los instrumentos financieros que las componen. En este sentido, hay se puede pensar en tres tipos de curva: la par, la cero cupón o la forward.

El primer caso, se llama par porque se considera su rendimiento al vencimiento, es decir cuando su valor es par o su precio igual a 100. Para la estimación de una curva par, se valoran los instrumentos de renta fija con base en la función de descuento del cupón. Esto representa el valor presente a un ahorrante de un pago *x* en *n* años.

Es decir, para la valoración de los instrumentos con cupón, se utiliza la tasa interna de retorno y se obtiene un rendimiento, en valor presente, como si se mantuviera el bono hasta el vencimiento. Su tasa, toma en cuenta el flujo restante del activo hasta su vencimiento (en donde se recibe el valor par) y la tasa se estima mediante la sumatoria de descuento de todos los flujos futuros de manera tal que estos igualen el precio de mercado actual.

En el caso de la curva de rendimiento cero cupón, se parte de que este instrumento paga hasta el vencimiento; no tiene cupones intermedios. Si existieran bonos de este tipo para cada momento del futuro, podrían dar una tasa implícita coherente con los precios de mercado de los activos negociados. Se podría construir un tipo de curva de referencia de tasas de mercado que permita encontrar el precio subyacente de cualquier activo financiero que pueda ser descontado a esa tasa. Sin embargo, los títulos cero cupón en el mercado costarricense se concentran en el corto plazo, doce meses o menos, por lo que para obtener una curva de rendimientos cero cupón, se requieren modelos de estimación a partir de los instrumentos con pago de cupones. En ese caso, la valoración del precio de mercado se estimaría mediante la suma de los valores presentes de esos flujos, cada uno descontado a la tasa de interés del cero cupón asociada a su plazo al vencimiento.

Por último, la curva de rendimiento también se puede estimar a partir de las tasas *forward*. Estas tasas se estiman a partir de las tasas *spot* o de contado que se negocien en el mercado. Una vez que se obtienen las tasas forwards es necesario utilizar un modelo de regresión para obtener los valores de la curva de rendimiento de los periodos futuros.

Anexo 2. Tasas forward

Si $0 \leq t < T < S$,

- la **tasa forward** para $[T, S]$ en t se define como

$$F(t;T,S) = \frac{1}{S-T}\left(\frac{P(t,T)}{P(t,S)} - 1\right)$$

en donde $P(t,T)$ es el valor en el momento t de un dólar en el momento T.

- La **tasa forward compuesta** continua para $[T, S]$ en el momento t, se define como

$$R(t;T,S) = \frac{\ln P(t,T) - \ln P(t,S)}{S-T}$$

- La **tasa forward instantánea** con vencimiento en T en el momento t, se define como

$$f\ (t,T) = \lim_{S \downarrow T} R\ (t;T,S) = -\ \frac{\delta \ln P\ (t,T)}{\delta T}$$

La función $T \rightarrow\ f\ (t,T)$ se llama la curva forward en el momento t.

Anexo 3. Referencia legal sobre la curva de rendimientos

De acuerdo con la sesión de Junta Directiva, 5703-2015, del 13 de octubre del 2015, la metodología para la fijación de tasas de captación e inversiones financieras de entidades públicas del Estado[37]: deberán utilizar como tasa de referencia las tasas de interés netas de la Curva de Rendimiento soberana divulgadas en la página web del BC, de la siguiente forma:

Para inversiones con plazo menor o igual a un año, la tasa se obtendrá de una interpolación lineal entre la FPD a un día plazo, ofrecida en el MIL y el rendimiento de la Curva soberana publicada a un año plazo (360 días).

$$y[t] = \left(\frac{t-1}{359}\right) * \frac{(y_s[360] - y_{FPD}[1])}{2} + y_{FPD}[1]$$

$y[t]$: es la tasa para el plazo requerido (menor o igual a 360 días) que se quiere calcular.

t: es el plazo en días (menor o igual a 360 días), para la tasa $y[t]$ que se quiere calcular.

$y_{FPD}[t]$: es la tasa de FPD a un día plazo.

$y_s[t]$: es el rendimiento de la Curva Soberana generada por el Banco Central de Costa Rica a un año plazo (360 días).

Para inversiones con plazo superior a 360 días, se considerarán las tasas de la Curva soberana menos un margen. La amplitud de este margen será igual a la diferencia que exista entre el punto de 360 días de la curva soberana y el punto de 360 días calculado en el inciso anterior. Las tasas obtenidas con esta metodología serán utilizadas como las tasas de interés netas máximas.

$$[T] = y_s[T] - Margen$$

$y[t]$: es la tasa para el plazo requerido (mayor a 360 días) que se quiere calcular.

$y_s[T]$: es el rendimiento de la Curva Soberana generada por el BCCR a un año plazo (mayor a 360 días).

[37] La presente metodología aplica a los bancos públicos y entidades públicas para la negociación de los depósitos e inversiones financieras, indicados en el artículo 1 y en el anexo 4, respectivamente, de la Directriz 18-H, Dirigida a los bancos públicos y entidades públicas en la negociación de sus depósitos, publicada el 3 de diciembre del 2014, en el diario oficial La Gaceta.

margen: es la diferencia entre el rendimiento de la curva soberana de referencia del BCCR a un año y la tasa a un año calculada, lo que sería igual a: $y_s[360]$ - $y[360]$.

La amplitud de este margen será igual a la diferencia que exista entre el punto de 360 días de la curva soberana y el punto de 360 días calculado en el inciso anterior.

Las tasas obtenidas con esta metodología serán utilizadas como las tasas de interés netas máximas.

Anexo 4. Decreto Ejecutivo 39939 (TPRAS)

Artículo 1. Creación del Título de Propiedad Rendimiento Ajustable Soberano.

Créase el Título de Propiedad de rendimiento Ajustable Soberano en adelante denominado TPRAS, destinado a constituirse en un nuevo instrumento de colocación con una tasa cupón ajustable periódicamente, mediante el cual el Ministerio de Hacienda pueda captar recursos del mercado financiero y permita al inversionista diversificar su portafolio de inversión.

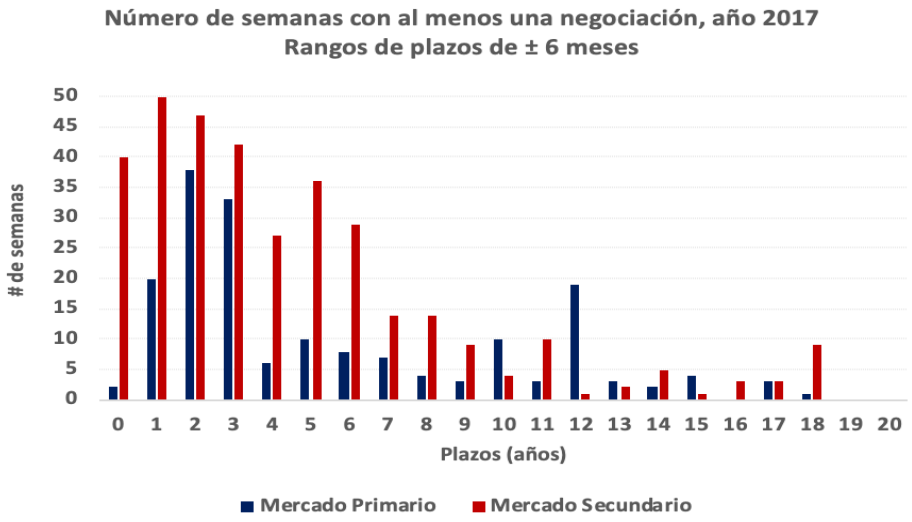
El título TPRAS será amortizable al vencimiento y reconocerá cupones de interés semestrales.

Artículo 4. Tasa de Interés.

Los intereses del TPRAS serán pagaderos semestralmente y para efectos del cálculo los cupones estarán indexados a los rendimientos netos de la curva soberana calculada por el Banco Central de Costa Rica, asociado al plazo al vencimiento del título vigente un día antes del inicio del semestre correspondiente.

.

Anexo 5. Cantidad de negociaciones bursátiles por semana



Fuente: elaboración propia con base en datos del SIBO.

Anexo 6. Criterio de exclusión de observaciones

El objetivo es eliminar aquellas observaciones que no son representativas o que tienen un comportamiento atípico y que, por tanto, influyen en el ajuste de la estimación.

Se considera un valor atípico como una observación que es numéricamente distante del resto de los datos y que, por tanto, sesga las estadísticas derivadas de los conjuntos de datos que los incluyen. En este caso, en vez de aportar información, pueden sesgar los resultados al reflejar un comportamiento que obedece a factores específicos y no a los correspondientes de la estructura temporal de tasas de interés.

Dadas las observaciones utilizadas en la estimación de la curva de rendimientos, puede realizarse la exclusión por precio (rendimiento), por cantidad o por ambos. Este anexo tiene la finalidad de comparar ambos criterios de manera gráfica, con base en una muestra de cinco años, del 2013 al 2017, y separando las observaciones del mercado por el plazo al vencimiento de los títulos negociados. La muestra se divide en tres: corto plazo (entre seis meses y dos años), mediano plazo (entre tres y seis años) y largo plazo (entre siete y diez años).

La metodología actual excluye por cantidad. De acuerdo con lo observado en una muestra de cinco años, de 2013 a 2017, las observaciones que en monto están por debajo del percentil 40 o por encima del percentil 99, son poco más de una tercera parte de las observaciones como se muestra en el Cuadro A6.1.

Cuadro A6.1. Cantidad de negociaciones por semestre, 2013-2017.

	Observaciones	**Excluidas**	**Peso relativo**
IS - 2013	4254	2215	52.07%
IIS - 2013	2544	1015	39.90%
IS - 2014	2300	1010	43.91%
IIS - 2014	1760	699	39.72%
IS - 2015	4258	1418	33.30%
IIS - 2015	3963	1363	34.39%
IS - 2016	3809	1599	41.98%
IIS - 2016	2630	1035	39.35%
IS - 2017	1767	612	34.63%
IIS - 2017	1096	582	53.10%
Total	28381	11548	40.69%

Fuente: elaboración propia.

En la metodología propuesta se excluye por rendimiento con base en su comportamiento histórico: los datos por debajo del percentil 5 o por encima del percentil 95[38] de los rendimientos de los últimos tres meses se consideran como valores extremos. Con este criterio se mantiene una muestra para la estimación de más del 93% de la población de los datos[39].

Dadas las diferencias entre estos criterios, interesa hacer una comparación. Parte de la justificación del criterio de exclusión por monto, de la metodología actual, es que se quiere minimizar el incentivo que tienen los agentes de influenciar el resultado de la curva soberana: para que su negociación sea parte de la muestra para la estimación, tiene que estar entre el percentil 40 (p40) y el 99 (p99); es decir, que implique un monto entre dichos percentiles.

Por tanto, en este anexo se analiza el comportamiento de las negociaciones en el mercado bursátil costarricense para una muestra de cinco años, entre enero del 2013 y diciembre del 2017, de los títulos emitidos por el Ministerio de Hacienda y el Banco Central de Costa Rica, con un vencimiento menor o igual a diez años[40]; es decir, aquellos instrumentos que son utilizados como insumo para la estimación de la curva de rendimientos *par* soberana.

El gráfico A6.1 muestra como el criterio de exclusión por monto elimina parte importante de la población para los títulos con un vencimiento entre seis meses (6m) y dos años (2a). Para los de más corto plazo, los de 6m, se observa que el p40 excluye un número significativo de observaciones que refuerzan el comportamiento de la media de la distribución, por lo que puede sesgar el resultado hacia las colas de la misma.

[38] En este anexo se hace el análisis equivalente considerando ± 2 desviaciones estándar del promedio del rendimiento observado durante los tres meses inmediatamente anteriores. La diferencia es que asumir el criterio por percentiles en vez de desviaciones hace que no se incurra en el supuesto de que la distribución de los datos sigue una distribución normal. En teoría, el $log\ (r+1)$, donde r es el rendimiento, sigue una distribución normal dado que los incrementos marginales se suponen independientes (condición de no arbitraje). En el límite, la suma de estos incrementos sigue un movimiento browniano que tiene una distribución normal. Sin embargo, esto es algo que no se ha probado para los datos de Costa Rica. Por lo que se decidió dejar el criterio de exclusión de la propuesta metodológica en términos de percentiles. A pesar de ello, el análisis de este anexo se hace con base en el supuesto teórico.

[39] Con base en los datos de 2013 a 2017, este criterio de exclusión afecta el 6,17%. Mientras que en la muestra de 2015 a 2017 solamente al 2,21% de la población.

[40] Esto con base en la selección de títulos para la estimación de la curva de rendimientos.

Gráfico A6.1. Negociaciones en mercado primario y secundario de títulos soberanos con vencimiento entre seis meses y dos años, 2013-2017.

Fuente: elaboración propia.

Además, se observa que la preocupación sobre el comportamiento de las negociaciones con monto bajos, no se refleja en la evidencia. Los rendimientos a los que se negocian dichas operaciones no son atípicos con respecto a la población observada. Y, una observación de monto bajo y rendimiento alto, como ejemplo la señalada en rojo, es excluida por el criterio de precio.

El hecho que, en los gráficos de los instrumentos de 6m y 9m, así como en los de un 1a, se observe un tipo de distribución bimodal obedece a que se contempló una muestra amplia que refleja diferentes niveles en la estructura de tasas de interés. Los rendimientos de los títulos de corto plazo responden a movimientos de la TPM, que para el tiempo de la muestra ha estado en un rango entre 1,75% y 5,25%. Sin embargo, para la estimación de la curva, esto no debería representar un problema dada su periodicidad de cálculo.

Al considerar las emisiones de mediano plazo, entre tres y seis años, el rango de variación del precio es más amplio, como se muestra en el gráfico A6.2, por lo que el intervalo delimitado por el criterio de exclusión de las dos desviaciones estándar tiende a incluir prácticamente toda la muestra. Al respecto, dos observaciones. Por un lado, las negociaciones de montos pequeños reflejan un comportamiento de tomadoras de precio. Por otro, el criterio de exclusión por precio elimina las observaciones atípicas que generarían preocupación, como se muestra en el gráfico de los instrumentos con 6a al vencimiento.

Gráfico A6.2. Negociaciones en mercado primario y secundario de títulos soberanos con vencimiento entre tres y seis años, 2013-2017.

Fuente: elaboración propia.

Es cierto que en el mercado bursátil costarricense conforme aumenta el plazo al vencimiento de los instrumentos, disminuye la cantidad de observaciones y esto hace que en la estimación de la ETTI exista mayor probabilidad de que el resultado sea por ajuste del modelo. Este es otro de los factores que se valoran en la decisión entre ambos criterios de exclusión. Es mejor en términos de ajuste y reflejo de la realidad de mercado, tener la mayor cantidad de información posible; es decir, poder contemplar la mayor cantidad de observaciones de mercado que se pueda.

Finalmente, con respecto a los instrumentos de mayor plazo, entre siete y diez años, se acentúa la poca información y la alta variabilidad en el comportamiento del precio. También se reflejan de manera más obvia las diferentes medias en los precios negociados. Sin embargo, ninguna de las observaciones excluidas por el criterio por monto es atípica en términos de precio. Para cada uno de los rendimientos negociados, se ha dado un amplio rango de montos negociados.

Gráfico A6.3. Negociaciones en mercado primario y secundario de títulos soberanos con vencimiento entre siete y diez años, 2013-2017.

Fuente: elaboración propia.

En los tres grupos de gráficos, se analizó la opción de un criterio de exclusión más laxo por monto. Si se considera el percentil 10 y el percentil 90 como límites para excluir observaciones también se pierde un gran número de observaciones importantes para la estimación. Además, la idea de poder eliminar las operaciones de rendimiento alto con bajos montos, queda contemplado en el criterio de exclusión por precio y en general, las operaciones por montos pequeños no tienen un precio diferente. Eliminar observaciones con base en un criterio por monto parece que sólo tendría un efecto en disminuir la cantidad de información para la estimación y, por tanto, ponderar de mayor manera el ajuste impuesto por la metodología paramétrica que se utiliza.

Consideraciones

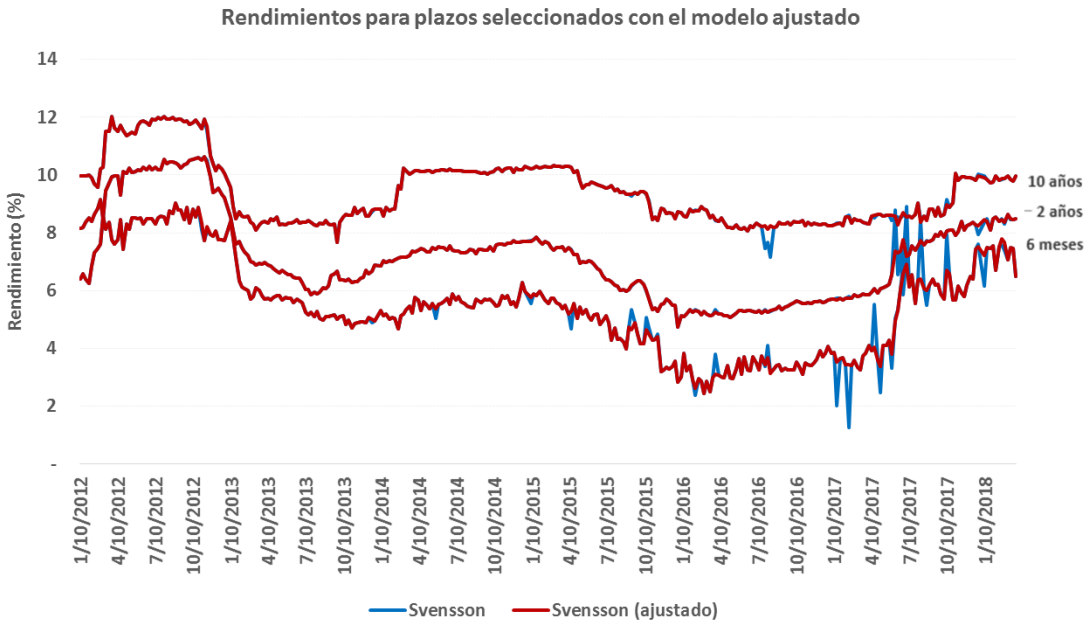
Se podría argumentar que la metodología de estimación actual de la curva soberana ha sido efectiva en desincentivar el comportamiento y por eso es por lo que la evidencia no muestra operaciones pequeñas a rendimientos atípicos. Sin embargo, se cree que esto se debe a la organización industrial del mercado bursátil y no a dicha metodología. Aun si fuera el caso, se evidencia que el criterio de exclusión por precio es efectivo en eliminar dichas operaciones.

Lo que se busca con la estimación de la curva es poder representar la ETTI de las negociaciones de los títulos soberanos. Por lo que eliminar más de una tercera parte de la población desaprovecha importante información de mercado.

El porcentaje de la información considerada en la estimación es determinante para el ajuste y el nivel de confianza. Lo que se busca es que la estimación tenga un nivel de confianza alto y que, por tanto, la probabilidad de errores tipo I (probabilidad de rechazar una hipótesis

siendo correcta) sea baja. Además, se busca que el error tipo II o falso negativo (no rechazar la hipótesis nula siendo falsa) también sea bajo. Entre menor el porcentaje de la población considerado, mayor el error tipo II. Con el criterio de exclusión de la metodología actual, se aumenta la probabilidad de error tipo II.

Además, la forma en la que un agente podría influenciar la estimación de la curva es si logra negociar al rendimiento deseado a un plazo específico o diferentes plazos de la curva sin que otros participantes agredan dicha negociación o que se dé una coordinación entre los participantes del mercado para definir una tasa de interés específica y así impactar la estimación de la curva. El rendimiento al que debe ser negociado tiene que considerarse una observación típica dado el criterio de exclusión propuesto. Con base en la evidencia observada, no pareciera ser este el caso.

Por tanto, se concluye que el criterio de exclusión por precio con base en observaciones extremas cumple con los objetivos planteados.

Anexo 7. Diferencia entre rendimientos seleccionados entre 2012 y 2017