

# Estimación de la curva de rendimiento de bonos soberanos a través de un MODELO DE NO ARBITRAJE

FERNANDO PÉREZ\* Y LUCERO RUIZ\*\*

Los datos que se pueden obtener de las diferentes tasas de interés en soles de la curva de rendimiento son clave para medir las condiciones de mercado y expectativas futuras. En este artículo se utiliza un modelo de no arbitraje para obtener los factores propios de la curva de rendimiento y así poder contar con una métrica descriptiva que sirva como herramienta para el seguimiento del mercado.



\* Subgerente de Diseño de Política Monetaria del BCRP  
fernando.perez@bcrp.gob.pe



\*\* Asesora de Diseño de Política Monetaria del BCRP  
lucero.ruiz@bcrp.gob.pe

## I. INTRODUCCIÓN

La información contenida en las diferentes tasas de interés en soles de la curva de rendimiento es de vital importancia para medir las condiciones de mercado y expectativas futuras, tanto de la política monetaria como de la inflación y otros fundamentos macroeconómicos. En este artículo se toma la información de las tasas de interés de los CDBCRP y de los bonos del Tesoro Público (BTP), instrumentos de referencia denominados en soles del mercado monetario y de deuda pública, respectivamente<sup>1</sup>. En línea con la literatura financiera empírica, una curva de rendimiento se puede describir a partir de tres factores: nivel, pendiente y curvatura. En este artículo, se opta por un modelo de no arbitraje (*affine term structure model*) cuyos factores son compatibles con probabilidades teóricas neutras al riesgo. Bajo este esquema, se estiman rendimientos para cada plazo, lo que permite identificar una métrica de referencia para evaluar si existen desalineamientos respecto a su valor fundamental.

Existe evidencia empírica que señala que en economías pequeñas con esquemas de metas explícitas de inflación (MEI) donde se utiliza la tasa de interés de referencia como instrumento principal de política monetaria, se suele registrar un efecto traspaso más efectivo en comparación al de los bancos centrales que conducen su política monetaria mediante el uso de agregados monetarios (Bong y otros, 2016). Asimismo, según Bulff y Vlcek (2020), en algunos países que conducen formalmente una MEI, se suele observar una mayor sensibilidad de la pendiente de la curva de rendimientos soberana ante cambios en la tasa de inflación, lo cual sería una señal de que las expectativas inflacionarias están bien ancladas<sup>2</sup>. Bajo este enfoque, resulta útil estimar una curva de rendimientos de bonos soberanos para que sirva como una herramienta informativa sobre el efecto de transmisión de política monetaria.

## II. METODOLOGÍA Y RESULTADOS

Teniendo en cuenta lo anterior, es posible caracterizar la curva de rendimientos tal que incorpore como variables explicativas a los factores que determinan la forma de la curva de rendimiento de deuda emitida por el Tesoro Público<sup>3</sup>. Entre los principales factores latentes de sensibilidad de la curva de rendimientos



Estas expectativas parten del nivel de la tasa de política y de la interpretación que los agentes económicos hagan sobre las políticas convencionales futuras o el *forward guidance* explícito.



se tiene el nivel, la pendiente y la curvatura<sup>4</sup>. Asimismo, esta caracterización nos permite también descomponer una tasa de interés de largo plazo en:

$$\text{Tasa largo plazo} = \text{Expectativas} + \text{Prima por Riesgo}$$

En general, se acepta la hipótesis de que las expectativas de la tasa de política se reflejan en el segmento de corto plazo de la curva de rendimiento. Estas expectativas parten del nivel de la tasa de política y de la interpretación que los agentes económicos hagan sobre las políticas convencionales futuras o el *forward guidance* explícito. Por ello, el componente de prima por riesgo de las tasas de largo plazo revelaría el efecto de la política monetaria no convencional. A su vez, dicha información nos permitiría identificar si existen bonos que cotizan a tasas distintas de sus fundamentos.

En línea con estudios previos<sup>5</sup>, se ha optado por aplicar un modelo del tipo de *affine*

<sup>1</sup> Los plazos al vencimiento considerados van desde los tres meses hasta los treinta años.

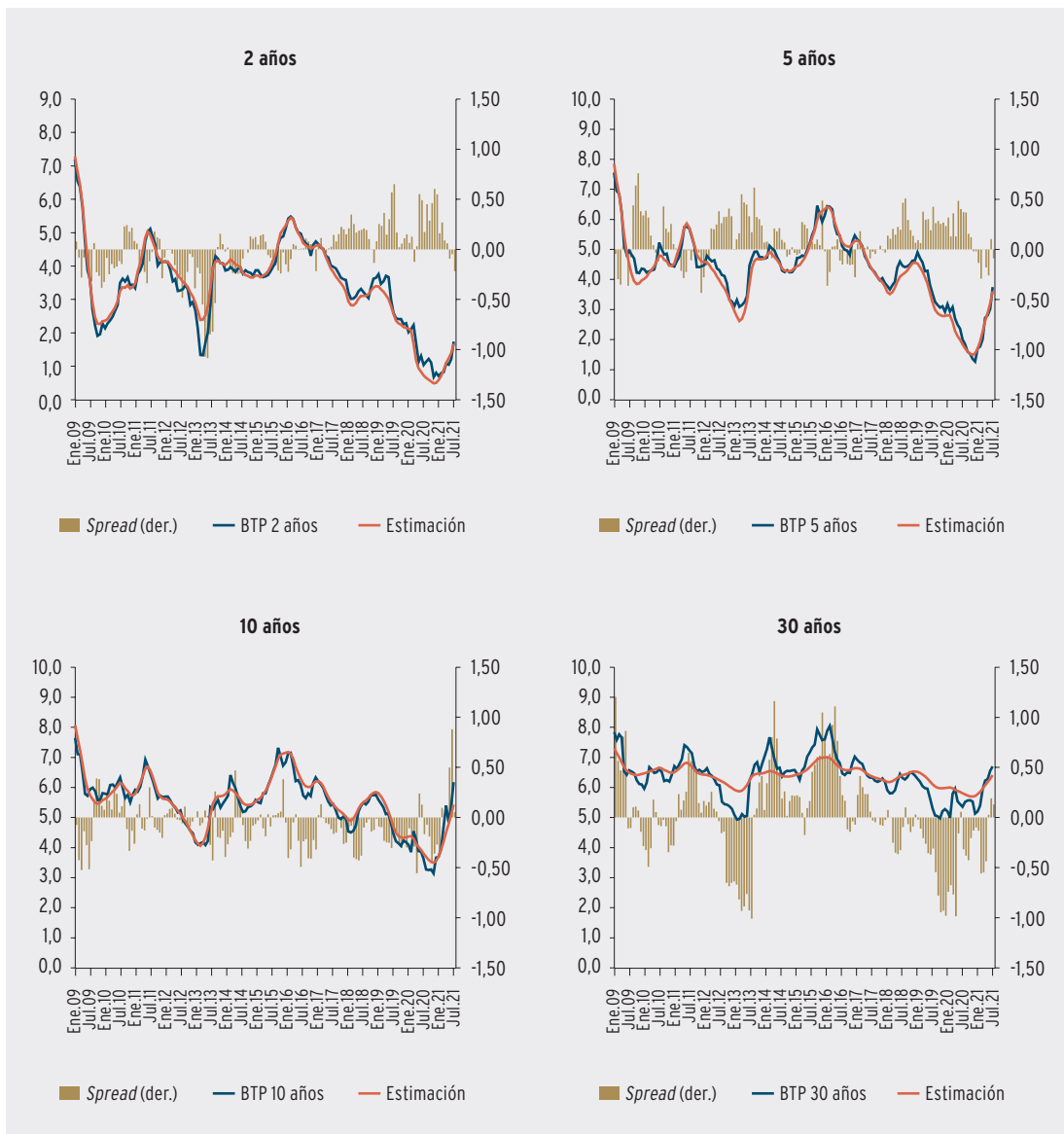
<sup>2</sup> En el año 2002, el BCRP estableció un esquema de metas explícitas de inflación, donde la inflación subyacente es la que tendría mayor relevancia para el manejo de la política monetaria, ya que revela patrones de evolución no transitorios.

<sup>3</sup> En los mercados internacionales, los bonos soberanos en moneda local del Perú son conocidos como "soberanos", mientras que los denominados en dólares, como bonos "globales". En este análisis se utiliza sólo datos mensuales de los soberanos (BTP) para el periodo de setiembre 2003 a julio 2021.

<sup>4</sup> Ver Diebold y Li (2006).

<sup>5</sup> Ver para el caso de Colombia: Velásquez-Giraldo and Restrepo-Tobón (2016) y Maldonado, Zapata and Pantoja (2014). En México: Cortés y Ramos-Francia (2008). En Canadá: Bolder (2000). En Perú: Olivares y otros.(2016).

**GRÁFICO 1** Rendimiento de bonos soberanos históricos y estimaciones del modelo (en porcentajes)



*term structure models* (ATSM) ya que nos permite: (1) generar pronósticos bajo el supuesto de no arbitraje entre bonos de distintos plazos, (2) incorporar tanto indicadores macroeconómicos como factores latentes de la curva de rendimientos, y (3) optimizar la demanda computacional de modelizar tasas cuyas varianzas cambian en el tiempo. Según Piazzesi (2010), la estructura básica del ATSM se puede especificar a través de tres ecuaciones:

(1) ecuación de estado que describe la dinámica de las variables explicativas,

$$X_t = \mu + \Phi X_{t-1} + CU_t$$

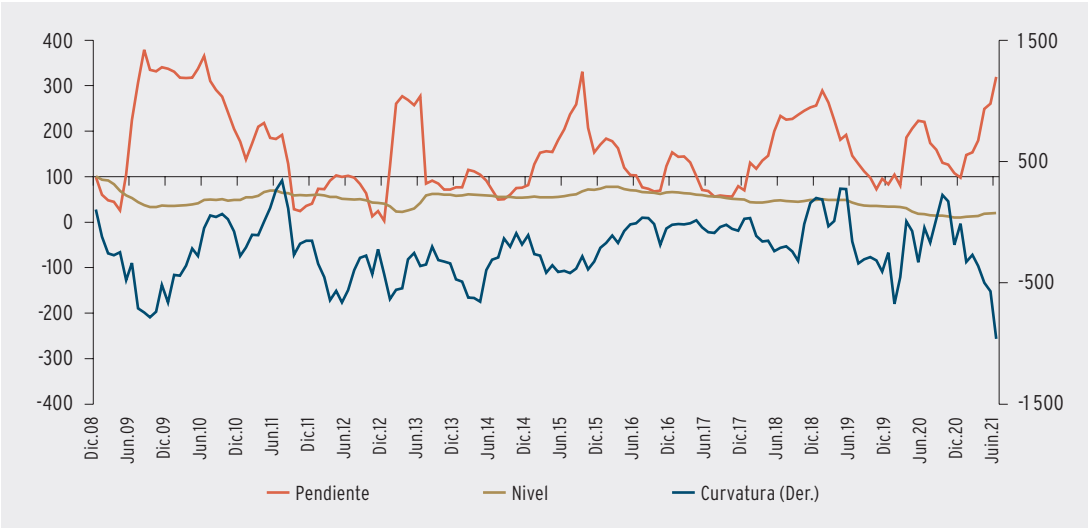
(2) ecuación de la tasa de corto plazo,

$$i_t^{(0)} = \delta_0 + \delta'_1 X_t$$

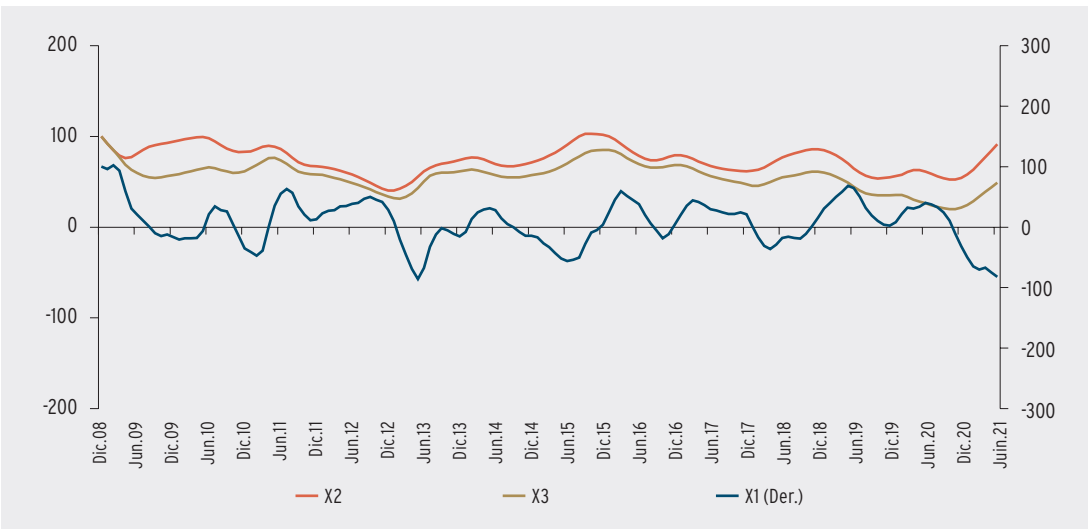
(3) ecuación de medición para los rendimientos.

$$i_t^{(n)} = -\frac{1}{n} (A_n + B'_n X_t) + \varepsilon_{n,t}$$

**GRÁFICO 2** ■ Factores empíricos de nivel, pendiente y curvatura (Base=Dic2008)



**GRÁFICO 3** ■ Factores del modelo de no arbitraje tipo ATSM (Base=Dic2008)



Donde los coeficientes siguen una estructura recursiva:

$$A_{n+1} = -\delta_0 + A_n + B'_n (\mu - \Sigma \lambda_0) + \frac{1}{2} B'_n \Sigma \Sigma' B_n$$

$$B'_{n+1} = B'_n (\Phi - \Sigma \lambda_1) - \delta'_n$$

Y donde el valor en el largo plazo se define como

$$-\frac{1}{n} (A_n + B'_n X_t)$$

Dicha estructura es compatible con el supuesto de no arbitraje del modelo y lo hace consistente con la dinámica observada en la curva de rendimiento. La función de verosimilitud es evaluada a través del filtro de Kalman y la estimación se lleva a cabo mediante métodos bayesianos. La principal ventaja de este modelo es que la especificación es relativamente sencilla y flexible. Asimismo, utilizando nuevamente el filtro en mención, es posible obtener los factores incluso si se tienen observaciones incompletas para alguna de las series de tiempo utilizadas.

En el gráfico 1, los resultados muestran que los rendimientos históricos por lo general fluctúan alrededor de las estimaciones del



Gracias a la naturaleza dinámica de las estimaciones, este modelo puede en la práctica ser utilizado como una herramienta adicional para el seguimiento de mercado.



modelo<sup>6</sup>. Considerando que esta relación es estable, se podría conjeturar que las desviaciones ocasionales responderían a una prima por riesgo que cambia en el tiempo. Además, si asumimos que las estimaciones de este modelo pueden servir como una variable proxy de los niveles de tasas en el largo plazo, podríamos usarla para caracterizar y cuantificar las condiciones de mercado históricas.

Empíricamente, se puede calcular los valores de nivel, pendiente y curvatura a partir de tasas históricas<sup>7</sup>. En el gráfico 2, se muestran índices construidos en base a las series de tiempo de los tres factores empíricos antes mencionados, y en el gráfico 3 los índices asociados a los factores del modelo ATSM (aquí representados como X1, X2 y X3). Una inspección simple de la magnitud de los índices denota que las estimaciones derivadas del modelo tienen una dinámica más estable que los valores empíricos, lo cual sucede tanto en periodos de stress de origen externo (e.g. debacle precios del petróleo 2014-2016) como en los de origen interno (e.g. periodos electorales).

### III. COMENTARIOS FINALES

Existen diversos estudios sobre la modelación de la dinámica de la curva de rendimientos, lo cual

responde al hecho de que los pronósticos varían en función a los supuestos, la estructura, la muestra y las singularidades del marco teórico escogido. En este artículo, hemos aplicado un modelo de no arbitraje (ATSM) para la curva de rendimientos de instrumentos de referencia denominados en soles. Bajo este enfoque, las estimaciones del modelo parecen reflejar la estructura de tasas de interés promedio históricas de nivel, pendiente y curvatura. Los resultados también nos permiten distinguir en qué tramo de la curva existiría convergencia hacia los valores de largo plazo, y en qué tramo de la curva se registrarían desalineamientos transitorios, lo cual podría estar asociado a la demanda relativa para cada plazo. Cabe resaltar que estos valores son sólo informativos y que resulta de interés continuar explorando su ajuste fuera de muestra. Gracias a la naturaleza dinámica de las estimaciones, este modelo puede en la práctica ser utilizado como una herramienta adicional para el seguimiento de mercado.

#### REFERENCIAS

- Afonso, A. y Martins, M. (2010). *Level, slope, curvature of the sovereign yield curve, and fiscal behaviour*. Working Paper Series No.1276. European Central Bank.
- Banco de España (2020). *Informe de Economía Latinoamericana. Segundo Semestre de 2020*. Artículos Analíticos Boletín Económico 4/2020, pp. 21-25.
- Bolder, D. (2001). *Affine Term-Structure Models: Theory and Implementation*. Working Paper 2001-15. Bank of Canada.
- Bong, K., Doh T. and Yong Park, W. (2016). *Yield Curve and Monetary Policy Expectations in Small Open Economies*. Research Working Paper RWP 14-13. Federal Reserve Bank of Kansas City.
- Bulff, A. y Vlcek, J. (2020). *Monetary Policy is not always systematic and data-driven: Evidence from the Yield Curve*. Working Paper No. 20/4. International Monetary Fund.
- Cortés, J. y Ramos-Francia, M. (2008). *An Affine Model of the term structure of interest rates in México*. Documento de Investigación N° 2008-09. Banco de México.
- Diebold, F. and Li, C. (2006). Forecasting the term structure of government bond yields. *Journal of Econometrics*, vol. 130, Issue 2, pp. 337-364.
- Maldonado, R., Zapata, N. and Pantoja, J. (2014). "Dynamic estimation of an interest rate structure in Colombia: Empirical Analysis using Kalman Filter".
- Olivares, A., Rodríguez, G. and Ataurima, M. (2016). *Estimation of the Sovereign Yield Curve of Peru: The roles of macroeconomic and latent factors*. Documentos de Trabajo 04/2016. Superintendencia de Banca, Seguros y AFP.
- Piazzesi, M. (2010). "Chapter 12: Affine Term Structure Models". *Handbook of financial econometrics: Tools and Techniques*, pp. 691-766.
- Velásquez-Giraldo and Restrepo-Tobón (2016). "Affine Term Structure Models: Forecasting the Yield Curve for Colombia"

<sup>6</sup> Entre agosto 2008 y junio 2021, el error cuadrático promedio (RMSE) para las tasas entre 1 año y 30 años se ubicó en el rango de 25 y 40 puntos básicos.

<sup>7</sup> Por ejemplo, Afonso y Martins (2010) calcularon los factores empíricos de nivel (como el promedio de las tasas de 3 meses, 2 años, y 10 años), pendiente (diferencia entre las tasas de 3 meses y 10 años) y curvatura (el doble de la tasa de 2 años menos la suma de las tasas de 3 meses y 10 años). Estas métricas contrastan con las de los mercados financieros donde la referencia para el nivel de tasas de largo plazo es la tasa de 10 años y para la pendiente se calcula la diferencia entre las tasas de 10 y 2 años. En la elaboración del gráfico 2 se ha utilizado el cálculo sugerido por Afonso y Martins.