

RESUMEN

En este artículo se realiza una estimación de la curva de rendimientos de la deuda pública interna de la República Bolivariana de Venezuela utilizando el modelo de Nelson y Siegel, y obteniendo los inputs del modelo a través de dos metodologías: *i*) utilizando el rendimiento al vencimiento (YTM) de las referencias de bonos negociados, que es la manera cotidiana en que los participantes del mercado valoran estos instrumentos; y *ii*) transformando los títulos de referencia en bonos cero cupón para construir una curva de rendimientos que se adecúe a la teoría financiera. Se procede a comparar ambas estimaciones y se llega a la conclusión de que ambas metodologías llegan a resultados muy similares.

Palabras claves: Curva de Rendimientos, Tasas Forward, Tasas Spot, Modelo de Nelson-Siegel.

ABSTRACT

In this paper we estimate the yield curve of domestic public debt of the Bolivarian Republic of Venezuela using the Nelson and Siegel model, and we obtained the model inputs through two methods: *i*) using the yield to maturity (YTM) references of traded bonds, which is the everyday form used by market participants to value these instruments; and *ii*) transforming reference titles in zero coupon bonds to build a yield curve according to financial theory. We proceed to compare both estimates and we conclude that both methods come to very similar results.

Keywords: Yield Curve, Forward Interest Rates, Spot Interest Rates, Nelson-Siegel Model.

1. Introducción

La estimación de la estructura temporal de las tasas de interés y su representación gráfica a través de la curva de rendimientos son herramientas que facilitan el estudio de los mercados financieros, en especial el análisis del mercado de renta fija. Estas herramientas permiten establecer el comportamiento y las fluctuaciones futuras de las tasas de interés, es decir, muestran los cambios en el corto plazo de las tasas de interés y como éstas afectan los niveles de las tasas de interés de largo plazo.

Marín y Rubio¹¹¹ señalan la importancia de la curva de rendimientos en los mercados financieros, ya que la misma se utiliza como: referencia para la valoración de activos de renta fija (letras, bonos y otras obligaciones), establecimiento de las rentabilidades en los sectores del mercado de deuda, instrumento de evaluación de estrategias de gestión de carteras de renta fija y para la valoración de activos reales.

El informe económico del Banco Central de Venezuela (BCV)¹¹² del año 2010 explica que el mercado de capitales se caracteriza por la mayor emisión de títulos de renta fija, específicamente los emitidos por el Gobierno Nacional y otras instituciones públicas en moneda nacional. En los últimos años este mercado ha tomado gran importancia, debido a la mayor emisión de estos títulos, los cuales se utilizan para financiar la política fiscal del Gobierno, además de ofrecer mayores rendimientos a los inversionistas que participan en él.

Debido a que la actividad del mercado de capitales en Venezuela está representada en mayor parte por emisiones del Gobierno Central, a través de instrumentos de deuda pública, la investigación se plantea como objetivo analizar las curvas de rendimientos de las tasas *forward* y *spot* de la deuda pública interna venezolana durante el periodo 2010 hasta julio 2014, para así

111 MARÍN, J. RUBIO, G. *Economía Financiera*. Barcelona: Antoni Bosch Editor, 2001.

112 BANCO CENTRAL DE VENEZUELA. *Informe Económico*. Caracas: Ediciones del autor, 2010, p. 5.

estudiar la forma como el mercado valora los títulos valores en Venezuela y si ello resulta una valoración adecuada o no para el mercado.

2. Estructura temporal de las tasas de interés (ETTI) y Curva de Rendimientos

De acuerdo con Márquez *et al.*¹¹³, la información contenida en los bonos permite realizar la estimación de la estructura temporal de las tasas de interés de diferentes plazos, partiendo del concepto de valor presente, es decir el flujo de efectivo de un bono es analizado como una cartera de bonos cero cupón. Por lo tanto, la tasa *spot* para un determinado periodo es aquella tasa de interés pagada por un bono cero cupón en dicho periodo. La tasa de descuento se relaciona con la tasa *spot* de la siguiente manera:

$$d(t, T) = P(t, T) = e^{-\int_t^T r(t, s) ds}$$

No se ve bien la ecuación

La interpretación teórica que tiene cada una de estas variables son las siguientes:

$d(t, T)$: función de descuento.

$r(t, T)$: tasa de interés compuesta.

t : momento de la negociación.

T : fecha de vencimiento.

$m = T - t$: tiempo restante para la fecha de vencimiento.

Márquez *et al.*¹¹⁴ plantean que el precio del bono a la fecha de pacto es el siguiente:

$$P(t, t + m) = \sum_{k=1}^n cd(t, t + k) + 100d(t, t + m) \quad (2)$$

Partiendo de la función anterior, se define la tasa *forward*, que de acuerdo con Márquez *et al.* es la tasa correspondiente a un contrato *forward* pactado en "t", la función que la representa es $f(t, t', T)$ cuya fecha de liquidación es t' y la fecha de vencimiento es T . De acuerdo con Julio, Mera y Hérault¹¹⁵ es la tasa correspondiente al vencimiento de un contrato pactado en la fecha de negociación. La relación entre tasa *forward* y *spot* es la siguiente:

113 MARQUEZ, J. NOGUÉS, C. VÉLEZ, V. *Un método eficiente para la estimulación de curvas de tasas de interés*. México: Banco México, 2003.

114 MARQUEZ, J. NOGUÉS, C. VÉLEZ, V., *Op. Cit.*

115 JULIO, J. MERA, S. HÉRAULT, A. *La curva spot (Cero Cupón) Estimación con splines cúbicos suavizados, usos y ejemplos*. Bogotá: Banco de la República, 2002.

$$f(t, t', T) = \frac{(T - t)r(t, T) - (t' - t)r(t, t')}{T - t'} \quad (3)$$

De la ecuación (3) se puede derivar la tasa *forward* instantánea como aquella tasa *forward* que vence en un periodo infinitesimal, planteado así:

$$f(t, t') = \lim_{T \rightarrow t'} f(t, t', T) \quad (4)$$

La tasa *forward* se considera el promedio de las tasas *forward* instantáneas:

$$f(t, t', T) = \frac{\int_{u=t}^T f(t, u) du}{T - t'} \quad (5)$$

El promedio de las tasas *forward* instantáneas se pueden relacionar con la tasa *spot* "r" de la siguiente manera:

$$r(t, T) = \frac{\int_{u=t}^T f(t, u) du}{T - t} \quad (6)$$

Una vez obtenidas las tasas *forward* instantáneas y *spot*, es posible estimar la estructura temporal de las tasas de interés (ETTI). Según Marín y Rubio¹¹⁶, la estructura temporal de las tasas de interés (ETTI) es la que muestra en un momento dado, la relación entre los tipos de interés al contado para inversiones a diferentes años y su vencimiento correspondiente, teniendo en cuenta que dichas inversiones son distintas únicamente en su plazo.

En cuanto a la curva de rendimientos, Kikut, Muñoz y Duran¹¹⁷ señalan que esta es una representación gráfica que muestra la relación existente entre los rendimientos de títulos valores específicos y el tiempo que falta para cumplir su plazo de vencimiento, en una fecha dada. Los títulos a utilizar para la construcción de la curva, deben poseer las mismas características referidas a liquidez, riesgos y figura impositiva, pues es necesario separar los factores diferentes al plazo de vencimiento, que pueden producir desigualdades en las tasas de rendimientos.

Según Langetieg y Smoot¹¹⁸ para la determinación del modelo apropiado para estimar la ETTI, hay que tomar en cuenta los siguientes factores:

116 MARÍN, J. RUBIO, G., *Op. Cit.*

117 KIKUT, A. MUÑOZ, E. DURÁN, R. *Análisis de la curva de rendimiento y su efecto sobre la actividad económica en Costa Rica*. División Económica del Departamento de Investigaciones Económicas. Costa Rica: Banco Central de Costa Rica, 1996.

118 LANGETIEG, T. SMOOT, J. *Estimation of the Term Structure of Interest Rates*. Research in Financial Services N°1, Stanford CT: Jai Publishing CO, Research in Financial Services, 1989.

- Instrumentos utilizados para descontar los tipos de interés: normalmente se utilizan los títulos de deuda pública o los *swap*. En los mercados de deuda pública que cuentan con un gran volumen de transacciones se puede utilizar la metodología denominada *bootstrapping* (método recursivo) para la estimación de la curva de los tipos de interés.
- Ajuste de la curva dependiendo del tipo de interés: puede ser al contado (*spot*), a plazo (*forward*) o a través de la función de descuento. En la tabla 1 se clasifican los modelos según su tipo de interés y se especifica la función de ajuste que utiliza cada uno.

Tabla 1. Clasificación de los modelos de estimación de la curva de rendimientos según su tipo de interés

| Interés | Modelo | Función de ajuste |
|---|-----------------------------------|------------------------------|
| Tipos de interés al contado (<i>spot</i>) | Langtief y Smoot (1989) | Splines cúbicos |
| | Mastronicola (1991) | Splines cúbicos |
| | Fisher, Nychka y Zervos (1994) | Smoothing splines |
| | Gourieroux y Scalliet (1994) | Smoothing splines |
| Tipos de interés a plazo (<i>forward</i>) | Nelson y Siegel (1987) | Paramétricos (parsimoniosos) |
| | Svensson (1994) | Paramétricos (parsimoniosos) |
| | Diebold y Li (2006) | Paramétricos (parsimoniosos) |
| | Coleman, Fisher y Ibbotson (1992) | Splines |
| | Wiseman (1994) | Exponencial |
| Función de descuento | McCulloch (1971) | Splines polinómicos |
| | Shaefer (1981) | Polinomios de Bernstein |
| | Vasícek y Fong (1982) | Splines exponenciales |
| | Steeley (1991) | B-splines |

Fuente: Elaboración propia

Los modelos paramétricos (parsimoniosos) como el Nelson y Siegel¹¹⁹ proporcionan un modelo más ajustado y acorde con el comportamiento de

119 NELSON, C. Y SIEGEL, A. N. "Parsimonious modelling of yield curves". *Journal of Business* (60), 4 (Oct. 1987), pp. 473-489.

los tipos de interés. Estos modelos se caracterizan por presentar suficiente flexibilidad, lo que permite reconocer las formas de curvas más frecuentes del mercado.

Una vez decidido el modelo a utilizar para ajustar la curva de la ETTI, hay que considerar otros factores como la función base a ajustar, la minimización del error en las tasas de rendimientos y el modelo de ajuste a realizar.

3. Modelos recursivos

El modelo recursivo *bootstrapping*, permite la obtención de tasas *spot*, para así estimar la curva de rendimientos cero cupón. El cálculo de la tasa *spot* permite, a través de los modelos paramétricos, la obtención de la tasa *forward*. Se trata de metodologías no econométricas para obtener valores discretos de la curva cero cupón a través de datos del mercado. Según Ferruz, Portillo y Sarto¹²⁰, es posible aproximarse a la estructura temporal de tasas de interés mediante los datos referentes a “*n*” bonos, con respecto a su fecha, cupón y fecha de pago. El método *bootstrapping*, permite construir la curva de la tasa *spot* teórica a partir de la curva de rendimientos.

El *bootstrapping* es un método recursivo, que indica que para tener el tipo de interés al contado (*spot*) adecuado para un periodo específico, se debe contar con información de todos los plazos anteriores. Teniendo el tipo de interés *spot* para el periodo (*n*-1), se puede conseguir el tipo de interés para el período *n*.

$$C \prod_{s=1}^{n-1} (1 + Y_{t,s})^{-s} + (C + R)(1 + Y_{t,n})^{-n} \quad (7)$$

La expresión del tipo de interés al contado para un plazo *n*, obtenida de la ecuación anterior es la siguiente:

$$Y_{t,n} = \left| \frac{1 - n \sum_{s=1}^{n-1} (1 + Y_{t,s})^{-s}}{1 + n} \right|^{\frac{1}{n}} \quad (8)$$

Una vez hecho el despeje de ($T_{t,n}$), se repite el proceso de la misma manera para poder determinar de manera consecutiva las tasas al contado (*spot*) de los distintos periodos. Con este procedimiento se obtienen las tasas cero cupón para los distintos vencimientos de cada bono, los cuales se

120 FERRUZ, L. PORTILLO, M. SARTO, J. *Dirección financiera del riesgo de interés*. Madrid: Pirámide, 2001.

pueden interpolar, logrando una mejor descripción de la curva, presentando como ventaja una curva cero cupón libre de arbitraje para los distintos bonos.

4. Modelo de Nelson Siegel

Un modelo paramétrico es un conjunto funcional que se comporta según una distribución de probabilidad, que tiene características que suelen ser discretas. Los modelos diseñados bajo este contexto, están basados en regresiones y buscan describir el comportamiento de una variable en específico con otras variables exógenas, por medio de funciones lineales y no lineales. Permite construir la curva de tasas de interés *spot* a partir de la estimación de un conjunto reducido de parámetros que pueden replicar la forma funcional de la curva de rendimientos a partir de una muestra de rendimientos¹²¹.

Según Santana¹²², el trabajo desarrollado por Nelson y Siegel en 1987, introduce un modelo paramétrico para el ajuste de los rendimientos de distintos bonos del tesoro y se caracteriza por ser simple, parsimonioso y presentar suficiente flexibilidad para representar formas de la curva monótonas, unimodales y en forma de S.

Las formas usuales de las curvas de rendimientos vienen asociadas con la solución de ecuaciones en diferencias. Según la teoría de la expectativas de las tasas de interés, las tasas *spot* son elaboradas a través de una ecuación diferencial, de modo que las tasas *forward* serán obtenidas por medio de la solución de las ecuaciones diferenciales.

Nelson y Siegel¹²³ parten del supuesto de que la tasa *forward* instantánea está dada por la solución de una ecuación diferencial de segundo orden con raíces reales y distintas, de la siguiente manera:

$$r(m) = \beta_0 + \beta_1 \exp\left(\frac{-m}{\tau_1}\right) + \beta_2 \exp\left(\frac{-m}{\tau_2}\right) \quad (9)$$

En donde $r(m)$ es la tasa *forward* según el plazo de vencimiento m ; τ_1 es una constante temporal asociada con la ecuación, y β_0 , β_1 , β_2 son parámetros determinados con condiciones iniciales y son los parámetros a ser determinados.

Con el propósito de evitar una sobre-parametrización del modelo, los autores proponen un modelo más parsimonioso, el

121 MARQUEZ, J. NOGUÉS, C. VÉLEZ, V., *Op. Cit.*

122 SANTANA, J. "La curva de rendimientos: una revisión metodológicas y nuevas aproximaciones de estimación". *Cuadernos de Economía*, 32, 2008.

123 NELSON, C. Y SIEGEL, A. N., *Op. Cit.*

cual está dado por la solución de la ecuación diferencial para el caso de raíces iguales:

$$r(m) = \beta_0 + \beta_1 \exp\left(\frac{-m}{\tau_1}\right) + \beta_2 \left[\left(\frac{m}{\tau_1}\right) \exp\left(\frac{-m}{\tau_1}\right) \right] \quad (10)$$

La ecuación anterior puede ser vista como una constante más una función de tipo Laguerre, proponiendo un método para la generalización a modelos de mayor orden.

Debido a que la tasa *forward* se define por los cambios instantáneos en la tasa *spot*, la estructura temporal de las tasas de interés (ETTI) se puede representar como el promedio de la tasa *forward* sobre un periodo:

$$R(m) = \frac{1}{m} \int_0^m r(x) dx \quad (11)$$

Aplicando este cálculo a la ecuación (10) y resolviendo la integral correspondiente por partes, se obtiene la expresión del tipo de interés al contado (*spot*), presentado en la ecuación (12):

$$R(m) = \beta_0 + (\beta_1 + \beta_2) \left[\frac{1 - \exp\left(\frac{-m}{\tau}\right)}{\left(\frac{-m}{\tau}\right)} \right] - \beta_2 \exp\left(\frac{-m}{\tau_1}\right) \quad (12)$$

Según Nelson y Siegel¹²⁴, los coeficientes del modelo denotan el peso que se les da a los componentes de corto, mediano o largo plazo de la curva forward. El primer término, el límite de $R(m)$ cuando m tiende a infinito es la constante β_0 , por lo que el parámetro β_0 es el indicador del nivel de la tasa de interés en el largo plazo, mientras que β_1 indica el peso de los componentes a corto plazo y β_2 señala la importancia relativa de mediano plazo en la estructura temporal de las tasas de interés (ETTI). El parámetro τ , es una constante temporal y determina la rapidez con la que los términos que lo incluyen en la ecuación tienden a infinito. Si el valor del parámetro es pequeño, los plazos cortos se aproximan de mejor manera; de lo contrario, si su valor es grande, el ajuste es mejor para los plazos más largos.

Alternativamente, en la literatura existe otra clasificación de los componentes de la ecuación (10), que se puede entender en términos del nivel, pendiente y curvatura. El parámetro β_0 determina el nivel de la estructura, es decir un cambio de éste implica una modificación en la curva; el parámetro β_1 es el diferencial entre los rendimientos de corto y largo plazo, indicando la pendiente de la curva, la cual es positiva si $\beta_1 < 0$ y negativa si $\beta_1 > 0$; β_2

124 NELSON, C. Y SIEGEL, A. N., *Op. Cit.*

se relaciona con la curvatura de la ETTI, esto es, un alza de este parámetro tendrá un efecto minúsculo en los rendimientos de muy corto o muy largo plazo, pero significará un aumento en los rendimientos de mediano plazo.

Este modelo ha sido utilizado por Bancos Centrales de diversos países con gran éxito, debido a que presenta ventajas importantes con respecto a otros, como son: buen ajuste, mínima discrecionalidad al momento de estimar, estimaciones estables a partir de un número menor de observaciones, bajos requerimientos de información y tiene una amplia facilidad para pasar de una forma funcional a otra, ya que puede conseguir expresiones equivalentes para la función de descuento o forward a partir de los parámetros de obtenidos de la función de tipos al contado (spot).

5. Sistema financiero: el caso venezolano

En Venezuela los mercados financieros son poco desarrollados, debido a las abundantes restricciones e inconsistencias a las que se han tenido que adaptar los diferentes agentes que participan en él, trayendo como efecto una disminución en las inversiones privadas de las empresas y mayores emisiones del Gobierno Nacional.

Según el Informe Económico del BCV¹²⁵ del año 2010, en Venezuela las autoridades han estimulado el mercado interno de deuda pública, con el propósito de desarrollar y diversificar el mercado primario, por lo que se han emitido distintos instrumentos financieros como son: bonos con tasas variables (VEBONOS), instrumentos de tasa fija (TIF), títulos de interés y capital cubierto (TICC), bonos amortizables y bonos para el desarrollo agrícola, generando mayores oportunidades de inversión para el ahorro doméstico. Con respecto al mercado secundario, este ha presentado en los últimos años una reducción en el valor del volumen negociado respecto del total de la deuda interna en circulación y el volumen de las transacciones pactadas.

A pesar de las medidas tomadas para desarrollar el mercado primario de capitales, específicamente el mercado de deuda pública, aún persisten limitaciones que dificultan su profundización, tales como: la concentración de los inversionistas, los cuales en su mayoría son bancos. Además, las emisiones de títulos de deuda pública por parte del Estado serán mayores cuanto menores sean los ingresos petroleros, ya que se necesitan de otros medios para financiar la política fiscal que desea establecer el Estado en esos momentos.

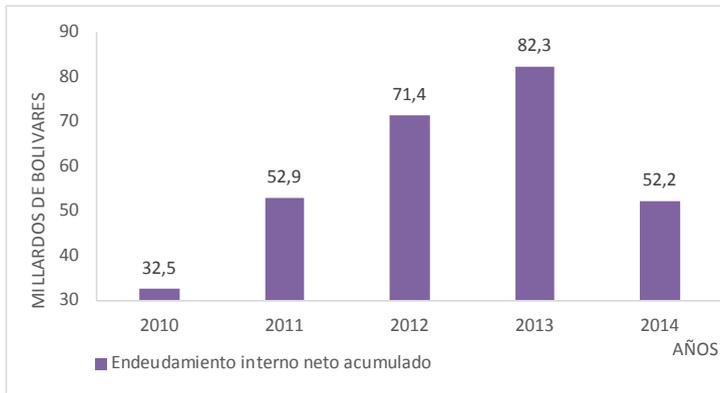
El saldo total de la deuda pública del Gobierno central se ha ido incrementando en el tiempo. Para el año 2012 este representaba el 25,10% del PIB, lo que significaba un incremento de 6,80 puntos porcentuales con respecto al año 2011. Para el año 2013 la deuda pública alcanzó una cifra de US\$

125 BANCO CENTRAL DE VENEZUELA. *Op. Cit.*

1.115,28 millones, representando un alza de 9,90 % comparándolo con el año 2012¹²⁶. El endeudamiento interno de la República ha venido incrementándose en términos nominales, como se observa en el gráfico 1.

Gráfico 1. Endeudamiento interno neto acumulado (emisiones)

Gráfico 1. Endeudamiento interno neto acumulado



Fuente: BCV y Cálculos propios

6. Estimación y análisis de la curva de rendimientos de la deuda pública venezolana

En esta sección se presenta la estimación de la curva de rendimientos, que se obtuvo mediante el cálculo de la tasa *spot* de mercado, a través del rendimiento al vencimiento. Posteriormente, se aplicó el método recursivo, *bootstrapping*, para obtener la tasa *spot* cero cupón y partiendo de estas dos estimaciones se procedió a aplicar el modelo paramétrico Nelson-Siegel para así calcular las tasas *forward* respectivas. Se procedió a contrastar la estimación de la curva de rendimientos *spot* de mercado y cero cupón con su respectiva tasa *forward* para los títulos valores de la Deuda Pública Interna venezolana, para poder comprobar si el mercado valora de manera adecuada estos títulos valores.

Para la estimación de la curva de rendimientos *spot* de mercado y cero cupón se utilizaron los títulos de Deuda Pública Nacional (DPN), títulos de cupón variable (VEBONOS) y títulos de cupón fijo (TIF); se tomaron en cuenta todos los títulos vigentes entre el periodo de enero 2010 y julio de 2014. Se

¹²⁶ MURILLO, G. *Informe Semestral de la Banca Comercial y Universal*. Caracas: Banco Mercantil, 2014.

evaluaron un total de 47 VEBONOS y 45 TIF, tomando las referencias de precios diarias del mercado primario (subasta) y mercado secundario (operaciones 022) registradas y publicadas por el BCV. Las fechas de valoración se ubicaron todos los viernes de las semanas de estudio y los cierres de mes para cada uno de los años.

7. Estimación de la curva de rendimientos spot de mercado y cero cupón

En Venezuela la estimación de la curva de rendimientos se realiza a través de la tasa *spot* de mercado, tomando como referencia los precios del mercado, para luego calcular el rendimiento al vencimiento de los respectivos títulos valores.

Para realizar la estimación de la curva de rendimientos *spot* cero cupón se utilizó el método recursivo, conocido como *bootstrapping*, que presenta la siguiente ecuación:

$$Y_{t,n} = \left| \frac{1 - n \sum_{x=1}^{n-1} (1 + Y_{t,x})^{-x}}{1 + n} \right|^{\frac{1}{n}} \quad (13)$$

Para desarrollar el *bootstrapping* se estructuraron los resultados de las tasas de descuento para cada periodo de los flujos de cupones, presentándose un ejemplo en la tabla 2, ordenados en las columnas "ST" que significa la tasa *spot* teórica cero cupón. La primera columna establece el valor de la tasa de descuento del primer cupón, la segunda columna muestra la tasa de descuento del segundo cupón tomando como referencia el rendimiento del periodo anterior, y así sucesivamente hasta llegar a la fecha de vencimiento donde se recibe el último pago del cupón más el valor nominal del bono.

Luego de estimar cada una de las tasas de descuento correspondientes a cada estructura de cada título valor, se calculó el promedio ponderado de las mismas con sus respectivos plazos remanentes, siendo este el rendimiento cero cupón del título al vencimiento. Este procedimiento se realizó para cada uno de los títulos valores en estudio. En la tabla 2 se presenta un ejemplo ilustrativo de la estimación de los rendimientos *spot* cero cupón para el título valor VEBONO con cupón variable y vencimiento en mayo de 2010 (VB0510):

Tabla 2. Proceso de estimación de la tasa spot cero cupón

Fuente: Cálculos Propios

Con respecto a la estimación del rendimiento al vencimiento *spot* de mercado, ésta se realizó para todos los títulos valores que se encontraban vigentes para el período 2010-2014 y se desarrolló mediante la siguiente ecuación de flujo de caja descontado:

$$VP = \frac{CF}{(1+i)^n} \quad (14)$$

A continuación se presenta un ejemplo ilustrativo de la estimación de los rendimientos *spot* de mercado para el título valor VB0510:

Tabla 3. Proceso de estimación de la tasa *spot* de mercado

| Periodo/Pago Cupon | Cupón | Capital | Valor Facil | Días Remanentes | Plazo Acumulado | Días Transcurridos | Inicio del cupón | Final del cupón | Tasa de Descuento | Flujo de cupones | Valor presente del capital/intereses | Ingreso Transcurrido | YTM |
|-----------------------|----------|---------|----------------|--------------------|--------------------|-----------------------|---------------------|--------------------|----------------------|---------------------|---|-------------------------|----------|
| 1 | 0.122500 | 100 | 0 | 31 | 31.00 | 0 | 02-09-2005 | 02-12-2005 | 1.0460 | 3.09653 | 2.59237 | 0 | 13.5878% |
| 2 | 0.122500 | 100 | 0 | 31 | 62.00 | 0 | 02-12-2005 | 03-03-2006 | 1.0460 | 3.09653 | 2.39208 | 0 | 13.5878% |
| 3 | 0.122500 | 100 | 0 | 31 | 93.00 | 0 | 03-03-2006 | 02-06-2006 | 1.0460 | 3.09653 | 2.19673 | 0 | 13.5878% |
| 4 | 0.122500 | 100 | 0 | 31 | 124.00 | 0 | 02-06-2006 | 01-09-2006 | 1.0460 | 3.09653 | 2.00242 | 0 | 13.5878% |
| 5 | 0.122500 | 100 | 0 | 31 | 155.00 | 0 | 01-09-2006 | 01-12-2006 | 1.0460 | 3.09653 | 2.61224 | 0 | 13.5878% |
| 6 | 0.122500 | 100 | 0 | 31 | 186.00 | 0 | 01-12-2006 | 02-03-2007 | 1.0460 | 3.09653 | 2.52486 | 0 | 13.5878% |
| 7 | 0.122500 | 100 | 0 | 31 | 217.00 | 0 | 02-03-2007 | 01-06-2007 | 1.0460 | 3.09653 | 2.44044 | 0 | 13.5878% |
| 8 | 0.122500 | 100 | 0 | 31 | 248.00 | 0 | 01-06-2007 | 31-08-2007 | 1.0460 | 3.09653 | 2.35863 | 0 | 13.5878% |
| 9 | 0.122500 | 100 | 0 | 31 | 279.00 | 0 | 31-08-2007 | 30-11-2007 | 1.0460 | 3.09653 | 2.27904 | 0 | 13.5878% |
| 10 | 0.122500 | 100 | 0 | 31 | 310.00 | 0 | 30-11-2007 | 29-02-2008 | 1.0460 | 3.09653 | 2.20370 | 0 | 13.5878% |
| 11 | 0.122500 | 100 | 0 | 31 | 1.001.00 | 0 | 29-02-2008 | 30-05-2008 | 1.0460 | 3.09653 | 2.13000 | 0 | 13.5878% |
| 12 | 0.122500 | 100 | 0 | 31 | 1.099.00 | 0 | 30-05-2008 | 29-08-2008 | 1.0460 | 3.09653 | 2.05817 | 0 | 13.5878% |
| 13 | 0.122500 | 100 | 0 | 31 | 1.193.00 | 0 | 29-08-2008 | 30-11-2008 | 1.0460 | 3.09653 | 1.98932 | 0 | 13.5878% |
| 14 | 0.122500 | 100 | 0 | 31 | 1.274.00 | 0 | 28-11-2008 | 27-02-2009 | 1.0460 | 3.09653 | 1.92337 | 0 | 13.5878% |
| 15 | 0.122500 | 100 | 0 | 31 | 1.355.00 | 0 | 27-02-2009 | 29-05-2009 | 1.0460 | 3.09653 | 1.86005 | 0 | 13.5878% |
| 16 | 0.122500 | 100 | 0 | 31 | 1.436.00 | 0 | 29-05-2009 | 28-08-2009 | 1.0460 | 3.09653 | 1.79907 | 0 | 13.5878% |
| 17 | 0.122500 | 100 | 0 | 31 | 1.517.00 | 0 | 28-08-2009 | 27-11-2009 | 1.0460 | 3.09653 | 1.73678 | 0 | 13.5878% |
| 18 | 0.122500 | 100 | 0 | 31 | 1.636.00 | 0 | 27-11-2009 | 26-02-2010 | 1.0460 | 3.09653 | 1.67870 | 0 | 13.5878% |
| 19 | 0.122500 | 100 | 100 | 31 | 1.729.00 | 0 | 26-02-2010 | 26-05-2010 | 1.0460 | 3.09653 | 54.0236 | 0 | 13.630% |

Fuente: Cálculos Propios

Estos procedimientos se aplicaron para todos los títulos valores en estudio, debido a que las referencias de mercado son de precios y no de rendimientos, y el mercado los negocia a partir del rendimiento *spot* de mercado y no del rendimiento calculado con la conversión al rendimiento cero cupón.

8. Aplicación del Modelo Nelson-Siegel

El modelo de Nelson-Siegel permitió realizar la optimización tanto para los rendimientos al vencimiento *spot* de mercado, como para los rendimientos que fueron calculados a través de método *bootstrapping*, obteniéndose así el rendimiento al vencimiento ajustado y la respectiva minimización de los errores para cada semana.

Este modelo parsimonioso es no lineal, y la estimación fue realizada a través de una simulación financiera con múltiples restricciones. La simulación se realizó de la siguiente manera, tomando como base la ecuación planteada por el modelo Nelson-Siegel:

1. Se seleccionó un vector de parámetros $(\beta_0, \beta_1, \beta_2, \tau_1)$
2. Partiendo de estos parámetros se procedió a calcular la tasa *forward*, a través de la ecuación de Nelson-Siegel:

$$r(m) = \beta_0 + \beta_1 \exp\left(\frac{-m}{\tau_1}\right) + \beta_2 \left[\left(\frac{m}{\tau_1}\right) \exp\left(\frac{-m}{\tau_1}\right) \right] \quad (23)$$

3. Se realizó la simulación minimizando los errores cuadráticos de los rendimientos, tanto para la tasa *spot* de mercado y cero cupón, para luego realizar una comparación de los mismos.

Se aplicaron dos criterios de selección de los datos antes de la realización del modelo Nelson-Siegel. El primero consistió en construir las curvas de rendimientos *spot* de mercado y cero cupón con los rendimientos estimados en cada semana, así como realizar la selección de aquellos títulos valores considerando el mercado primario y aquellos rendimientos que reflejaban el promedio del mercado sin tomar en cuenta el volumen negociado. Esta selección de títulos se denominó "Criterio de selección de ajuste". El segundo criterio que se utilizó considera el volumen pactado de los títulos valores generado en cada operación diaria, manteniendo la prioridad sobre aquellos rendimientos alcanzados en la subasta. Este criterio se denominó "Criterio de selección de volumen".

Las referencias no incluidas son aquellas que presentaban volúmenes pequeños con relación a los montos negociados en el mercado profesional y aquellas que representaban una desviación significativa en la estimación de los rendimientos al vencimiento *spot* de mercado y cero cupón, respectivamente. Luego de haber aplicado ambos criterios de selección, se procedió aplicar el modelo Nelson-Siegel semanalmente, para cada grupo de rendimientos obtenidos durante el periodo 2010-2014, evaluando el comportamiento de la minimización de los errores aplicado en el caso de ambos criterios.

Una vez realizada la estimación de la curva de rendimientos tanto para las tasas *spot* y *forward* de mercado y cero cupón, se pudo observar dos comportamientos distintos dentro del periodo de estudio 2010-2014 con respecto a la ubicación de las curvas de rendimientos *spot* de mercado y *spot* cero cupón. El primer comportamiento abarca los años 2010-2011, donde la curva *spot* cero cupón se encuentra por encima de la curva *spot* de mercado; y el segundo periodo está conformado por los años 2012 al 2014 y la curva *spot* cero cupón se ubicó por debajo de la curva de rendimientos *spot* de mercado. Esta diferencia se explica ya que la curva de rendimientos *spot* cero cupón es libre de arbitraje para el conjunto de bonos utilizados, es decir que el valor asignado de un bono debe ser igual al valor del paquete de la cartera réplica de dicho bono construida con bonos cero cupón¹²⁷.

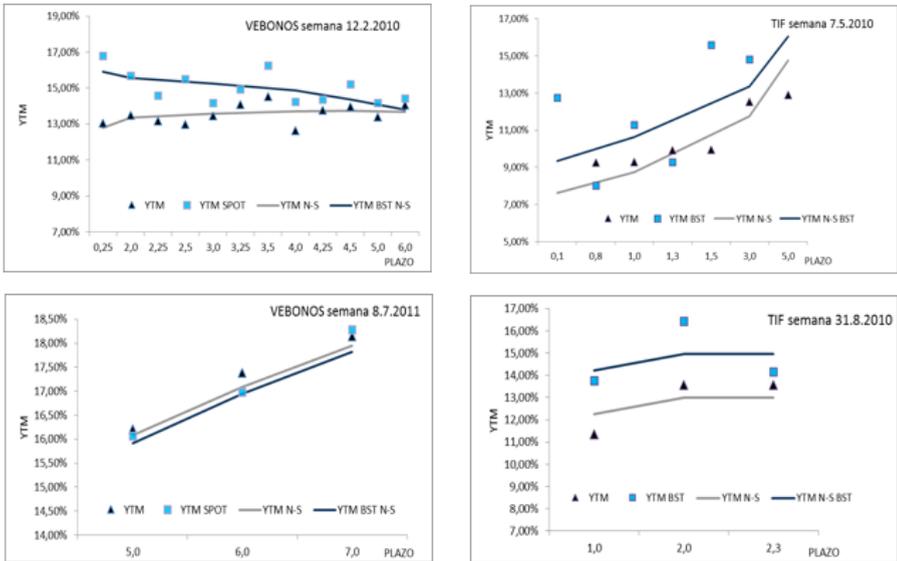
9. Análisis de resultados para el período 2010-2011

Durante este periodo la estimación de la curva de rendimientos *spot* de mercado (YTM) se ubicó por debajo de la curva de rendimientos *spot* cero cupón (YTM BST), presentando esta última mayores rendimientos y menores precios, manteniéndose la misma estructura luego de haber estimado las tasas *forward* a través de la simulación del modelo de Nelson-Siegel.

Luego de analizar este primer periodo se pudieron observar curvas principalmente con pendiente ascendente, lo que pareciera indicar que los inversionistas no tienen seguridad por los tipos de interés futuros y desean ser compensados por el mayor riesgo asumido, como se muestra en el gráfico 2 para los TIF de la semana 7/05/2010 y los VEBONOS en la semana 8/07/2011. También se observaron curvas con pendiente descendentes, lo que pudiera significar que los inversionistas esperan que las tasas de interés disminuyan, es decir que las tasas de corto plazo caigan en mayor proporción que las tasas a largo plazo, como se observa en el gráfico 2 para los VEBONOS en la semana 12/02/2010. Por último, se obtuvieron curvas con pendiente planas, lo que pareciera señalar que las tasas de interés de corto plazo futuras se mantendrán estables, mostrándose en la gráfica 8 para los TIF en la semana 31/08/2010 (ver tablas 4 y 5).

127 FABOZZI, F. MODLIGLIANI, F. FERRI, M. *Mercados e instituciones financieras*. México: Prentice-Hall Hispanoamerica, 2001, p. 202.

Gráfico 2. Formas de las curvas de rendimientos obtenidas 2010-2011



Fuente: BCV y Cálculos Propios

La estimación de ambas curvas tienden a converger en el largo plazo, observándose casos donde las curvas coincidían a lo largo de la trayectoria, siendo la curva de rendimientos *spot* de mercado (YTM) un buen estimador con respecto a la estimación *spot* cero cupón en el mercado venezolano. También se pudieron observar curvas que se mantienen paralelas a lo largo del periodo, como se observa en el gráfico 2.

La tabla 4 resume el comportamiento promedio de las curvas de rendimientos empleando el criterio de selección de ajuste, para el periodo 2010-2011:

Tabla 4. Distribución del comportamiento promedio de las curvas de rendimientos para el periodo 2010-2011, según el criterio de selección de ajuste

| Título Valores | VEBONOS | | TIF | |
|----------------------------------|---------|---------|------|---------|
| | YTM | YTM BST | YTM | YTM BST |
| 2010 | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Curvas con pendiente plana | 25% | 24% | 7% | 7% |
| Curvas con pendiente descendente | 19% | 27% | 12% | 22% |
| Curvas con pendiente ascendente | 56% | 49% | 81% | 71% |
| 2011 | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Curvas con pendiente plana | 5% | 8% | 7% | 3% |
| Curvas con pendiente descendente | 10% | 15% | 5% | 5% |
| Curvas con pendiente ascendente | 85% | 77% | 88% | 92% |

Fuente: Cálculos Propios

Fuente: Cálculos propios

La tabla 5 muestra el comportamiento promedio de las curvas de rendimientos, empleando el criterio de selección de volumen, para los años 2010-2011.

Tabla 5: Distribución del comportamiento promedio de las curvas de rendimientos para el periodo 2010-2011 según el criterio de selección de volumen

| Título Valores | VEBONOS | | TIF | |
|----------------------------------|---------|---------|------|---------|
| | YTM | YTM BST | YTM | YTM BST |
| 2010 | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Curvas con pendiente plana | 18% | 17% | 4% | 8% |
| Curvas con pendiente descendente | 22% | 34% | 8% | 20% |
| Curvas con pendiente ascendente | 60% | 49% | 88% | 72% |
| 2011 | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Curvas con pendiente plana | 10% | 10% | 8% | 8% |
| Curvas con pendiente descendente | 7% | 14% | 15% | 12% |
| Curvas con pendiente ascendente | 83% | 76% | 77% | 80% |

Fuente: Cálculos propios

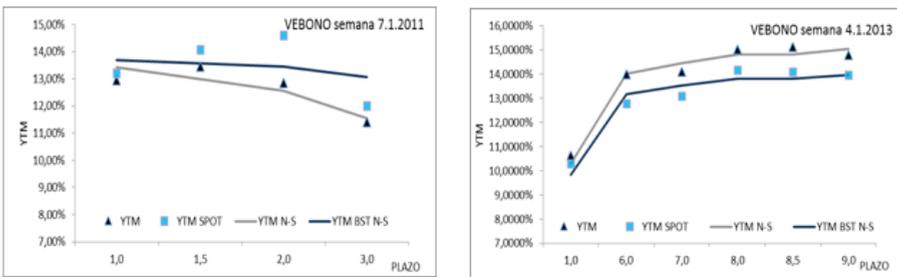
Los resultados obtenidos a lo largo del periodo 2010-2011 se ven influenciados por las características económicas del entorno venezolano. Durante el periodo 2010-2011 se puede observar que la liquidez presentó una recuperación, haciendo que se presentaran menores precios y mayores rendimientos de los títulos valores, debido a la menor demanda de activos financieros de Deuda Pública Interna venezolana por parte de las entidades financieras. A medida que fueron mejorando las condiciones de liquidez, los precios de la DPN (VEBONOS y TIF) disminuyen y se ubicaron a descuento en el año 2010, para luego comenzar a aumentar, llegando muy cerca de su valor par.

10. Análisis de resultados para el periodo 2012-2014

Durante este periodo se pudo observar que hubo un cambio estructural con respecto al periodo 2010-2011, ya que la estimación de la curva de rendimientos *spot* de mercado (YTM) se localizó por encima de la curva

de rendimientos *spot* cero cupón (YTM BST) a lo largo de este periodo, presentando esta última menores YTM y mayores precios, permaneciendo la misma estructura hasta el segundo semestre de 2014, luego de haber estimado las tasas *forward* para ambas curvas a través del modelo de Nelson-Siegel. Este comportamiento se pudo observar para los títulos valores VEBONOS. A continuación en el gráfico 3, comparando la semana 7/01/2011 versus la semana 4/01/2013.

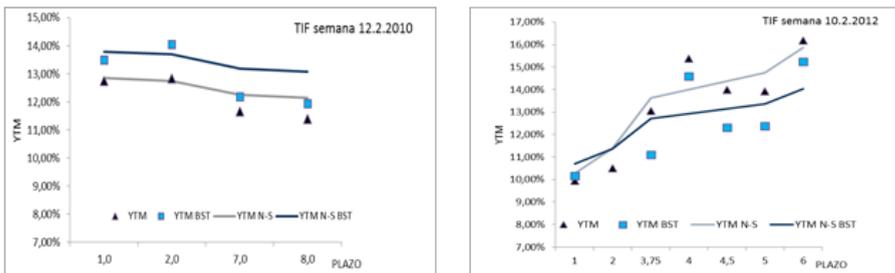
Gráfico 3. Comparación de la estimación de la curva de rendimientos spot de mercado y cero cupón entre los años 2011 y 2013



Fuente: BCV y Cálculos Propios

De manera similar, se presentó este comportamiento para los títulos valores TIF. A continuación se muestra en el gráfico 4, la comparación de la semana del 12/02/2010 versus la semana del 10/02/2012.

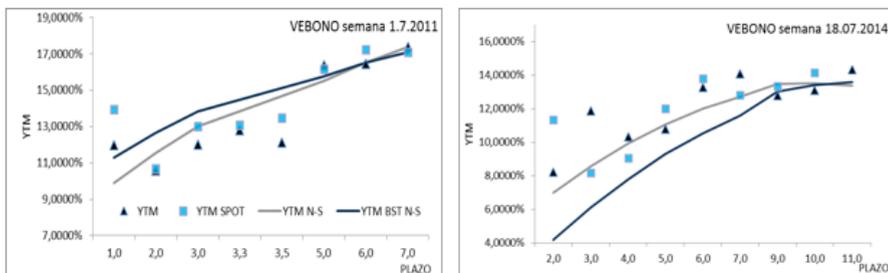
Gráfico 4: Comparación de la estimación de la curva de rendimientos spot de mercado y cero cupón entre los años 2010 y 2012



Fuente: BCV y Cálculos Propios

De manera similar, se presentó este comportamiento para los títulos valores VEBONOS. A continuación se muestra en el gráfico 5, la comparación de la semana del 1/7/2011 versus la semana del 18/07/2014.

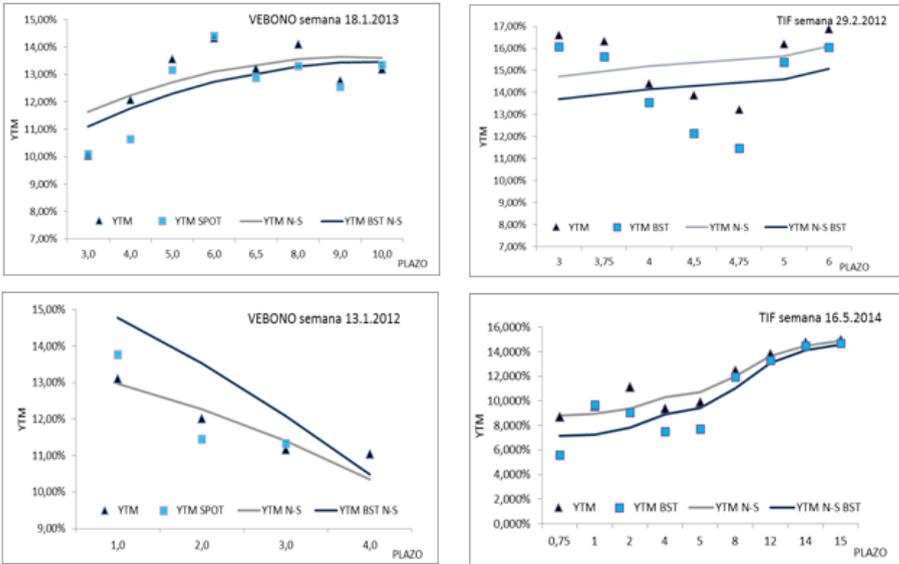
Gráfico 5. Comparación de la estimación de la curva de rendimientos spot de mercado y cero cupón entre los años 2011 y 2014



Fuente: BCV y Cálculos Propios

Al realizar el análisis de este segundo periodo se pudieron observar curvas con pendiente ascendente, lo que pudiera indicar que los inversionistas no tienen seguridad por los tipos de interés futuros y desean ser compensados por una mayor prima debido al riesgo asumido, como se muestra en el gráfico 6 para los VEBONOS en la semana del 18/01/2013 y para los TIF en la semana del 16/05/2014. Se obtuvieron curvas con pendiente descendente, de lo que se pudiera inferir que los inversionistas esperan que las tasas de interés disminuyan, como se observa en el gráfico 6 para los VEBONOS en la semana del 13/01/2012. Por último se obtuvieron curvas con pendiente plana, lo que pareciera señalar que las tasas de interés de corto plazo futuras se mantendrán estables como lo muestra en el gráfico 6 para los TIF en la semana 29/02/2012.

Gráfico 6. Forma de las curvas de rendimientos obtenidas durante el periodo 2012-2014



Fuente: BCV y Cálculos Propios

En la tabla 6 se presenta el comportamiento promedio de las curvas de rendimientos, empleando el criterio de selección de ajuste, para el periodo 2012-2014.

Tabla 6. Distribución del comportamiento promedio de las curvas de rendimientos para el periodo 2012-2014 según el criterio de selección de ajuste

| Título Valores | VEBONOS | | TIF | |
|----------------------------------|---------|---------|------|---------|
| | YTM | YTM BST | YTM | YTM BST |
| 2012 | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Curvas con pendiente plana | 2% | 2% | 13% | 12% |
| Curvas con pendiente descendente | 3% | 7% | 13% | 13% |
| Curvas con pendiente ascendente | 95% | 91% | 74% | 75% |
| 2013 | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Curvas con pendiente plana | 0% | 0% | 9% | 4% |
| Curvas con pendiente descendente | 5% | 3% | 3% | 4% |
| Curvas con pendiente ascendente | 95% | 97% | 88% | 92% |
| 2014 | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Curvas con pendiente plana | 6% | 6% | 3% | 3% |
| Curvas con pendiente descendente | 3% | 3% | 9% | 3% |
| Curvas con pendiente ascendente | 91% | 91% | 88% | 94% |

Fuente: Cálculos propios

La tabla 7 muestra el comportamiento promedio de las curvas de rendimientos, empleando el criterio de selección de volumen, para los años 2012-2014.

Tabla 7. Distribución del comportamiento promedio de las curvas de rendimientos para el periodo 2012-2014 según el criterio de selección de volumen

| Título Valores | VEBONOS | | TIF | |
|----------------------------------|---------|---------|------|---------|
| | YTM | YTM BST | YTM | YTM BST |
| 2012 | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Curvas con pendiente plana | 5% | 7% | 15% | 15% |
| Curvas con pendiente descendente | 0% | 0% | 15% | 20% |
| Curvas con pendiente ascendente | 95% | 93% | 70% | 65% |
| 2013 | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Curvas con pendiente plana | 0% | 0% | 5% | 0% |
| Curvas con pendiente descendente | 5% | 0% | 7% | 8% |
| Curvas con pendiente ascendente | 95% | 100% | 88% | 92% |
| 2014 | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Curvas con pendiente plana | 3% | 0% | 3% | 6% |
| Curvas con pendiente descendente | 9% | 6% | 0% | 0% |
| Curvas con pendiente ascendente | 88% | 94% | 97% | 94% |

Fuente: Cálculos propios

Las estimaciones de ambas curvas tienden a converger en el largo plazo, observándose casos donde las curvas coincidían a lo largo de la trayectoria, cumpliéndose al igual que el periodo anterior, que la curva de rendimientos spot de mercado es un buen estimador de la curva de rendimientos para el mercado venezolano. También se pudieron observar curvas que se mantienen paralelas a lo largo del periodo.

11. Minimización de los errores obtenidos en el modelo Nelson-Siegel

Luego de tomar en cuenta los dos criterios de selección sobre los datos mencionados anteriormente, se pudo observar que los errores se comportaron de manera distinta, es decir, se comprobó que a medida que aumentaba el número de observaciones en la aplicación del modelo Nelson-Siegel el error se incrementaba significativamente con respecto al caso donde se tomaron en cuenta menores observaciones, pudiéndose observar el promedio de los resultados de los errores en las tablas 8 y 9.

Tabla 8. Promedio anual de la minimización de los errores y promedio anual de las observaciones según el criterio de selección de ajuste para el periodo 2010-2014

| Año | Promedio anual N° de observaciones utilizadas | | Minimización de los errores YTM | | Minimización de los errores cero cupón | |
|------|---|-----|---------------------------------|-------|--|-------|
| | VEBONOS | TIF | VEBONOS | TIF | VEBONOS | TIF |
| 2010 | 4 | 5 | 1,94 | 11,68 | 3,59 | 14,30 |
| 2011 | 4 | 5 | 1,17 | 3,90 | 1,64 | 4,20 |
| 2012 | 5 | 6 | 0,83 | 6,93 | 1,30 | 9,09 |
| 2013 | 6 | 5 | 2,25 | 4,06 | 2,54 | 7,22 |
| 2014 | 5 | 5 | 2,25 | 2,69 | 3,17 | 5,11 |

Fuente: Cálculos propios

Tabla 9. Promedio anual de la minimización de los errores y promedio anual de las observaciones según el criterio de selección de volumen 2010-2014

| Año | Promedio anual N° de observaciones utilizadas | | Minimización de los errores YTM | | Minimización de los errores cero cupón | |
|------|---|-----|---------------------------------|-------|--|-------|
| | VEBONOS | TIF | VEBONOS | TIF | VEBONOS | TIF |
| 2010 | 6 | 6 | 3,79 | 10,35 | 7,88 | 11,65 |
| 2011 | 5 | 6 | 2,50 | 12,54 | 4,15 | 4,94 |
| 2012 | 6 | 7 | 2,77 | 13,91 | 3,95 | 18,39 |
| 2013 | 7 | 7 | 4,18 | 17,50 | 3,50 | 10,13 |
| 2014 | 6 | 6 | 4,55 | 6,72 | 8,22 | 6,99 |

Fuente: Cálculos propios

Al comparar ambas tablas se puede observar que la minimización de los errores usando el criterio de ajuste de la curva de rendimientos para los años 2010-2014 fue menor que cuando se aplicó el criterio de selección a través del volumen de operación de los títulos valores. Este resultado se mantuvo durante todo el periodo de estudio utilizando un rango de observaciones entre 1 a 6 observaciones, como se puede observar en la tabla 10. Esto se debe a que el modelo parsimonioso Nelson-Siegel funciona de mejor manera cuando se utilizan menores referencias u observaciones.

Tabla 10. Comparación de la minimización del error según los criterios de selección utilizados

| Tipo de título valor | Semana | Criterio de Selección | N° de observaciones utilizadas | Minimización de los errores YTM | Minimización de los errores cero cupón |
|----------------------|------------|-----------------------|--------------------------------|---------------------------------|--|
| TIF | 14-05-2010 | ajuste | 6 | 3,21 | 2,41 |
| | | volumen | 12 | 56,90 | 42,12 |
| VEBONOS | 15-04-2011 | ajuste | 6 | 0,89 | 2,06 |
| | | volumen | 10 | 11,45 | 26,03 |
| TIF | 31-10-2012 | ajuste | 7 | 3,81 | 19,76 |
| | | volumen | 11 | 13,59 | 41,78 |
| VEBONOS | 19-04-2013 | ajuste | 9 | 2,20 | 4,16 |
| | | volumen | 12 | 9,02 | 16,21 |
| TIF | 06-06-2014 | ajuste | 6 | 0,72 | 0,40 |
| | | volumen | 10 | 16,42 | 18,38 |

Fuente: Cálculos propios

De manera ilustrativa se muestra para cada uno de los años del periodo de estudio, las curvas de rendimientos obtenidas estableciendo una comparación entre los criterios de selección, pudiéndose observar que las tasas *spot* de mercado y cero cupón se ajustan de mejor manera con su respectiva tasa *forward*, cuando se utiliza el criterio de selección de ajuste, mientras que aplicando el criterio de selección de volumen el ajuste se puede observar más disperso.

La siguiente tabla muestra el número total de títulos valores utilizados para la semana del 14/05/2010 para cada uno de los criterios de selección, con su respectiva estimación de la minimización de los errores, tanto para la tasa *forward* de mercado como la tasa *forward* cero cupón.

Tabla 11. Datos de la Minimización de los Errores de Estimación

| Fecha | Criterio de Selección | Número de Títulos utilizados | Minimización de error con YTM | Minimización de error con YTM cero cupón |
|------------|-----------------------|------------------------------|-------------------------------|--|
| 14/05/2010 | Con Ajuste | 5 | 1,229001907 | 0,152945376 |
| | Con Volumen | 6 | 2,724385242 | 2,636603906 |
| 31/03/2011 | Con Ajuste | 5 | 1,254015703 | 0,773701218 |
| | Con Volumen | 6 | 1,652345776 | 3,664906959 |
| 13/04/2012 | Con Ajuste | 6 | 2,155986557 | 3,816474955 |
| | Con Volumen | 12 | 4,320219648 | 10,19397457 |
| 13/09/2013 | Con Ajuste | 6 | 0,514611097 | 1,144666177 |
| | Con Volumen | 7 | 3,107756527 | 8,297102692 |
| 13/06/2014 | Con Ajuste | 5 | 1,084532701 | 0,900113402 |
| | Con Volumen | 6 | 1,625702705 | 3,829964378 |

Fuente: Cálculos propios

En general, se pudo observar que la minimización de los errores YTM y YTM cero cupón, tanto para los VEBONOS como para los TIF fue menor cuando se utilizó el criterio de selección de ajuste, donde el número total de títulos utilizados fue menor que en el criterio de selección de volumen.

En general, para el periodo de estudio se observa que la valoración de la Deuda Pública Interna venezolana a través de la curva de rendimientos *spot* mercado es muy parecida a la valoración de estos títulos obtenidos por medio de la estimación de la curva de rendimientos *spot* cero cupón. También se pudo observar que la tasa *forward* se comporta de manera muy similar con su respectiva tasa *spot*. De hecho la minimización del error de estimación oscila en promedio en un rango entre 0,83 a 18,39, donde el 18,39 se observa en periodo cercanos al inicio de los programas semanales de subasta de los VEBONOS como de los TIF.

12. Conclusiones

En el presente trabajo se realizó la estimación de la curva de rendimientos de la Deuda Pública Interna venezolana, estableciendo una comparación entre las tasas *forward* y *spot*. El objetivo fue evaluar el comportamiento de las tasas de interés empleando modelos recursivos (*bootstrapping*) y modelos parsimoniosos (Nelson-Siegel) con el fin de constatar cuál de las dos metodologías presentaba una mejor estimación de la curva de rendimientos del mercado de deuda venezolana.

La Estructura Temporal de las Tasas de Interés (ETTI) a través de la curva de rendimientos, como representación gráfica, presenta una gran

versatilidad para el caso de la deuda pública interna venezolana. Luego de revisar ambas estimaciones de la curva de rendimientos, se pudo observar que durante los años 2010-2011 presentaron un comportamiento similar, donde la curva *spot* cero cupón se encontró por encima de la curva *spot* de mercado, manteniéndose de forma similar tras la aplicación del modelo Nelson-Siegel, presentándose durante este periodo precios a descuento con mayores rendimientos al vencimiento.

Para los años 2012-2014, debido a un aumento de la Liquidez Monetaria (M2) y una mejoría en la actividad económica interna, se pudo observar un cambio estructural en la curva de rendimientos, presentándose la curva *spot* de mercado por encima de la curva *spot* cero cupón, comportándose la estimación de la tasa *forward* de manera similar. Los precios durante este periodo estuvieron a prima con menores rendimientos. En general, la estimación de la curva de rendimientos *spot* de la Deuda Pública venezolana no sobreestima los títulos valores con respecto a la estimación de la curva de rendimientos de la tasa *forward*, sino que ambas curvas describen un comportamiento similar.

Durante todo el periodo de estudio se presentaron en su mayoría curvas con pendiente ascendente, las cuales podrían presentar señales de variaciones de las primas de riesgo de los títulos, vinculaciones con una política monetaria expansiva y mayores tasas de inflación. Sin embargo, también se pudieron observar curvas con pendiente descendente, este tipo de curva se observa en momentos donde se presentan saltos en la actividad económica real. Se obtuvieron curvas planas, que pudieran indicar la igualación de las tasas de interés de largo plazo con las tasas futuras de corto plazo.

Se puede establecer que tanto la tasa *spot* y tasa *forward* se desempeñaron de manera satisfactoria al momento de estimar la curva de rendimientos. Sin embargo para el mercado Deuda Pública Interna venezolana (VEBONOS y TIF), se pudiera utilizar de manera directa la tasa *spot* de mercado, ya que se puede considerar como una buena *proxy* para la construcción de la curva de rendimientos.

Adicionalmente, al aplicar el modelo de Nelson-Siegel y realizar la comparación de la minimización de los errores al cuadrado a través del criterio de selección de volumen, se pudo concluir que a medida que se presentaba un mayor número de observaciones y mayores plazos de vencimiento, el error aumentaba significativamente con respecto al criterio de selección de ajuste, en el cual se utilizó un menor número de observaciones y menores plazos de vencimiento.

ANEXOS

Anexo A: Títulos de la Deuda Pública Nacional (Títulos de Interés Fijo – TIF) vigentes para el periodo de estudio 2010-2014

| TIPO DE TÍTULO | EMISIÓN | VENCIMIENTO | MONTO EN CIRCULACIÓN |
|----------------|------------|-------------|----------------------|
| TF0510 | 30-03-2009 | 28-05-2010 | 1.538.000.000 |
| TF0910 | 22-04-2009 | 30-09-2010 | 860.000.000 |
| TF0311 | 08-05-2006 | 03-03-2011 | 545.729.628 |
| TF0411 | 26-01-2009 | 14-04-2011 | 1.847.500.000 |
| TF0711 | 08-05-2006 | 07-07-2011 | 574.422.050 |
| TF0911 | 22-04-2009 | 23-09-2011 | 1.575.731.688 |
| TF0612 | 08-05-2006 | 28-06-2012 | 555.389.774 |
| TF0812 | 22-04-2009 | 30-08-2012 | 1.181.000.000 |
| TF1012 | 23-03-2010 | 25-10-2012 | 2.620.000.000 |
| TF1212 | 13-02-2007 | 06-12-2012 | 632.687.500 |
| TF0513 | 08-05-2006 | 03-05-2013 | 602.430.311 |
| TF1013 | 23-03-2010 | 17-10-2013 | 3.260.500.000 |
| TF1213 | 23-03-2010 | 13-12-2013 | 2.825.200.000 |
| TF0414 | 23-03-2010 | 17-04-2014 | 2.771.810.000 |
| TF0814 | 23-03-2010 | 08-08-2014 | 2.822.000.000 |
| TF1214 | 08-05-2006 | 25-12-2014 | 652.028.237 |
| TF2014 | 30-03-2009 | 09-10-2014 | 556.534.930 |
| TF0115 | 23-03-2010 | 30-01-2015 | 2.688.000.000 |
| TF0515 | 23-03-2010 | 28-05-2015 | 2.346.182.359 |
| TF1115 | 08-05-2006 | 13-11-2015 | 580.250.192 |
| TF1215 | 11-01-2011 | 31-12-2015 | 300.000.000 |
| TF0216 | 23-03-2010 | 25-02-2016 | 1.600.500.000 |
| TF0616 | 23-03-2010 | 17-06-2016 | 1.973.000.000 |
| TF0916 | 11-01-2011 | 01-09-2016 | 2.600.000.000 |
| TF1016 | 17-07-2006 | 06-10-2016 | 703.514.119 |
| TF1116 | 25-02-2011 | 18-11-2016 | 300.000.000 |
| TF1216 | 30-03-2009 | 29-12-2016 | 130.873.000 |
| TF0217 | 12-07-2011 | 03-02-2017 | 975.000.000 |
| TF0317 | 11-01-2011 | 02-03-2017 | 1.034.830.000 |
| TF1017 | 17-07-2006 | 05-10-2017 | 1.337.500.000 |
| TF0418 | 11-01-2012 | 12-04-2018 | 400.000.000 |
| TF0518 | 17-07-2006 | 11-05-2018 | 645.000.000 |
| TF0818 | 11-01-2012 | 23-08-2018 | 800.000.000 |
| TF1119 | 26-07-2012 | 21-11-2019 | 3.675.000.000 |
| TF0419 | 11-01-2012 | 18-04-2019 | 1.200.000.000 |
| TF0819 | 17-07-2006 | 02-08-2019 | 1.282.500.000 |
| TF1120 | 26-07-2012 | 26-11-2020 | 5.085.000.000 |
| TF1020 | 17-07-2006 | 15-10-2020 | 865.000.000 |
| TF0221 | 17-01-2013 | 04-02-2021 | 600.000.000 |
| TF0322 | 08-01-2013 | 03-03-2022 | 600.000.000 |
| TF0423 | 08-01-2013 | 06-04-2023 | 7.500.000.000 |
| TF0124 | 15-08-2013 | 04-01-2024 | 3.350.000.000 |
| TF0126 | 29-01-2014 | 08-01-2026 | 9.900.000.000 |
| TF0528 | 29-01-2014 | 25-05-2028 | 4.800.000.000 |
| TF0329 | 29-01-2014 | 01-03-2029 | 4.000.000.000 |

Fuente: BCV

Anexo B: Títulos de la Deuda Pública Nacional (VEBONOS) vigentes para el periodo de estudio 2010-2014

| TIPO DE TÍTULO | EMISIÓN | VENCIMIENTO | MONTO EN CIRCULACIÓN |
|----------------|------------|-------------|----------------------|
| VB0110 | 22-08-2005 | 28-01-2010 | 200.000.000 |
| VB0210 | 22-08-2005 | 19-02-2010 | 100.000.000 |
| VB0310 | 22-08-2005 | 11-03-2010 | 275.000.000 |
| VB0410 | 29-01-2004 | 22-04-2010 | 960.041.280 |
| VB0510 | 22-08-2005 | 28-05-2010 | 100.000.000 |
| VB1210 | 17-10-2007 | 09-12-2010 | 209.000.000 |
| VB0211 | 17-10-2007 | 11-02-2011 | 764.000.000 |
| VB0411 | 17-10-2007 | 14-04-2011 | 523.100.000 |
| VB0511 | 17-10-2007 | 20-05-2011 | 422.000.000 |
| VB0312 | 26-01-2009 | 08-03-2012 | 3.178.750.000 |
| VB0412 | 26-02-2008 | 05-04-2012 | 582.250.000 |
| VB0512 | 26-01-2009 | 25-05-2012 | 3.118.743.995 |
| VB0812 | 26-02-2008 | 30-08-2012 | 390.896.000 |
| VB0413 | 28-04-2009 | 25-04-2013 | 915.500.000 |
| VB0513 | 17-10-2007 | 03-05-2013 | 806.001.800 |
| VB0713 | 26-02-2008 | 04-07-2013 | 700.000.000 |
| VB0813 | 26-01-2009 | 16-08-2013 | 819.375.942 |
| VB0514 | 17-10-2007 | 02-05-2014 | 456.685.800 |
| VB0614 | 26-01-2009 | 26-06-2014 | 2.039.000.000 |
| VB0914 | 17-10-2007 | 19-09-2014 | 887.067.425 |
| VB1014 | 26-01-2009 | 09-10-2014 | 711.280.688 |
| VB2014 | 30-03-2009 | 09-10-2014 | 556.534.930 |
| VB0715 | 26-02-2008 | 09-07-2015 | 401.861.001 |
| VB0915 | 17-10-2007 | 11-09-2015 | 887.067.425 |
| VB2015 | 30-03-2009 | 30-10-2015 | 307.892.644 |
| VB0616 | 11-01-2011 | 17-06-2016 | 300.000.000 |
| VB0816 | 30-03-2009 | 12-08-2016 | 212.892.644 |
| VB1216 | 11-01-2011 | 29-12-2016 | 500.000.000 |
| VB0817 | 11-01-2011 | 11-08-2017 | 6.500.000.000 |
| VB1117 | 03-03-2011 | 23-11-2017 | 208.500.000 |
| VB1217 | 11-01-2011 | 08-12-2017 | 300.000.000 |
| VB0618 | 11-01-2011 | 08-06-2018 | 61.200.000 |
| VB0718 | 11-01-2011 | 19-07-2018 | 1.000.000.000 |
| VB0319 | 11-01-2012 | 28-03-2019 | 400.000.000 |
| VB0419 | 11-01-2012 | 18-04-2019 | 1.200.000.000 |
| VB0120 | 11-01-2012 | 02-01-2020 | 1.200.000.000 |
| VB0620 | 11-01-2012 | 18-06-2020 | 998.792.000 |
| VB0920 | 26-07-2012 | 11-09-2020 | 550.000.000 |
| VB0121 | 11-01-2012 | 29-01-2021 | 443.424.000 |
| VB0521 | 26-07-2012 | 20-05-2021 | 1.899.064.000 |
| VB1221 | 26-07-2012 | 10-12-2021 | 470.000.000 |
| VB0222 | 17-01-2013 | 10-02-2022 | 400.000.000 |
| VB0123 | 17-01-2013 | 19-01-2023 | 400.000.000 |
| VB0424 | 08-01-2013 | 18-04-2024 | 7.500.000.000 |
| VB0224 | 29-01-2014 | 22-02-2024 | 11.700.000.000 |
| VB0125 | 15-08-2013 | 09-01-2025 | 500.000.000 |
| VB0225 | 29-01-2014 | 27-02-2025 | 8.200.000.000 |
| VB0327 | 29-01-2014 | 11-03-2027 | 12.800.365.831 |

Fuente: BCV