

# **ESTRUCTURA DE TASAS CERO CUPÓN: TÍTULOS PÚBLICOS DEL MINISTERIO DE HACIENDA DE LA REPÚBLICA DOMINICANA**

Víctor J. Reyes

## **RESUMEN**

En el presente trabajo se construye la estructura de tasas cero cupón de los títulos públicos del Ministerio de Hacienda de la República Dominicana a partir de la implementación de diferentes métodos. Las estimaciones se realizaron usando los datos de los títulos del Ministerio de Hacienda en el mercado secundario. Los resultados de las estimaciones bajo cada método son comparados a partir de las diferencias entre los precios de los bonos observados y estimados. A pesar de las limitaciones que tiene el mercado de valores dominicano, las metodologías implementadas capturan con buen ajuste la estructura de tasas cero cupón. A partir de las metodologías se pueden estimar las tasas de descuento para cualquier plazo deseado. Se encontró que la tasa de descuento de largo plazo para los títulos públicos es de un 15.57%. La utilidad de modelar la estructura de tasas es que ofrece información sobre las tasas no observadas y expectativas de tasas futuras. Esto facilita el proceso de evaluación financiera de los programas de inversión pública en la medida que pueden utilizarse tasas de descuentos que representen el costo de endeudamiento del gobierno.



*Ministerio de Economía, Planificación y Desarrollo*  
*Unidad Asesora de Análisis Económico y Social*

**MINISTRO**

*Juan Temístocles Montás*

**ESTRUCTURA DE TASAS CERO CUPÓN: TÍTULOS  
PÚBLICOS DEL MINISTERIO DE HACIENDA DE LA  
REPÚBLICA DOMINICANA**

**AUTOR\***

*Víctor J. Reyes*

**COORDINACIÓN TÉCNICA**

*Magdalena Lizardo*

**SERIE**

*Texto de Discusión No. 19*

**Mayo, 2011**

---

\* El contenido de este documento es de exclusiva responsabilidad del autor. Por lo tanto, no compromete a la UAAES ni al Ministerio de Economía, Planificación y Desarrollo. Se agradecen los valiosos comentarios de los miembros de la UAAES. La dirección de correo electrónico del autor es: [vreyes@economia.gov.do](mailto:vreyes@economia.gov.do).

## Contenido

<b>I.</b>	<b>Introducción</b> .....	2
<b>II.</b>	<b>Metodología</b> .....	3
	<i>a. Metodologías Directas</i> .....	3
	<i>b. Metodologías Indirectas</i> .....	5
<b>III.</b>	<b>Datos</b> .....	7
<b>IV.</b>	<b>Resultados</b> .....	8
<b>V.</b>	<b>Conclusión</b> .....	9
<b>VI.</b>	<b>Referencias</b> .....	11
<b>VII.</b>	<b>Anexos</b> .....	11

## I. Introducción

Los bonos son títulos de deuda emitidos por instituciones públicas (Estados federales y/o unitarios) y privadas (bancos y/o empresas). En este tipo de instrumentos, el deudor está comprometido a pagar al acreedor la cantidad de dinero prestada (llamada principal) más los intereses (cupón) sobre el principal, dado el periodo de vida del bono.

A lo largo de las últimas décadas muchos gobiernos en América Latina han utilizado la emisión de bonos como fuente de financiamiento. Estas emisiones se han colocado a nivel interno e internacional.<sup>1</sup>

En el año 2009, a través del Decreto 169-09 el Gobierno Dominicano realizó su primera emisión de títulos de deuda (bonos) en el mercado de valores de la República Dominicana. La emisión inicial ha sido precedida por cuatro emisiones más.<sup>2</sup>

Al 31 de diciembre del 2010, el Informe de la Deuda Pública de la República Dominicana de la Dirección General de Crédito Público revela que el 10.97% de la deuda total del sector público no financiero (SPNF) está colocada en el mercado de valores de la República Dominicana. Estas emisiones en el mercado local representan el 33.32% del total de la deuda interna del SPNF, constituyendo así la emisión de valores en el mercado doméstico como la principal fuente de financiamiento interno del SPNF.

En general, el atractivo de la emisión de valores es la posibilidad de endeudarse a una tasa más baja y a un plazo mayor. Dada las características del sector bancario dominicano, existen restricciones (número de bancos, recurso disponibles, entre otras) para que el gobierno contraiga deuda a un plazo mayor a cuatro años. Por lo general cuando un gobierno realiza una emisión pública de valores, el número de posibles acreedores es mayor, lo que permite colocar la deuda a plazos diversificados y a tasas mucho más atractivas. En gran parte, esto se debe a la naturaleza de los bancos que captan recursos del público y financian a terceros (intermediación financiera indirecta). Mientras que a través de la emisión de valores el acreedor y el deudor canalizan recursos de manera directa (intermediación financiera directa). En definitiva, con la emisión de títulos el Gobierno Dominicano ha logrado colocar su deuda a diferentes tasas y a diferentes plazos.

El propósito de este trabajo es construir una estructura de tasas continua partiendo de los títulos públicos del Ministerio de Hacienda. En primer lugar, se procede a la discusión de las metodologías, en la que se discuten los métodos directos e indirectos de estimación. En segundo lugar, se explica la naturaleza de los datos a ser utilizados. En tercer lugar, se presentan los resultados y la calidad de ajuste de los mismos. Por último, se finaliza con una breve discusión sobre ciertas implicaciones.

---

<sup>1</sup> A partir del año 2001 Gobierno Dominicano ha emitido cuatro series de bonos en el mercado internacional (bonos soberanos). Estos han sido una importante fuente de financiamiento, al 31 de diciembre del 2010 el Estado Dominicano ha emitido US\$ 2,150 millones en bonos soberanos.

<sup>2</sup> Ver Decretos: 727-09, 36-10, 55-10, y 359-10.

## II. Metodología

El precio actual de un bono es una función del nivel futuro de las tasas de interés más una prima por riesgo. En general, el precio de un bono puede representarse por la siguiente función:

$$P_0 = \frac{CF_1}{(1+i_d)^1} + \frac{CF_2}{(1+i_d)^2} + \dots + \frac{CF_n + Principal}{(1+i_d)^n} \quad (1)$$

Donde:

- $P_0$  es precio actual del bono
- $CF$  es el flujo
- $i_d$  es la tasa de descuento del bono
- $n$  es la madurez

Esto implica que los precios de los títulos contienen información valiosa sobre el futuro de la economía.<sup>3</sup> Esta información puede ser expresada en términos de tasas (yields) para cada madurez. El conjunto de tasas en un momento determinado se conoce como estructura de tasas (o yield curve), la cual es una representación concisa de las expectativas, tomadas por los participantes del mercado, que se expresa en las tasas de equilibrio.<sup>4</sup>

Existen varias razones para estudiar la estructura de tasas de interés. i) modelar expectativas y realizar predicciones. ii) Diseñar la política de endeudamiento, cuando el gobierno decide hacer una nueva emisión debe pensar en la forma de la curva ya que esta se ve afectada por la oferta de nuevos instrumentos. iii) Descontar los flujos de los proyectos de inversión (en este caso los del gobierno dominicano). iv) Establecer tasas para la valuación de instrumentos financieros (públicos y privados).

Las metodologías propuestas por la literatura para estimar la estructura de tasas de interés se clasifican en dos grupos: directas e indirectas. Las primeras intentan de derivar la curva a través de la estructura de un grupo de títulos, mientras que las segundas utilizan un modelo paramétrico para estimar toda la curva.

### a. Metodologías Directas

La metodología directa consiste en utilizar el *bootstrapping* para estimar la estructura de tasas a partir de los precios observados de los títulos públicos. El *bootstrapping* se puede describir como un proceso secuencial de dos etapas. Primero, se extrae la tasa de descuento para el bono con menor madurez. Segundo, se interpolan todos los puntos entre la fecha inicial y la fecha correspondiente al cupón.

Para extraer la tasa de descuento del primer cupón se debe encontrar la solución de la ecuación (1) con respecto a la tasa de descuento. Una vez se obtiene esta tasa, se continúa con el siguiente bono en términos de madurez (que cuenta con dos cupones) y se descuenta

---

<sup>3</sup> En este sentido la “hipótesis de los mercados eficientes” sostiene que los precios de los títulos que se negocian en mercados eficientes reflejan toda la información disponible y ajustan todas las nuevas informaciones que puedan surgir.

<sup>4</sup> Siempre y cuando exista ausencia de oportunidades de arbitraje.

el primer cupón con la tasa previamente obtenida. Finalmente, se encuentra la solución de la ecuación para la tasa de descuento del segundo cupón.

Con el fin de unir los puntos (tasas) obtenidos a través del *bootstrapping*, se utiliza un método de interpolación adecuado.<sup>5</sup> Para este ejercicio definimos dos metodologías de interpolación: lineal y cúbica.

La interpolación lineal permite estimar las tasas no observadas partiendo de dos tasas de referencia.

$$R(0, y) = \frac{(z-y)R(0,x)+(y-x)R(0,z)}{z-x} \quad (2)$$

Donde:

- $R(0,y)$  es la tasa estimada a través de la interpolación para el presente (0) con madurez  $y$ .
- $R(0,x)$  es la tasa observada con madurez  $x$ .
- $R(0,z)$  es la tasa observada con madurez  $z$ .
- La madurez  $z > x$  e  $y \in [x ; z]$ .

La interpolación cúbica requiere de cuatro tasas observadas [ $R(0,v)$ ,  $R(0,x)$ ,  $R(0,y)$ ,  $R(0,z)$ ] para construir cada tramo de la curva dado que  $v < x < y < z$ . La tasa estimada a través de la interpolación [ $R(0,w)$ ] es el resultado de la siguiente función cúbica.

$$R(0, w) = aw^3 + bw^2 + cw + d \quad (3)$$

Donde  $a, b, c$  y  $d$  satisfacen el siguiente sistema de ecuaciones:

$$\begin{aligned} R(0, v) &= av^3 + bv^2 + cv + d \\ R(0, x) &= ax^3 + bx^2 + cx + d \\ R(0, y) &= ay^3 + by^2 + cy + d \\ R(0, z) &= az^3 + bz^2 + cz + d \end{aligned} \quad (4)$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones de forma matricial:

$$\begin{pmatrix} a \\ b \\ c \\ d \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} v^3 & v^2 & 1 \\ x^3 & x^2 & 1 \\ y^3 & y^2 & 1 \\ z^3 & z^2 & 1 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} R(0, v) \\ R(0, x) \\ R(0, y) \\ R(0, z) \end{pmatrix} \quad (5)$$

Debido que cada tramo de la curva es construido por separado, la pendiente de la curva no es suave. Además, esta forma funcional ocasiona que la curva pueda tener segmentos cóncavos y convexos.

---

<sup>5</sup> Cualquier método se considera adecuado a partir de la especificación que se le quiera dar a priori a los tramos no observados de la curva.

En general la metodología directa es bastante simple y no requiere un costo computacional elevado. Sin embargo, a través del tipo de interpolación se asigna arbitrariamente un tipo de especificación a la forma de la estructura de tasas. La limitación central de esta corriente metodológica es que exige que los cupones de todos los bonos coincidan o se paguen en fechas cercanas, de otra manera el proceso de *bootstrapping* no puede llevarse a cabo.

## b. Metodologías Indirectas

Las metodologías indirectas a través de diferentes especificaciones funcionales tratan de minimizar la diferencia al cuadrado entre el precio observado ( $P$ ) y el estimado ( $\hat{P}$ ). Una vez obtenido los parámetros mediante métodos numéricos se obtiene la tasa estimada.

$$\min_{\hat{\beta}} \sum_{j=1}^n (P_t^j - \hat{P}_t^j)^2 \quad (6)$$

A la hora de elegir un modelo para estimar una estructura de tasas existe un *trade-off* entre el número de parámetros y el ajuste de la curva con respecto a los datos observados. Por un lado, tenemos que a medida que el número de parámetros aumenta el ajuste de la curva mejora. Sin embargo, la complejidad de la estimación es mucho mayor y en el presente ejercicio solo observamos los precios de nueve bonos. Tomando en consideración esta restricción es necesario optar por metodologías que tengan un balance entre el número de parámetros y un adecuado ajuste. La metodología de Nelson y Siegel, en sus versiones estándar y aumentada permiten obtener este balance.

El modelo de estructura de tasas de Nelson y Siegel (1987) se deriva de la solución de una ecuación diferencial ordinaria que describe la dinámica de la tasa de interés.

La cual viene dada por:

$$f(0, \theta) = \beta_0 + \beta_1 \exp\left(-\frac{\theta}{\tau_1}\right) + \beta_2 \left(\frac{\theta}{\tau_1}\right) \exp\left(-\frac{\theta}{\tau_1}\right) \quad (7)$$

Donde  $f(0, \theta)$  representa la tasa forward instantánea de hoy (0) para la fecha  $\theta$ .<sup>6</sup>

$$R^c(0, \theta) = \frac{1}{\theta} \int_0^\theta f(0, s) ds \quad (8)$$

Resolviendo la integral que relaciona las tasas forwards con las tasas cero cupón (ecuación 8), obtenemos la ecuación central del modelo de Nelson y Siegel.

$$R^c(0, \theta) = \beta_0 + \beta_1 \left[ \frac{1 - \exp\left(-\frac{\theta}{\tau_1}\right)}{\frac{\theta}{\tau_1}} \right] + \beta_2 \left[ \frac{1 - \exp\left(-\frac{\theta}{\tau_1}\right)}{\frac{\theta}{\tau_1}} - \exp\left(-\frac{\theta}{\tau_1}\right) \right] \quad (9)$$

Donde:

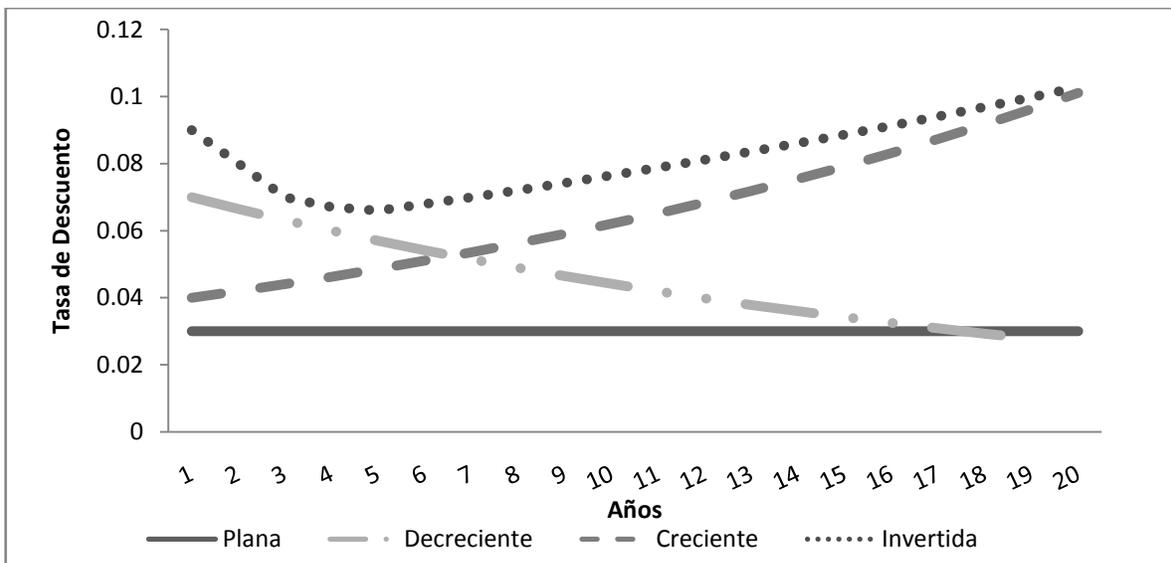
- $R^c(0, \theta)$  es la tasa cero cupón compuesta continua en el tiempo cero con madurez  $\theta$ .
- $\beta_0$  es el límite de  $R^c(0, \theta)$  cuando  $\theta$  tiende a infinito. En la práctica es la tasa de interés de largo plazo.

<sup>6</sup> La tasa forward instantánea es la tasa forward de un bono que vence en un periodo infinitesimal.

- $\beta_1$  es el límite de  $R^c(0, \theta)$  cuando  $\beta_0$  tiende de  $\theta$  a cero. Es el spread entre las tasas de corto y largo plazo.
- $\beta_2$  es un parámetro de curvatura.
- $\tau_1$  es un parámetro de escala que mide la tasa a la cual los componentes de corto y mediano plazo decaen a cero.

Para construir la curva de tasas cero cupón a partir de esta metodología debemos estimar los parámetros  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \tau_1$  que satisfacen la condición de la ecuación (6). La limitación del modelo de Nelson y Siegel estándar es que solo ajusta bien a las estructuras de tasas: plana, decreciente, creciente e invertida (ver Grafico 1). En el tramo de menor madurez de la curva esta metodología no captura bien los cambios en la pendiente de la misma. Si la curva adoptase una forma jorobada estaríamos cometiendo un error de especificación al aplicar el modelo de Nelson y Siegel en su versión estándar.

**Gráfico 1: Estructuras de Tasas de Interés Capturadas por el Modelo de Nelson y Siegel**



Con el fin de mejorar el ajuste en el tramo corto de la curva, Svensson (1994) propone una versión extendida del modelo de Nelson y Siegel. Conocida en la literatura como el modelo de estructura de tasas Nelson y Siegel aumentado.

$$R^c(0, \theta) = \beta_0 + \beta_1 \left[ \frac{1 - \exp\left(-\frac{\theta}{\tau_1}\right)}{\frac{\theta}{\tau_1}} \right] + \beta_2 \left[ \frac{1 - \exp\left(-\frac{\theta}{\tau_1}\right)}{\frac{\theta}{\tau_1}} - \exp\left(-\frac{\theta}{\tau_1}\right) \right] + \beta_3 \left[ \frac{1 - \exp\left(-\frac{\theta}{\tau_2}\right)}{\frac{\theta}{\tau_2}} - \exp\left(-\frac{\theta}{\tau_2}\right) \right] \quad (10)$$

Donde:

- $\beta_3$  es otro parámetro de curvatura.
- $\tau_2$  es otro parámetro de escala que mide la tasa a la cual los componentes de corto y mediano plazo decaen a cero.

La inclusión de los parámetros  $\beta_3$  y  $\tau_2$  permite mejorar el ajuste sobre los precios estimados. Las estructuras de tasas con jorobas muy pronunciadas en el tramo corto de la curva son capturadas por esta forma funcional.

### III. Datos

Para la construcción de la curva se toman en consideración los bonos emitidos a partir del 2009 por el Ministerio de Hacienda (MH) presentados en el Cuadro 1.

A continuación las principales características de los bonos del MH que constituyen el esquema de amortización:

- Los bonos están denominados en pesos dominicanos (RD\$)
- Tasa cupón fija, pagadera semestralmente base Actual/Actual<sup>7</sup>
- El principal es únicamente pagadero al vencimiento y no existe la opción de pago anticipado<sup>8</sup>

**Cuadro 1: Plazos y Tasas de Descuento de los Títulos Públicos del MH**

Título	Cupón	Vencimiento	$i_d$
SEH12011	12.0%	4 de Febrero de 2011	4.64%
SEH12012	14.0%	10 de Febrero de 2012	10.17%
SEH12013	12.0%	8 de Febrero de 2013	10.70%
SEH22013	10.5%	9 de Agosto de 2013	10.00%
SEH12014	16.0%	7 de Febrero de 2014	11.60%
SEH12015	14.0%	6 de Febrero de 2015	13.82%
SEH22015	12.0%	7 de Agosto de 2015	11.75%
SEH12017	16.0%	10 de Febrero de 2017	14.23%
MH12020	16.0%	10 de Julio de 2020	14.90%

Fuente: Ministerio de Hacienda y CEVALDOM, las tasas de descuentos corresponden a la cotización 17/01/2011.

Para la estimación solo se consideran los precios y las tasas de rendimientos provenientes de la última cotización de cada bono en el mercado. Esta información es provista por el Deposito Centralizado de Valores (CEVALDOM) a través del Ministerio de Hacienda.

<sup>7</sup> Es la convención mediante la cual se calcula (y se capitaliza) el pago de interés dada la tasa cupón.

<sup>8</sup> La opción de pago anticipado permite al emisor del bono cancelar su deuda en el momento que éste lo considere necesario. La valuación de este tipo de bonos tiende a ser ligeramente diferente a la de un bono estándar (bullet). Esto se debe al riesgo de reinversión al que están expuestos los inversionistas.

**Cuadro 2: Volumen de negociación en el Mercado Secundario de los títulos Públicos del Ministerio de Hacienda en el 2010**

Título	enero-marzo	abril-junio	julio-septiembre	octubre-diciembre	Total	%
SEH12011	52	16	12	6	86	33%
SEH12012	47	56	33	33	169	65%
SEH12013	42	51	5	2	100	38%
SEH22013	0	0	1	0	1	0%
SEH12014	10	9	0	2	21	8%
SEH12015	18	46	20	7	91	35%
SEH22015	0	0	1	0	1	0%
SEH12017	28	8	2	1	39	15%
MH12020	N/D	N/D	21	29	50	38%
Total	197	186	95	80	558	

Fuente: Elaboración propia con datos del Ministerio de Hacienda y CEVALDOM, N/D el bono no existía en ese periodo

El principal problema que muestran los bonos es su iliquidez en el mercado secundario. El Cuadro 2 muestra el número de días que cada bono se transó en el mercado secundario en el año 2010. La última columna (%) muestra el porcentaje del total de días en los que cada bono se transó sobre el total de días hábiles para transarse. En promedio los bonos del Ministerio de Hacienda en el 2010 se transaron en 26% de los días hábiles. De los nueve bonos tomados en consideración cuatro presentan un bajo nivel de liquidez ya que se transaron en menos del 20% de los días hábiles (SEH22013, SEH12014, SEH22015 y SEH12017).

#### IV. Resultados

Para medir la calidad de los resultados obtenidos se comparan los precios de mercado con respecto a los estimados. El Cuadro 3 muestra los precios estimados obtenidos a través de las dos metodologías de Nelson y Siegel, estándar (N&S) y aumentada (NS&X). Debido a las características del mercado de valores dominicano (principalmente los problemas de liquidez), no se espera que la estimación tenga un ajuste perfecto. Lo fundamental para constatar la veracidad de los precios estimados es que no surjan errores sistemáticos a lo largo de la curva.

**Cuadro 3: Ajuste de las Curvas Cero Cupón**

Titulo	Precio Observado	Precio Estimado			Precio Estimado		
		N&S	Diferencia en RD\$	Diferencia en %	N&SX	Diferencia en RD\$	Diferencia en %
SEH12011	100.37	100.34	0.03	0.03%	100.33	0.04	0.04%
SEH12012	103.86	105.51	-1.65	-1.59%	105.54	-1.68	-1.62%
SEH12013	102.39	102.51	-0.12	-0.12%	102.53	-0.14	-0.14%
SEH22013	101.27	96.86	4.42	4.36%	96.94	4.33	4.27%
SEH12014	111.27	110.37	0.90	0.81%	110.50	0.77	0.69%
SEH12015	100.57	104.13	-3.56	-3.54%	104.66	-4.09	-4.07%

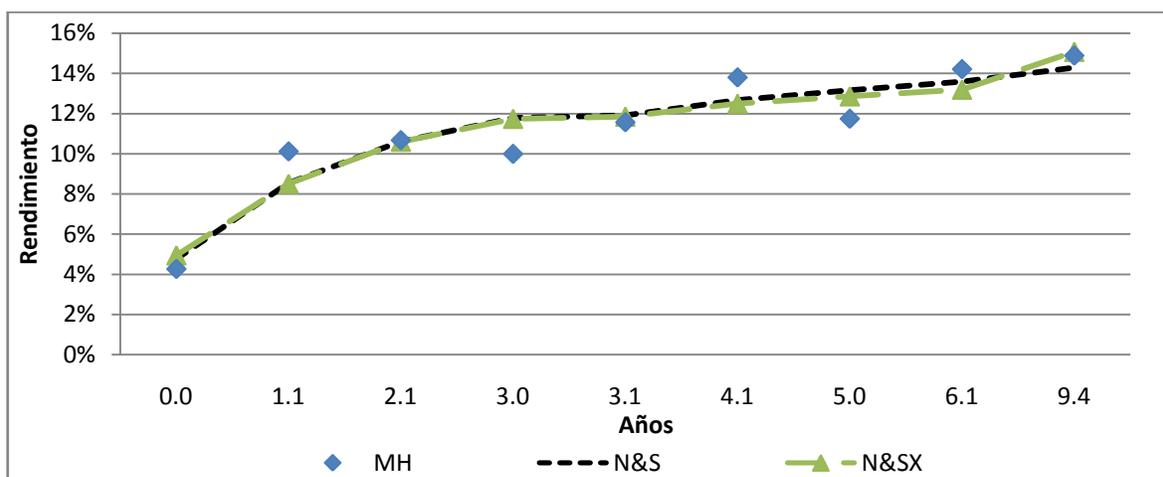
<b>SEH2015</b>	100.94	95.85	5.09	5.04%	96.90	4.04	4.00%
<b>SEH2017</b>	107.08	109.76	-2.68	-2.50%	111.46	-4.38	-4.09%
<b>MH2020</b>	105.49	108.72	-3.22	-3.06%	104.54	0.96	0.91%

Fuente: Elaboración propia, precios calculados en base a un principal de RD\$100 al 17/01/2011.

En términos de ajuste de la curva los modelos Nelson y Siegel, estándar y aumentado, muestran características similares. Para el primero, la diferencia (error) promedio es de 2.34% y para el segundo es de 2.20%.

Cabe destacar que el error promedio es menor al 1% para los títulos públicos de vencimiento hasta el 2014 (ver Cuadro 3). No obstante, el error promedio es de aproximadamente 4% para el tramo largo de la curva. Esta diferencia en el tramo largo de la curva se explica por la inexistencia de una relación directa entre la tasa de descuento ( $i_d$ ) y la madurez de los bonos (ver Grafico 2). La pérdida de esta relación podría estar siendo inducida por los bajos niveles de negociación de algunos títulos.

**Gráfico 2: Estructuras Tasas Cero Cupón**



Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados de las estimaciones.

El valor del parámetro  $\beta_0$  del modelo de Nelson y Siegel estándar refleja una tasa de largo plazo para los títulos públicos del Ministerio de Hacienda de 15.57%. Si se toman en consideración las limitaciones y características del mercado dominicano de valores, las metodologías aplicadas proveen un adecuado ajuste de la estructura de tasa cero cupón.

## V. Conclusión

La metodología de bootstrapping podría ser implementada en un futuro con la aparición de nuevas emisiones. En la actualidad la inexistencia de bonos para ciertos plazos imposibilita la aplicación de las metodologías directas. Sin embargo, los resultados esperados no deberían alejarse mucho de los actuales (en términos de ajuste).

El principal problema que se observó en este ejercicio es la iliquidez del mercado dominicano de valores. La misma se manifiesta en los siguientes aspectos: Primero, existe un descalce de fechas entre los precios de mercado, lo que ocasiona que no todas las tasas

estén siendo cotizadas en el mismo momento del tiempo. Cuando estas diferencias son grandes, las tasas de mercado pueden estar reflejando expectativas diferentes. Segundo, el precio de los bonos es muy sensible al volumen de negociación, lo que podría crear distorsión en los precios (y en la relación entre madurez y tasa de descuento). Tercero, en mercados poco líquidos es poco probable que haya ausencia de arbitraje.

A pesar de lo antes mencionado, los resultados obtenidos muestran un buen ajuste de la curva, con una tasa de largo plazo obtenida a través del modelo Nelson y Siegel (estándar) de 15.57%. La tasa de largo plazo es mayor a la tasa de descuento del bono de mayor madurez (MH12020) lo cual refleja una pendiente positiva sobre el tramo de la curva no observado y por consiguiente tasas esperadas más altas a las actuales.

Dado el ajuste obtenido en las metodologías implementadas, estas pueden ser utilizadas para el cálculo de tasas para plazos no observados. Esto permitiría estimar la tasa a pagar por emitir nueva deuda en el presente o en alguna fecha futura (a través de la derivación de la estructura de tasas forwards).

A partir de los resultados obtenidos los programas de inversión pública podrían ser evaluados con tasas de descuentos que representen el costo de endeudamiento del gobierno. Además sin importar la frecuencia de los desembolsos (flujos de efectivo) y el horizonte de los proyectos, ya que las metodologías proveen una estructura de tasas continúa.

## VI. Referencias

Fisher, M., Nychka, D. and Zervos, D., 1995, "Fitting the Term Structure of interest rates with smoothing splines". Board of Governors of the Federal Reserve System. Working Paper 95-1.

Gasha, J.G., Medeiros, C.I., Rodriguez, M. and Salvati, J., 2010 "The Estimation of Term Structure Models and An Application to the United States", International Monetary Fund. Working Paper No. 10/258.

Mc Culloch, J.H., 1971, "Measuring the Term Structure of Interest Rates", Journal of Business, 44, 19-31.

Nelson, C.R. and Siegel, A. F., 1987, "Parsimonious Modeling of Yield Curves", Journal of Business, 60(4), 473-489.

Svensson, I, 1994, "Estimating and Interpreting Foward Interest Rates: Sweden 1992-1994, CEPR Economics", 5, 177-188.

## VII. Anexos

### Código Nelson y Siegel Estándar en Visual Basic para Excel

```
Function NelsonSiegel(timeToExp, b1, b2, b3, tao)
```

```
temp = Exp(-timeToExp / tao)
```

```
NelsonSiegel = b1 + b2 * (1 - temp) / (timeToExp / tao) + b3 * ((1 - temp) / (timeToExp / tao) - temp)
```

```
End Function
```

### Código Nelson y Siegel Aumentado en Visual Basic para Excel

```
Function NelsonSiegelX(timeToExp, b1, b2, b3, b4, tao, tao2)
```

```
temp = Exp(-timeToExp / tao)
```

```
temp2 = Exp(-timeToExp / tao2)
```

```
NelsonSiegelX = b1 + b2 * (1 - temp) / (timeToExp / tao) + b3 * ((1 - temp) / (timeToExp / tao) - temp) + b4 * ((1 - temp2) / (timeToExp / tao2) - temp2)
```

```
End Function
```