



Universidad de  
**SanAndrés**

*Escuela de Administración y Negocios*

*Magister en Finanzas*

*Trabajo Final de Graduación:*

**“Estimación de la Curva Cupón Cero de  
Yacimientos Petrolíferos Fiscales (YPF S.A.)”**

Autor: Germán Stel

DNI: 32.791.814

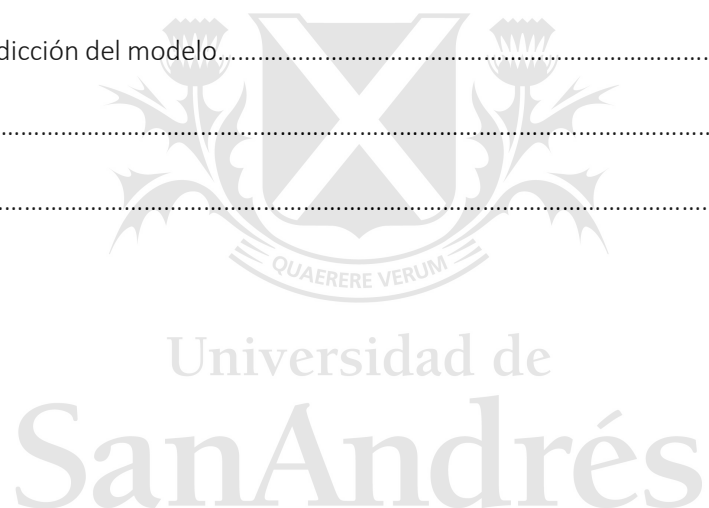
Mentor: Marcelo Zincenko

Buenos Aires, Septiembre de 2018

## Contenido

---

Abstracto.....	4
Introducción.....	4
Reseña Histórica .....	6
YPF y su emisión de deuda en dólares bajo ley Argentina .....	7
Datos utilizados y selección del modelo.....	11
Estimación de la estructura temporal de tasas de interés de YPF.....	13
Resultados empíricos y estudios realizados.....	16
Capacidad de predicción del modelo.....	22
Conclusión.....	25
Bibliografía.....	26



## Indice de Tablas

---

<b>Tabla 1.</b> Valor de Mercado de Y.P.F.....	7
<b>Tabla 2.</b> Descripción de los bonos utilizados.....	9
<b>Tabla 3.</b> Rendimiento promedio de los bonos utilizados.....	11
<b>Tabla 4.</b> Medidas de Error de cada Modelo.....	17
<b>Tabla 5.</b> Error porcentual promedio de precio por bono.....	17
<b>Tabla 6.</b> Error porcentual promedio de TIR por bono.....	17
<b>Tabla 7.</b> RMSE de cada Modelo.....	24

## Indice de Gráficos

---

<b>Gráfico 1.</b> Valor de mercado de Y.P.F.....	8
<b>Gráfico 2.</b> Volumen diario operado de cada uno de los bonos utilizados.....	10
<b>Gráfico 3.</b> Curva Cupón Cero.....	18
<b>Gráfico 4.</b> Nodos Curva Cupón Cero.....	19
<b>Gráfico 5.</b> Parámetros N-S.....	20
<b>Gráfico 6.</b> Error de Valuación.....	21
<b>Gráfico 7.</b> Autocorrelaciones Parciales.....	23

## Abstracto

---

El propósito de este trabajo es describir la metodología utilizada para estimar la estructura temporal de tasas de interés de la deuda de YPF, utilizando sus bonos emitidos en dólares bajo ley Argentina. Para lograr dicho objetivo, la estimación toma el modelo de Nelson y Siegel (1987). Los resultados fueron obtenidos a partir de datos diarios, comenzando el 01 de Enero de 2017, y terminando el 30 de Abril de 2018.

Se propondrán tres modelos distintos, cada uno con sus respectivos ponderadores, y se analizarán los errores arrojados por cada uno de ellos. Obteniendo un error absoluto promedio (MAE) de 0.7828, se verá que el modelo que mejores indicadores presenta es el más sencillo (ponderación uniforme).

Por otro lado, se estudiará y probará la capacidad de realizar predicciones del modelo, mediante la comparación de un Random Walk (“Paseo Aleatorio”) y un Vectores Autorregresivos de orden 3 (VAR(3)).

## Introducción

---

YPF S.A. es la compañía petrolera más grande de Argentina. Se dedica a la exploración, explotación, producción, refinación, venta, transporte y distribución de petróleo y gas natural. Además desarrolla una gran variedad de productos derivados de estos hidrocarburos. YPF fue la primera compañía petrolera del mundo establecida como una empresa estatal y la primera integrada.

Este trabajo expone la metodología utilizada para estimar la estructura temporal de tasas de interés de la deuda emitida en dólares por YPF, sobre bonos sin cláusula de opción de compra, bajo la ley Argentina. Construimos la curva en dólares cupón cero, en base diaria, usando el modelo de Nelson y Siegel (1987, de ahora en más “NS”).

La escasa cantidad de bonos en dólares con ley Argentina emitidos por YPF, y su distribución de vencimientos a lo largo del tiempo, convierten a este segmento de títulos en un mercado incompleto. Dichas características, influyen de manera directa en la elección del modelo. En efecto, la metodología de NS fue elegida por la relación existente entre el número de parámetros y la cantidad de bonos disponibles para el análisis.

Además, los bonos corporativos emitidos enfrentan problemas de liquidez, por su escaso volumen operado en los mercados, y su amplia distancia entre el precio de compra y el precio de venta. Por tales motivos, fue necesario seleccionar una metodología que usara toda la información disponible en el mercado.

Con el propósito de obtener un modelo de valuación de los bonos de YPF, se comparan tres funciones objetivos distintas: sin ponderadores, ponderada por la inversa de la duración y ponderada por el promedio ponderado de la duración. Como resultado se obtiene que la función objetivo sin ponderadores ajusta mejor a los precios observados a lo largo del periodo de estudio.

Los datos utilizados consisten en precios diarios de los bonos seleccionados, entre el 01 de Enero de 2017 y el 30 de Abril de 2018 (fuente: Bloomberg). Adicionalmente, utilizamos la tasa de las cauciones en dólares a 7 días operadas en el mercado local, para obtener una referencia en el punto de corto plazo (fuente: Reuters).

La principal contribución de este trabajo, es que la metodología permite la valuación de bonos no negociados con frecuencia en los mercados secundarios. Asimismo, otorga una aproximación confiable sobre las tasas de rendimientos a las que deberían salir futuras emisiones de la compañía, basándose en las estimaciones de los parámetros a partir de los bonos vigentes. Por último, se realiza un estudio para analizar y determinar la capacidad de predicción del modelo utilizado.

A modo de estructuración de este trabajo, se comienza con la revisión de la experiencia de la utilización del modelo de NS en la estimación de curvas cupón cero de interés.

Luego, se realiza un detalle de los bonos emitidos por YPF bajo ley Argentina, y considerados en este trabajo. Especificando sus principales características y medidas relevantes para el análisis.

En lo que a la elección del modelo se refiere, se realizan aquellas consideraciones y motivos que permitan entenderla, y se explica la estructura temporal de tasas de interés.

Posteriormente, se presentan los datos e información utilizada para el análisis; y se obtienen los resultados empíricos a partir de los estudios realizados.

Como análisis final, se realiza un pronóstico que permita evaluar el poder de predicción del modelo. Por último, se desarrollan las conclusiones pertinentes.

### Reseña histórica

---

El modelo paramétrico desarrollado por NS introduce una función con la particularidad de que representa una forma típicamente asociada a curvas de tasas cero cupón. Para probar el modelo, se tomaron observaciones mensuales de las notas del tesoro de Estados Unidos, informadas por la reserva federal del banco de Nueva York desde Enero de 1981 hasta Octubre de 1983. Los resultados obtenidos demostraron que el modelo era capaz de representar la forma de la estructura temporal de dichas tasas con suficiente flexibilidad. Y más aún, que el modelo era capaz de predecir el precio de los bonos del tesoro de mayor plazo.

Por otro lado, existen numerosos estudios avocados a mercados financieros ilíquidos, en los cuales los analistas deben considerar y resolver distintas fricciones del mercado para alcanzar resultados consistentes. Subramanian (2001), por ejemplo, propuso ponderar la función objetivo de acuerdo con la liquidez de cada bono analizado. En este trabajo, utilizaremos medidas de ponderaciones relacionadas con la duración de cada bono, tomando dos enfoques distintos. En uno de ellos, utilizando como ponderador la inversa de la duración de cada bono (obteniendo mayor peso relativo para los bonos cortos). En el otro, utilizando como ponderador el peso relativo de cada duración sobre la sumatoria de todas las duraciones involucradas (obteniendo mayor peso relativo para los bonos largos).

Por considerarse a YPF como una compañía de emisión de deuda cuasi-soberana, y analizando las metodologías utilizadas por países de nuestra región, observamos el caso de Sudamérica. Herrera y Magendzo (1997) utilizaron NS para estimar la estructura temporal de tasas de interés de Chile. Arango, Melo y Vázquez (2002) lo hicieron para el caso de Colombia, y Rodríguez y Villavicencio (2005) para Perú.

Este trabajo, propone realizar la estimación aplicada a un caso corporativo, sobre la deuda de YPF, tomando como datos las emisiones de bonos en dólares (fuente: Bloomberg), sin cláusula de opción de compra, y bajo la ley Argentina.

#### YPF y su emisión de deuda en dólares bajo ley Argentina.

Fundada en 1922, Yacimientos Petrolíferos Fiscales S.A. (YPF S.A.) es una empresa argentina de energía dedicada a la exploración, explotación, distribución y producción de energía eléctrica, gas, petróleo y derivados de los hidrocarburos, y venta de combustibles, entre otros.

En 1992 fue privatizada, durante la presidencia de Carlos Saúl Menem. Años después, en 1999, fue adquirida por la española Repsol, y en 2012 expropiada en su mayoría por el Estado argentino, durante la presidencia de Cristina Fernández de Kirchner.

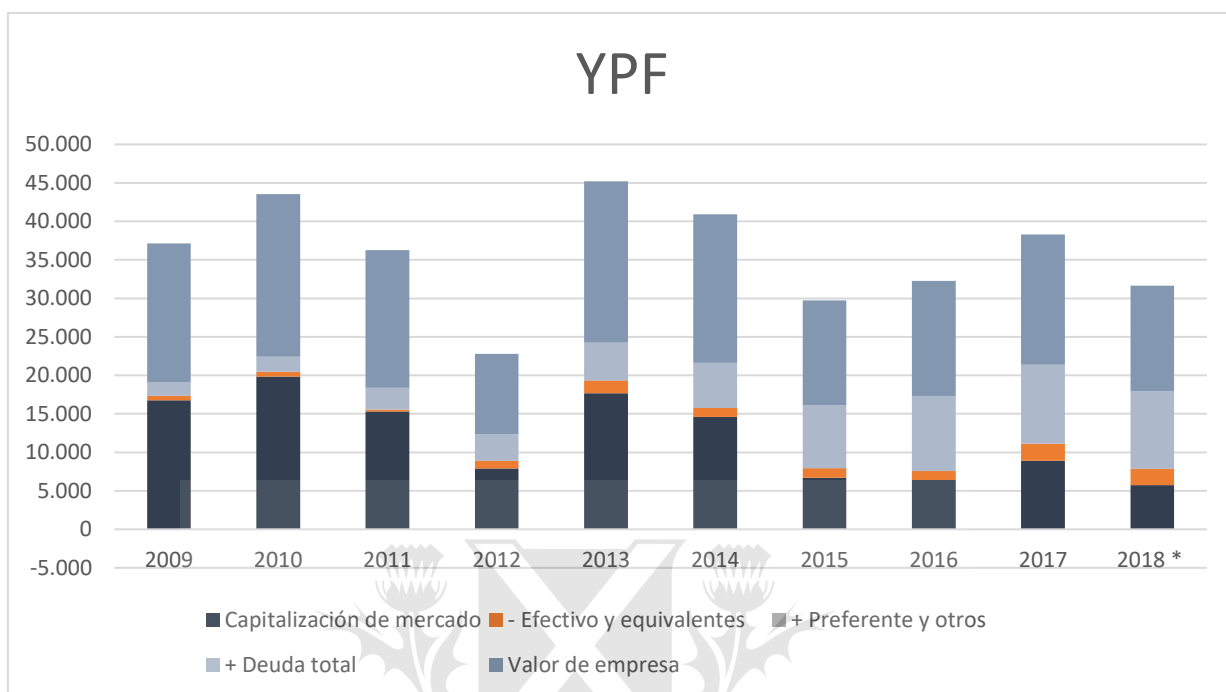
Es una compañía de composición societaria mixta, en la que el Estado es dueño del 51 % de las acciones, y el 49 % restante cotiza en la Bolsa de Buenos Aires y Nueva York.

La evolución del valor de mercado de la compañía en los últimos años, se muestran a continuación, en la siguiente *Tabla 1 y Gráfico 1*.

**Tabla 1.** Valor de mercado de YPF (expresados en millones de US\$):

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018 *
<b>Capitalización de mercado</b>	<b>16.772,0</b>	<b>19.820,3</b>	<b>15.306,6</b>	<b>7.919,7</b>	<b>17.682,1</b>	<b>14.613,2</b>	<b>6.681,2</b>	<b>6.414,9</b>	<b>8.889,0</b>	<b>5.761,9</b>
- Efectivo y equivalentes	564,6	635,1	258,3	965,5	1.643,3	1.152,8	1.251,7	1.152,7	2.237,1	2.102,0
+ Preferente y otros	0,0	0,0	0,0	0,0	34,4	17,8	3,7	-5,9	12,8	7,8
+ Deuda total	1.794,9	1.957,7	2.833,3	3.478,8	4.891,8	5.824,9	8.175,3	9.719,6	10.256,4	10.055,3
<b>Valor de empresa</b>	<b>18.002,3</b>	<b>21.142,9</b>	<b>17.881,6</b>	<b>10.433,0</b>	<b>20.965,0</b>	<b>19.303,2</b>	<b>13.608,5</b>	<b>14.975,9</b>	<b>16.921,1</b>	<b>13.725,7</b>

**Gráfico 1.** Valor de mercado de YPF (expresados en millones de US\$):



(\*)FUENTE: BLOOMBERG / DATOS 2018 CALCULADOS A VALORES DEL 11/07/2018

YPF S.A. es la mayor empresa de Argentina y la quinta petrolera más grande de la región.

El valor actual total de deuda emitida por YPF S.A. se encuentra en el orden de los US\$10.000 millones. Para el presente trabajo, se consideraron cinco bonos emitidos por la compañía a lo largo de la estructura temporal, cuya sumatoria de monto emitido es de US\$4.700 millones (por lo que se considera alrededor de la mitad de la deuda total emitida por la compañía).

La *Tabla 2* muestra sus principales características (fuente: Bloomberg). Ninguno de ellos es cero cupón. De hecho, todos contienen pagos periódicos (semestrales / trimestrales) de interés. Algunos amortizan en su totalidad al vencimiento, mientras que otros lo hacen en los últimos pagos. Ninguno de ellos posee cláusula de opción de compra.



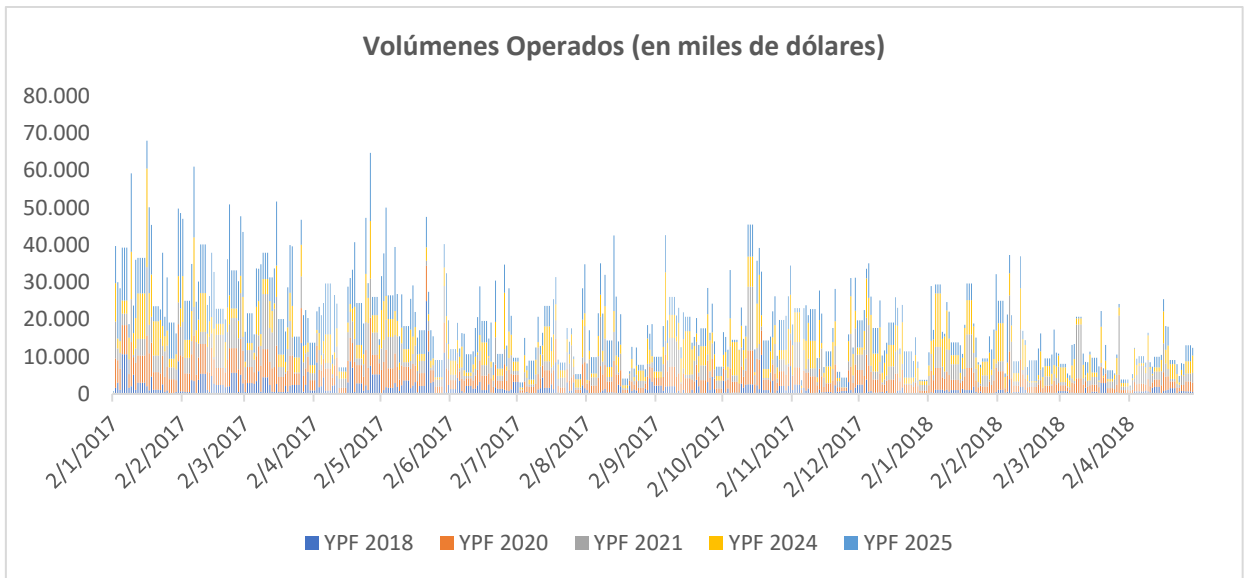
**Tabla 2.** Descripción de los bonos utilizados

NOMBRE	ISIN CODE	FECHA DE EMISION	FECHA DE VTO	MONTO EMITIDO (USD en Millones)	CUPON	FRECUENCIA	AMORTIZACION
YPFDAR 8 7/8 12/19/18 Corp	USP989MJAU54	19/12/2013	19/12/2018	USD 861.560,00	8,875 FIJO	SEMESTRAL	TODO AL FINAL
YPFDAR 8 1/4 04/18/20 Corp	ARYPFS5600G5	18/4/2016	18/4/2020	USD 45.816,18	8,25 FIJO	TRIMESTRAL	TODO AL FINAL
YPFDAR 8 1/2 003/23/21Corp	USP989MJBG51	23/3/2016	23/3/2021	USD 1.000.000,00	8,5 FIJO	SEMESTRAL	TODO AL FINAL
YPFDAR 8 3/4 04/04/24 Corp	USP989MJAY76	4/4/2014	4/4/2024	USD 1.325.000,00	8,75 FIJO	SEMESTRAL	EN 3 PAGOS AL FINAL
YPFDAR 8 1/2 07/28/25 Corp	USP989MJBE04	28/4/2015	28/7/2025	USD 1.500.000,00	8,5 FIJO	SEMESTRAL	TODO AL FINAL

Para el período analizado, se obtuvieron los precios y volúmenes operados de los cinco bonos de Bloomberg utilizando la función “Precio Histórico”, tomando como referencia el último precio operado diario y considerando como fuente la “Bloomberg Genérico” (de ahora en adelante, “BGN”). Dicha fuente, es una composición en tiempo real basada en cotizaciones de múltiples contribuidores. Cuando están disponibles las cotizaciones ejecutables, BGN proporciona una indicación del mercado ejecutable. Cuando están disponibles precios ejecutables limitados, BGN proporciona un nivel indicativo usado para valorar un bono.

El volumen operado de cada uno (expresado en miles de dólares), se refleja en el siguiente *Gráfico 2*.

**Gráfico 2.** Volumen diario operado de cada uno de los bonos utilizados.



La evolución de los rendimientos de la deuda analizada en este trabajo, a través de los últimos años, se muestran en la *Tabla 3* (fuente: Bloomberg). Dichos rendimientos, son calculados como el rendimiento a vencimiento de cada bono, tomando como precio el de cierre de cada día.

Para el cálculo del rendimiento de cada trimestre, se tomó el rendimiento promedio simple de los días que componen cada período de tiempo.

Universidad de  
**San Andrés**

**Tabla 3. Rendimiento promedio de los bonos utilizados**

Rendimiento % promedio					
Año /					
Trim	YPF 2018	YPF 2020	YPF2021	YPF 2024	YPF 2025
<b>2015</b>					
Trim.4	7,65			8,95	9,03
<b>2016</b>					
Trim.1	7,89		8,46	9,26	9,38
Trim.2	5,90	7,35	7,39	8,02	8,10
Trim.3	4,62	6,67	6,32	7,34	7,39
Trim.4	4,33	6,41	6,35	7,56	7,68
<b>2017</b>					
Trim.1	3,61	5,81	5,94	7,09	7,42
Trim.2	3,36	5,16	4,86	6,12	6,39
Trim.3	3,29	5,15	4,85	6,19	6,39
Trim.4	2,99	4,77	4,31	5,85	5,90
<b>2018</b>					
Trim.1	3,40	5,32	4,88	6,28	6,39
Trim.2	4,63	6,63	6,03	7,38	7,56
Trim.3	5,19	7,99	7,53	8,65	9,04

Se observa que, en general, la curva a través del tiempo se comporta de manera normal, existiendo una relación positiva entre la duración y el rendimiento.

#### Datos utilizados y selección del modelo

Este trabajo utiliza datos diarios desde el 01 de Enero de 2017 hasta el 30 de Abril de 2018, recolectando un total de 326 observaciones. Los precios fueron obtenidos de Bloomberg, considerando la siguiente cascada de prioridades en cuanto a la fuente:

- 1) Precio operado en Mercado Abierto Electrónico (MAE)
- 2) En caso de no tener precio en 1), precio operado en BYMA

- 3) En caso de no tener precio en 1) ni 2), toma el precio considerado informado Bloomberg ("Bloomberg genérico BGN" - obtenido en otros mercados).

Cabe destacar que, durante el período utilizado, todos los bonos tuvieron precio de cierre en todos los días analizados, por lo que no fue necesario estimar ninguno de los datos tomados como observaciones.

Dado que durante el período de análisis todos los bonos tienen un vencimiento superior a 6 meses, utilizamos la tasa de las cauciones a 7 días en dólares negociadas en la bolsa local como tasa de referencia para el punto de corto plazo en la curva (fuente: Reuters). La selección del vencimiento se debe a que dicho plazo es el de mayor volumen operado en el mercado de cauciones.

Dentro del universo de modelos paramétricos posibles en la estimación de la estructura temporal de tasas de interés, la elección de cuál será el que mejor aplique al caso de análisis, depende primordialmente de las características del mercado analizado, y del propósito del trabajo en cuestión.

Este trabajo se centra en encontrar un modelo parsimonioso que produzca una curva cupón cero suave y estable, y que permita una estimación acertada en la valuación de los bonos. Debido al vencimiento de los bonos analizados, se ha agregado como referencia de punto de corto plazo, la tasa de la caución en dólares a 7 días. De esta manera, se cuenta con seis puntos en la estructura temporal.

Como uno de los objetivos de este trabajo consiste en utilizar la curva cupón cero de tasas de interés para estimar los precios de los bonos, la estimación es realizada a través del modelo de NS. Se estudian tres funciones objetivos basadas en la suma de los errores entre los precios observados y los precios teóricos al cuadrado. Estas se diferencian en sus ponderadores del error: sin ponderadores, ponderada por la inversa de la duración y ponderada por el promedio ponderado de la duración.

El modelo NS relaciona a las tasas cupón cero y al tiempo a través de la siguiente ecuación:

$$r(t) = \beta_0 + \beta_1 \frac{(1 - \exp(-\frac{1}{t}))}{t/\tau} + \beta_2 \left( \frac{(1 - \exp(-\frac{1}{t}))}{\frac{t}{\tau}} - \exp\left(-\frac{1}{t}\right) \right) \quad (1)$$

Siendo:

t: tiempo

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \tau$ : los parámetros a estimar utilizando los precios observados en el mercado

Los valores de estos parámetros son importantes debido a su interpretación real. En efecto:

- $\beta_0$  es la tasa de interés de largo plazo
- $\beta_1$  es el spread entre las tasas de corto y largo plazo
- Por lo tanto,  $\beta_0 + \beta_1$  puede ser interpretado como la tasa de interés de corto plazo
- $\beta_2, \tau$  ambos parámetros están relacionados con la joroba que caracteriza al modelo de NS

Bajo el supuesto de mercado completo y condiciones de no arbitraje, el precio  $P_i^*$  del bono i, puede definirse en la siguiente ecuación:

$$P_i^* = \sum_{j=1}^T C_{j,i} e^{-r_j t_j} + N_{j,i} e^{-r_j t_j} \quad (2)$$

Siendo:

$C_{ji}$ : pago de cupón del bono i al momento j

$N_{ji}$ : pago de amortización del bono i al momento j

Los años al vencimiento  $t_j$  son calculados desde la fecha de delivery.

Los bonos pueden ser negociados en pesos argentinos o dólares estadounidenses, y su liquidación en contado inmediato 24 o 48 horas hábiles. Como el mayor volumen

negociado ocurre en dólares y al plazo de 48hs, la curva toma estimaciones usando este plazo y moneda.

Para el proceso de optimización, el error de precio  $e_i$  se define como la diferencia entre el precio estimado  $P_i^*$  y el precio observado  $P_i$  de los bonos seleccionados para este trabajo.

$$e_i = P_i^* - P_i \quad (3)$$

El error relativo de interés  $e_{rate}$  se define como la diferencia entre la tasa teórica de interés (dada por la ecuación 1) y la tasa de interés de cauciones en dólares a 7 días, dada por el mercado.

$$e_{rate} = 100 \times (r(t_{rate}) - rate) \quad (4)$$

La estimación de los parámetros  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \tau$  mediante la siguiente optimización genera, parámetros pocos estables debido a la alta no linealidad del problema proporcionada por  $\tau$  y debido a la escases de bonos.

$$MIN_{\beta_0, \beta_1, \beta_2, \tau} [\sum_{i=1}^N w_i e_i^2 + e_{rate}^2] \quad (5)$$

Siendo, N la cantidad de bonos utilizados en el análisis y  $w_i$  distintos ponderadores utilizados.

Por lo tanto, siguiendo el criterio de varios autores se decide fijar el valor del  $\tau$  al realizar la optimización. Entre los criterios analizados, se consideran:

- Diebold - Li (2006) proponen un valor fijo de  $\tau$  en 1.37
- Fabozzi (2005) propone un valor fijo de  $\tau$  en 3
- Julián Andrada-Félix (2014) propone un valor fijo de  $\tau$  en 3

Para este trabajo se tomó un valor fijo de  $\tau = 2$ , un valor considerado razonable por varios motivos.

En primera instancia, es el valor promedio obtenido con la optimización (5), cuando esta se comporta de manera estable.

En segundo lugar, varios autores como NS, Barrett (1995) y Willner (1996) han observado que los parámetros (nivel, pendiente y curvatura) obtenidos del modelo de NS, son insensibles a la elección del  $\tau$ .

Por último, en el caso de Annaert (2013), estimó los parámetros de NS para la curva de tasas spot Euro utilizando un  $\tau$  fijo en 1.37 (como lo sugirieran Diebold – Li 2006), y un  $\tau$  fijo en 3 (siguiendo la corriente de Fabozzi 2005). Los resultados obtenidos fueron muy similares, por lo que no pudo concluirse qué valor de  $\tau$  resultara más adecuado.

Por lo tanto, la optimización que se realiza es la siguiente:

$$MIN_{\beta_0, \beta_1, \beta_2} [\sum_{i=1}^N w_i e_i^2 + e_{rate}^2] \quad (6)$$

Se corrieron tres modelos utilizando distintos ponderadores  $w_i$ , aplicados directamente sobre la función de error, para evaluar distintas alternativas que permitieran reducir al mínimo dichos errores.

Modelo 1:

- Se le otorgó la misma ponderación a cada bono involucrado en el análisis.

$$w_i = 1$$

Modelo 2:

- Se le otorgó mayor peso relativo a los bonos cortos utilizando como ponderador  $w_i = \frac{1}{D_i}$  (siendo  $D_i$  la duración del bono i)

Modelo 3:

- Se le otorgó mayor peso relativo a los bonos largos utilizando como ponderador  $w_i = \frac{D_i}{\sum D_i}$  (siendo  $D_i$  la duración del bono i, y  $\sum D_i$  la sumatoria de todas las duraciones de los bonos involucrados en el análisis). El ponderador es el promedio ponderado de la duración.

Debido a la presencia de mínimos locales, para la determinación de los parámetros en cada día se siguió la metodología realizada por el Banco Central de Canadá, Bolder y Stréliski (1999). Siguiendo esta metodología, se construyó una grilla con distintos puntos

de partida situados dentro de la zona de posibles soluciones para la optimización (dicha selección se realizó de manera arbitraria).

Se armó dicha grilla considerando todas las combinaciones para el vector  $(\beta_0; \beta_1; \beta_2)$  dadas por:

$$\beta_0\{0,08 ; 0,09 ; 0,10 ; 0,11 \}$$

$$\beta_1\{-0,045 ; -0,055 ; -0,065 ; -0,075 \}$$

$$\beta_2\{0,25 ; 0,50 ; 0,75 \}$$

Para cada una de las combinaciones se realizó la optimización y se obtuvieron los parámetros  $(\beta_0^*; \beta_1^*; \beta_2^*)$  que minimizaban la función objetivo. Sobre todas las soluciones optimas obtenidas, se tomó como solución global para cada día de curva la que generaba el menor valor de la función objetivo.

## Resultados empíricos y estudios realizados

---

En lo que respecta al análisis de errores de los distintos modelos, se define:

- Error absoluto promedio (MAE):

$$MAE = \sum_{i=1}^N \frac{|P_i^* - P_i|}{N} \quad (7)$$

- Error absoluto relativo promedio (MAPE):

$$MAPE = \sum_{i=1}^N \frac{|P_i^* - P_i|}{P_i} * \frac{100}{N} \quad (8)$$

- Error absoluto promedio entre Tasas Interna de Retornos (MATIRE):

$$MATIRE = \sum_{i=1}^N \frac{|Y_i^* - Y_i|}{N} \quad (9)$$

En las tablas que se muestran a continuación se muestran los resultados obtenidos de cada modelo.



**Tabla 4. Medidas de Error de cada Modelo**

**Modelo de Nelson-Siegel**

---

Medida de error	Sin Ponderador	Ponderado por la inversa de la duración	Ponderador por el
			promedio ponderado de la duración
MAE	0,7828	0,8502	0,8702
MAPE	0,7017	0,7608	0,7789
MATIRE	0,29%	0,30%	0,31%

**Tabla 5. Error porcentual promedio de precio por bono**

**Modelo de Nelson-Siegel**

---

Bono	Sin Ponderador	Ponderado por la inversa de la duración	Ponderador por el
			promedio ponderado de la duración
YFPDAR 2018	0,0717	0,0624	0,0320
YFPDAR 2020	-1,4073	-1,2784	-1,2832
YFPDAR 2021	0,9312	1,1193	1,1362
YFPDAR 2024	0,1851	0,2727	0,2926
YFPDAR 2025	-0,1726	-0,3476	-0,3655

**Tabla 6. Diferencia absoluta promedio de TIR por bono**

**Modelo de Nelson-Siegel**

---

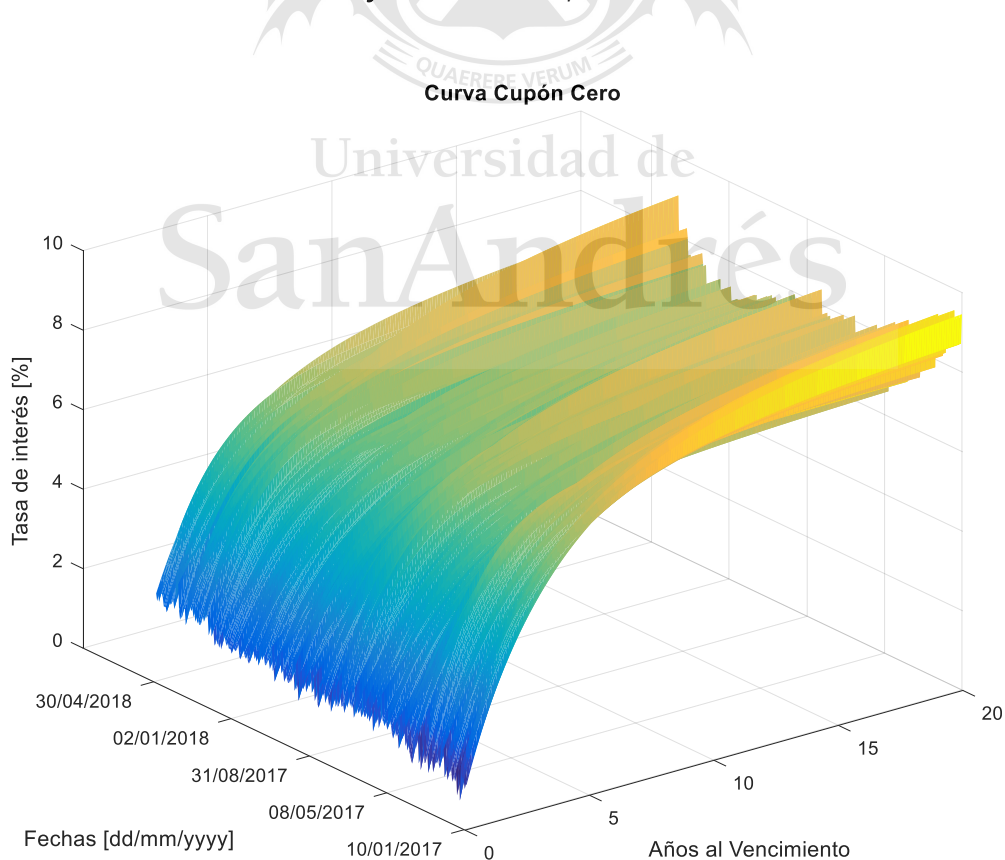
Bono	Sin Ponderador	Ponderado por la inversa de la duración	Ponderador por el
			promedio ponderado de la duración
YFPDAR 2018	0,0337%	0,0409%	0,0801%
YFPDAR 2020	0,6469%	0,5820%	0,5846%
YFPDAR 2021	-0,3201%	-0,3882%	-0,3945%
YFPDAR 2024	-0,0435%	-0,0646%	-0,0695%
YFPDAR 2025	0,0310%	0,0633%	0,0666%

En la *Tabla 4* se observa que el modelo que mejores medidas de error arroja, menor valor en todas las métricas, es el modelo sin ponderador. En cuanto al análisis de error promedio de precios y rendimientos de cada bono, *Tabla 5* y *Tabla 6* respectivamente, se observa que no hay un modelo que sea siempre mejor que el resto para todos los bonos.

Por lo tanto, basándose en el criterio de comparación de errores, se mostrarán los resultados provenientes del modelo sin ponderador.

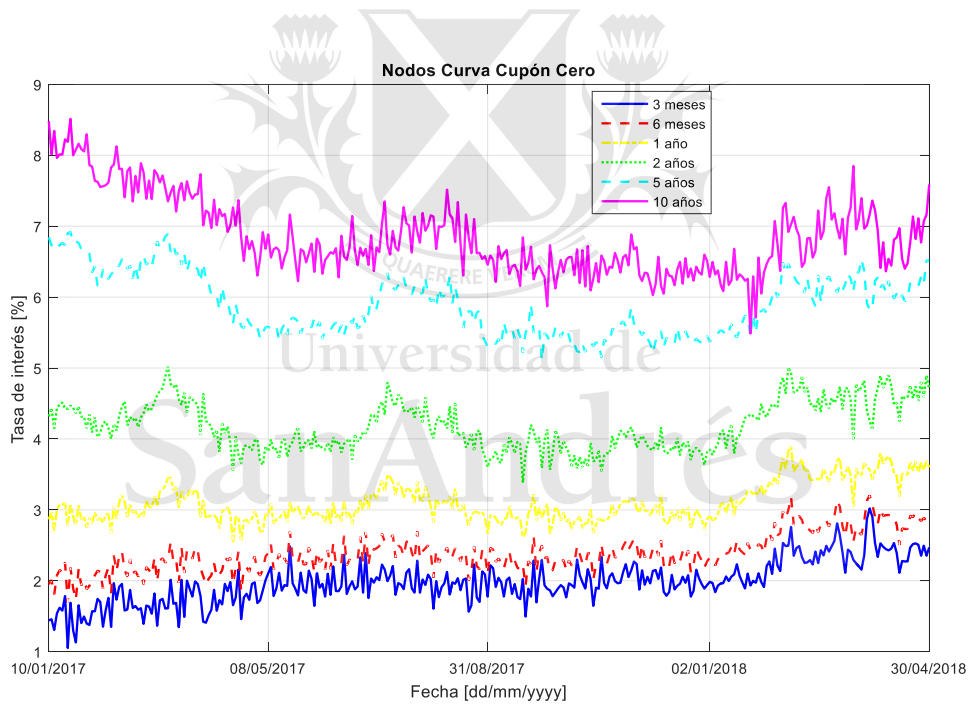
El modelo de NS sin ponderadores produjo una superficie de tasa de interés suave durante todo el período analizado. La forma de la curva es normal, ya que presenta una relación positiva entre los años al vencimiento y la tasa de interés; estabilizándose esta última en torno al 8%/10% en el largo plazo.

**Gráfico 3. Curva Cupón Cero**



A continuación, un gráfico con la evolución diaria de los nodos de la curva cupón cero de interés para los plazos de 3 meses, 6 meses, 1 año, 2 años, 5 años, y 10 años; en el que puede destacarse que los distintos plazos considerados se comportan de manera similar y consistente. Los nodos mas cortos (3 meses, 6 meses y 1 años), son los que mayor estabilidad presentan a lo lardo de todo el período analizado. Por su parte, los nodos más largos (2 años, 5 años y 10 años) se encuentran en valores máximos al inicio del período, presentan una tendencia bajista hacia mediados de 2017, manteniendo ese nivel sin demasiadas oscilaciones hacia inicios de 2018, y recuperando la tendencia alcista hacia los valores iniciales del período en lo que resta de 2018.

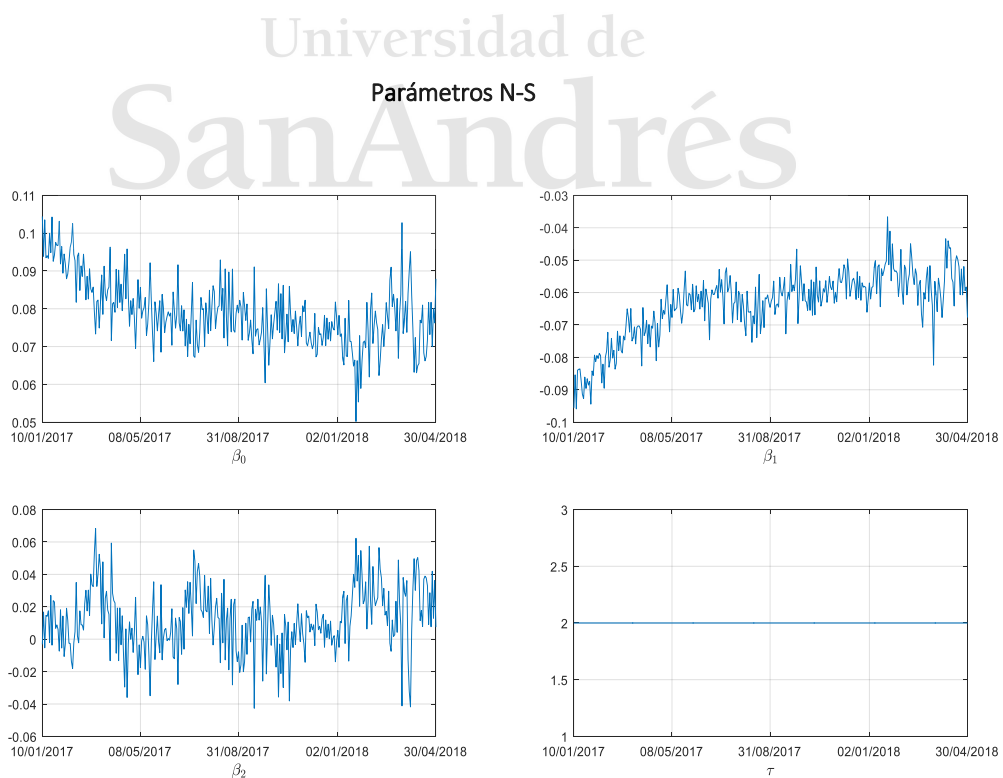
**Gráfico 4. Nodos Curva Cupón Cero**



Los parámetros de NS muestran estabilidad en su comportamiento en todo el recorrido del período analizado:

- $\beta_0$  , la tasa de interés de largo plazo, oscila entre valores de 5% y 10% (siendo las menores tasas observadas en los momentos de mayor estabilidad económica, como lo fue a principios de 2018; y 10% en los momentos de mayor volatilidad del mercado).
- $\beta_1$  , el spread entre la tasa de interés de corto y largo plazo, muestra una pendiente positiva durante el primer semestre de 2017 (notar que la escala es negativa, la pendiente creciente denota que, habiendo estabilidad en la tasa de corto plazo, y siendo que la tasa de largo plazo presenta una pendiente negativa en dicho período, la brecha entre ambas se acorta durante dicho intervalo de tiempo). En lo que resta del período considerado en este trabajo, la estabilidad de la tasa de largo plazo, acompañada por la estabilidad de la tasa de corto, generan la suavidad observada en el spread entre ambas tasas.
- $\beta_2$  , medida relacionada con la joroba de la curva de N-S, oscila entre valores -4% Y 6%, en torno al 0%.
- $\tau = 2$ , fijado en este trabajo.

Gráfico 5. Parámetros N-S



Se observa cómo el error de valuación de cada bono se halla dentro del intervalo +/- 0.6%, denotando que la valuación ha sido confiable.

- YPF 2018: el error promedio de valuación se halla en torno al 0%, denotando que la valuación ha sido confiable.
- YPF 2020: el error promedio de valuación se halla en torno al -1.5%. Es el bono cuyo error presenta el mayor porcentaje, lo cual es consistente con sus características. Esta emisión es la más pequeña de los cinco bonos considerados, y por lo tanto la que presenta menor liquidez y mayor volatilidad de precio.
- YPF 2021: el error promedio de valuación se halla en torno al 1%, denotando que la valuación ha sido confiable.
- YPF 2024: el error promedio de valuación se halla en torno al 0%, denotando que la valuación ha sido confiable.
- YPF 2025: el error promedio de valuación se halla en torno al 0%, denotando que la valuación ha sido confiable.

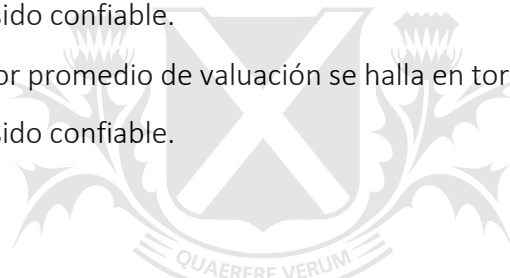
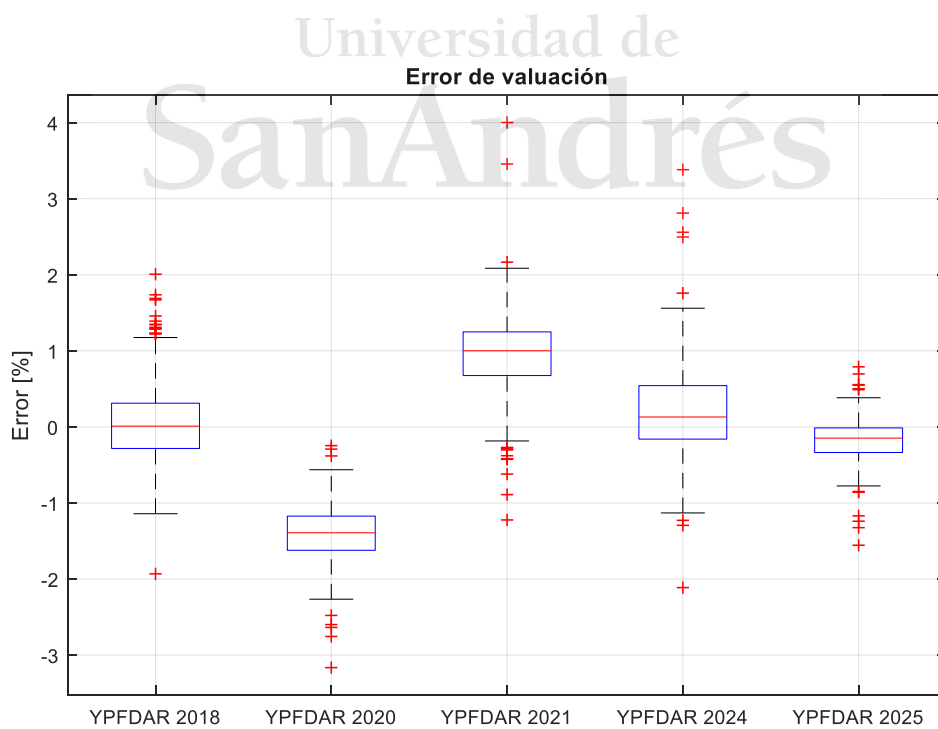


Gráfico 6. Error de Valuación



Utilizando los parámetros obtenidos al calibrar la curva de cupón cero de YPF mediante el modelo de NS sin ponderación, se analiza la capacidad del modelo de predecir la curva cupón cero a un horizonte dado de tiempo. Para ello, se sigue los pasos del trabajo Julián Andrada-Félix (2014).

Con tal fin, se define un modelo como punto de referencia (“*benchmark*”) y un modelo competidor. El modelo *benchmark* es el Random Walk (“Paseo Aleatorio”), el cual su mejor predicción de la curva cupón cero a cualquier horizonte es la actual.

$$\hat{\beta}_{i,t+h/t} = \hat{\beta}_{i,t} \quad i = \{0,1,2\} \quad (10)$$

El modelo competidor, es un modelo VAR(p) sobre las diferencias de los parámetros de NS.

$$\Delta y_t = C + A_1 \Delta y_{t-1} + A_2 \Delta y_{t-2} + \dots + A_p \Delta y_{t-p} + e_t \quad (11)$$

Cabe aclarar que se realiza un VAR (p) sobre las diferencias, debido a que los parámetros no resultan estacionarios, en cambio las diferencias sí. Para verificar esto, se realizó el test de hipótesis de Dickey-Fuller.

Por lo tanto, el modelo de predicción viene dado por:

VAR (p), sobre cambios en beta

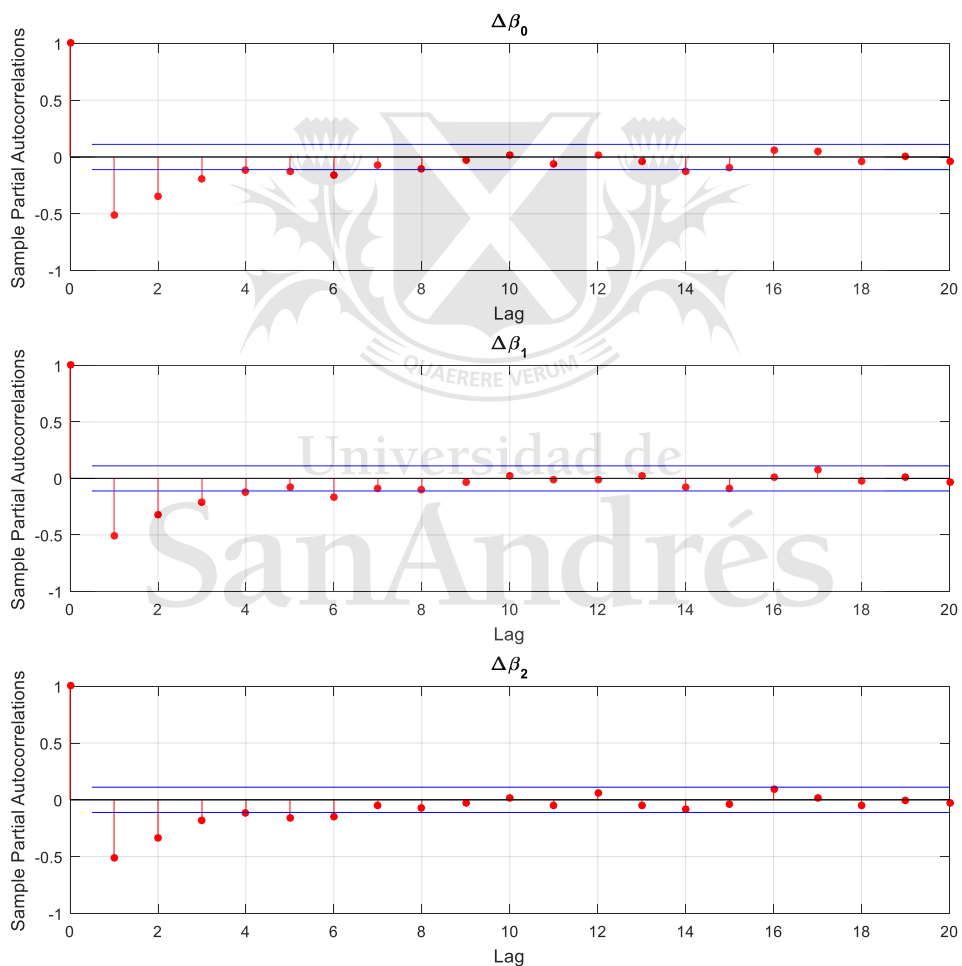
$$\hat{z}_{t+h/t} = \hat{c} + \hat{\Gamma}_1 z_{t-1} + \hat{\Gamma}_2 z_{t-2} + \dots + \hat{\Gamma}_p z_{t-p} \quad (12)$$

$$\hat{\beta}_{t+h/t} = \hat{\beta}_t + \sum_{j=1}^h \hat{z}_{t+j/t} \quad i = \{0,1,2\} \quad (13)$$

Donde,  $z_t$  es el vector de las diferencias de los parámetros de Nelson y Siegel  $[(\hat{\beta}_{0,t} - \hat{\beta}_{0,t-1}), (\hat{\beta}_{1,t} - \hat{\beta}_{1,t-1}), (\hat{\beta}_{2,t} - \hat{\beta}_{2,t-1})]$ ,  $\hat{z}_{t+h/t}$  es la predicción de h días desde el momento t,  $\hat{c}$  es una contante, y  $\hat{\Gamma}_i$  son coeficientes del modelo.

En primera instancia se define el orden “p” del VAR. Para ello se observa las autocorrelaciones parciales de la diferencia de los parámetros, ver *Gráfico 7*, en base a esto se utilizará un VAR(3). Esta elección se debe a que los tres primeros atrasos (lags) se encuentran por fuera del intervalo en torno al cero, denotando que la información otorgada por esa cantidad de períodos previos puede influir en la estimación del comportamiento futuro de los parámetros.

*Gráfico 7. Autocorrelaciones Parciales*



La *Tabla 7* muestra la capacidad de predicción de los modelos. Se usa un estadístico de Raíz de la Desviación Cuadrática Media (RMSE, por sus siglas en inglés) para comparar las tasas de interés predichas por cada modelo en 3 meses, 1 año, 3 años, 5 años y 10 años de vencimiento, para la fecha  $t + h$ ; con las tasas de interés reales obtenidas para la fecha  $t+h$  (siendo  $h$ : 5 días, 1 mes, 3 meses, 6 meses y 9 meses). Para calibrar los distintos VAR(p) se tomó una ventana temporal móvil de 50 días.

En ambos casos, se muestra el RMSE para predicciones a 5 días, 1 mes, 3 meses, 6 meses y 9 meses, a partir del período de datos considerado (desde en 01 de Enero de 2017 al 30 de Abril de 2018). Para comparar la precisión de dichas predicciones, se utilizó un nivel de confianza del 90%. Los valores en “negrita” denotan aquellos correspondientes a los menores RMSE.

*Tabla 7. RMSE de cada modelo*

Modelo	Horizonte de Predicción	Nodos Curva Cupón Cero				
		3 meses	1 año	3 años	5 años	10 años
<b>Paseo Aleatorio</b>						
	5 días	0.2616	<b>0.1864</b>	<b>0.2544</b>	0.2121	<b>0.3580</b>
	1 mes	0.2653	0.2705	0.4082	<b>0.3824</b>	<b>0.4540</b>
	3 meses	0.3380	0.3984	0.5591	<b>0.5362</b>	<b>0.5439</b>
	6 meses	0.3937	0.4402	0.5725	<b>0.5611</b>	<b>0.5960</b>
	9 meses	0.4523	0.4971	0.6144	<b>0.5822</b>	<b>0.6545</b>
<b>VAR(3)</b>						
	5 días	<b>0.2614</b>	0.1865	0.2544	<b>0.2121</b>	0.3582
	1 mes	<b>0.2601</b>	<b>0.2664</b>	<b>0.4076</b>	0.3829	0.4544
	3 meses	<b>0.3037</b>	<b>0.3582</b>	<b>0.5529</b>	0.5529	0.5947
	6 meses	<b>0.3525</b>	<b>0.4006</b>	<b>0.5628</b>	0.5763	0.6414
	9 meses	<b>0.3432</b>	<b>0.3448</b>	<b>0.5706</b>	0.6526	0.8536

Se observa que el RMSE del VAR (3) es menor que el del Paseo Aleatorio en el corto plazo. En el largo plazo ocurre lo contrario, el RMSE del Paseo Aleatorio arroja menores valores



que el del VAR (3). En ningún caso el test de Diebold y Mariano (1995) nos permite rechazar la hipótesis nula que ambos modelos tienen igual desempeño.

## Conclusión

---

El objetivo de este trabajo fue desarrollar una metodología para estimar la estructura temporal de tasas de interés de YPF. La escasa negociación y la cantidad de bonos disponibles en el armado de la curva cupón cero, son factores claves a la hora de la selección del modelo. Para atender a este problema, se eligió como modelo el de NS, tomando como función objetivo la suma de los errores entre los precios teóricos y los precios de mercado al cuadrado.

Cabe destacar, que el mercado de bonos de YPF enfrenta también un problema de liquidez (escaso volumen operado, y amplia distancia entre posturas de compra y de venta). Por lo tanto, fue necesario adoptar una metodología que utilizara toda la información disponible en el mercado para obtener la mayor información posible de los precios observados.

Entre los modelos corridos, el que otorgó los mejores resultados (entendiéndose como aquel que minimizó las funciones objetivo, arrojando los menores errores porcentuales) fue el modelo que utilizaba igual ponderación para cada bono involucrado.

Los resultados empíricos basados en las observaciones diarias desde el 01 de Enero de 2017 hasta el 30 de Abril de 2018, indicaron que el modelo sin ponderadores produjo una superficie suave de tasas de interés, reflejada en comportamientos estables en los parámetros de NS, durante el período de análisis.

En el análisis de predicción, se testeó un modelo de vectores autorregresivos, que considerara el comportamiento pasado de los parámetros para estimar su evolución futura, contra un Paseo Aleatorio (tomado como punto de referencia). De los resultados del test de hipótesis, no se pudo afirmar que un modelo fuera mejor que el otro.

Como un valor agregado importante, el modelo funciona como una herramienta confiable en la valuación de los bonos, y en la estimación de tasas/precios de futuras emisiones de la compañía.

- Alper, C. Emre, Aras Akdemir and Kazim Kazimov. *Estimating the Term Structure Of Government Securities in Turkey*, 2004.
- Arango, L.E., Melo, L.F. and Vásquez, D.M. *Estimación de la Estructura a Plazo de las Tasas de Interés en Colombia*, Banco de la República, 2002.
- Bjork, T., and B.J. Christensen. *Interest Rate Dynamics and Consistent Forward Rate Curves*, *Mathematical Finance* 9 (4), pp. 323–348, 1999.
- Bliss, R.R. *Testing Term Structure Estimation Methods*, Federal Reserve Bank of Atlanta Working Paper 96-12a, 1996.
- Chou, Jian-Hsin; Su, Yung-Sheng; Tang, Hui-wen; Chen, Chen-Yu. “*Fitting the Term Structure of Interest Rates in Illiquid Market: Taiwan Experience*”, 2009.
- *Investment Management and Financial Innovations*, Vol. 6(1), pp.101-116.
- Coroneo L., K. Nyholm, and R. Vidova-Koleva. *How Arbitrage-Free is the Nelson-Siegel Model?*, European Central Bank, Working Paper Series No. 874, 2008.
- Geyer, A. and Mader, R. *Estimation of the term structure of interest rates: A parametric approach*, Working Paper Series of the Oesterreichische National Bank No. 37, 1999.
- Herrera, L. O. and I. Magendzo. *Expectativas Financieras y la Curva de Tasas Forward de Chile*. Documentos de Trabajo 23, Banco Central de Chile, 1997.
- McCulloch, Huston J. *Measuring the Term Structure of Interest Rates*, *Journal of Business*, No.42, 19-31, 1971.
- McCulloch, Huston J. *The Tax-Adjusted Yield Curve*, *The Journal of Finance*, Vol. 30, 811-830, 1975.
- Meier, Iwan. *Estimating the Term Structure of Interest Rates: the Swiss Case*, 1999.
- Swiss National Bank. Study Center Garzensee, Working paper, 99.06.
- Monetary and Economic Department BIS. *Zero-coupon yield curves: technical documentation*, BIS Papers No 25. Bank of International Settlements, 2005.

- Nelson, Charles B. y Siegel, Andrew. *Parsimonious Modeling of Yield Curves*, Journal of Business, Vol. 60, 473-489, 1987.
- Ricart, R. and Sicsic, P. *Estimation d'une structure par terme des taux d'intérêt sur données françaises*, Banque de France, Working paper No.22, 47-50, 1995.
- Rodríguez, A. and Villavicencio, J.A. *La Formación de la Curva de Rendimientos en Nuevos Soles en el Perú*, Documento de Trabajo 239, PUCP, 2005.
- Subramanian, K. V. *Term structure estimation in illiquid markets*, Journal of Fixed Income, Vol. 11, No. 1, 77-86, 2001.
- Svensson, Lars. *Estimating and Interpreting Forward Interest Rates: Sweden 1992-1994*, 1994.
- Diebold, F.X. y Li, Canlin. *Forecasting the term structure of government bond yields*, 2005.
- Andrada-Félix, Julián, Fernandez-Perez, Adrian y Fernandez-Rodriguez, Fernando. *Fixed income strategies based on the prediction of parameters in the NS model for the Spanish public debt market*, 2014.
- Diebold, F.X. y Mariano, R.S. *Comparing Predictive Accuracy*, Journal of Business and Economic Statistics, 1995.