

**43 Jornadas Nacionales de Administración Financiera**  
Septiembre 21 y 22, 2023

# **Entre rendimientos y expectativas**

## **Compensación por inflación en bonos argentinos**

**Sebastián Román**

**Emiliano Carlevaro**

**Martín Dutto**

*Universidad Nacional del Litoral*

### SUMARIO

1. Introducción
2. Antecedentes de la investigación
3. Marco teórico
4. Aspectos metodológicos
5. Resultados
6. Conclusiones

Para comentarios:  
[mardutto@gmail.com](mailto:mardutto@gmail.com)

## *Resumen*

Este estudio emplea la diferencia entre el rendimiento de bonos argentinos, ajustados y no ajustados por inflación, para derivar un indicador de frecuencia diaria que muestra la compensación por inflación implícita. Se analizan las complejidades de utilizar esta metodología para medir expectativas de inflación y se comparan los valores obtenidos con las expectativas de inflación publicadas por el Banco Central de la República Argentina (BCRA) en el Relevamiento de expectativas de mercado (REM), comentando tanto sus ventajas, desventajas, y su capacidad predictiva durante el período comprendido entre enero de 2017 y abril de 2018.

La alta frecuencia de este indicador proporciona información valiosa para los hacedores de política económica y para la toma de decisiones en los negocios, además permite realizar un seguimiento sistemático casi en tiempo real y ofrece la posibilidad de obtener el valor de compensación por inflación para cualquier horizonte que sea necesario.

Durante el período de estudio, el indicador de compensación por inflación implícita en el rendimiento de bonos registra valores superiores a las expectativas de inflación relevadas por el BCRA, sugiriendo la incidencia de la prima por riesgo y liquidez en la diferencia de los rendimientos nominales y reales. No obstante, en dicho período el indicador elaborado proporciona una mejor predicción que el REM de la inflación efectivamente realizada.

## **1. Introducción**

En este estudio se presenta un indicador de frecuencia diaria de la compensación por inflación demandada en el rendimiento de los bonos soberanos argentinos. A su vez, se estudia la capacidad de la compensación por inflación como indicador de expectativas de inflación.

Las expectativas de inflación ocupan un rol esencial en la economía, tanto para el hacedor de política que busca influir en la inflación, como para los agentes privados que fijan precios y toman decisiones de inversión en base a sus expectativas. Por ejemplo, el modelo neokeyniano básico establece, a través de la curva de Phillips, que la inflación actual depende de la inflación esperada. Para un país altamente inflacionario como Argentina es crítico, entonces, entender la formación de las expectativas de inflación. Sin embargo, no abundan los estudios de las expectativas de inflación en Argentina.<sup>1</sup> En este sentido, el presente trabajo pretende contribuir al entendimiento sobre la formación de expectativas de inflación en Argentina.

Si bien para conocer las expectativas de inflación se cuenta con el Relevamiento de expectativas de mercado (REM) publicado por el Banco Central de la República Argentina (BCRA),

---

<sup>1</sup> Esta ausencia es posiblemente un resultado de la falsificación de estadísticas del INDEC durante las administraciones Kirchner que generó faltante de datos con respecto a la inflación durante los años 2007 a 2015. Tal como lo expresa Sturzenegger (2019), “debido a la falta de datos se ha realizado poca investigación respecto al rol de las expectativas en el proceso inflacionario”.

la compensación por inflación aquí estimada ofrece tres ventajas sobre el REM. Primero, el indicador estimado es de frecuencia diaria en lugar de la mensual del REM. Segundo, se pueden obtener expectativas de inflación para horizontes temporales arbitrarios en lugar de los horizontes prefijados en el REM. Tercero, es inmune a los problemas de manipulación y sesgo inherente en encuestas como el REM, dado que el indicador se construye a partir de precios de transacciones realizadas.

La compensación por inflación aquí estimada resulta de la diferencia de rendimiento entre un bono nominal y un bono real con mismo plazo al vencimiento.

Se estima inicialmente una curva completa de tasas de interés nominal y una real para cada día durante un período determinado. Para esto se usa el modelo NSS elaborado por Nelson y Siegel (1987) con la extensión propuesta por Svensson (1994). A partir de estas curvas se obtienen rendimientos nominales y reales de bonos cupón cero para el plazo al cual se dese estimar la compensación por inflación. Bajo el supuesto de ausencia de oportunidad de arbitraje la diferencia entre estos rendimientos es la compensación por inflación. El período analizado es 2017 a 2018 donde estuvo operativa la política monetaria de metas de inflación. Este estudio puede brindar herramientas para posteriores análisis macroeconómicos de la política implementada, como así también para futuros planes de implementación de esquemas de metas de inflación.

En horizontes largos, la compensación estimada predice la inflación realizada con mayor precisión que el REM del BCRA. Por el contrario, para horizontes cortos, en especial menor a 12 meses, existe alta volatilidad en la compensación estimada haciéndola poco útil como medida de expectativas de inflación.

## 2. Antecedentes de la investigación

El antecedente más cercano al presente trabajo es el realizado por Corso y Matarrelli (2019), quienes desarrollaron un indicador de expectativas de inflación basado en las cotizaciones de títulos públicos denominados en pesos. Para ello utilizan la cotización en el mercado secundario de Lecap y Bontes para estimar la estructura temporal completa de tasas de interés nominal, y para la curva real utilizan bonos ajustados por el índice CER. Su enfoque implicó la aplicación de un método de *bootstrapping* para expandir el número de tasas *spot* y, posteriormente, ajustar el modelo de Nelson-Siegel-Svensson para obtener una curva diaria de tasas. A partir de esta curva, derivaron un indicador de expectativas de inflación y realizaron una contrastación con las expectativas relevadas por el BCRA.

La metodología empleada por estos autores proporciona una medición de alta frecuencia y precisión en las expectativas de inflación, lo que resulta de gran valor para analizar la evolución y comportamiento de este indicador en la economía argentina. En este contexto, el presente trabajo tiene como objetivo replicar y ampliar este enfoque, utilizando la estructura temporal completa de las tasas de interés en pesos de la economía argentina, tanto en términos reales como nominales, empleando para la tasa nominal las Lebac y para la tasa real los bonos ajustados por CER (Coeficiente de estabilización de referencia).

Por otro lado, un trabajo relevante en el contexto de bonos soberanos y expectativas de inflación es el realizado por Espinosa Torres *et al.* (2017). Este estudio estima la descomposición del *break-even inflation*<sup>2</sup> usando un modelo afin de seis factores de la estructura a término, tanto nominal como real, de los bonos soberanos colombianos. Estos incorporan una prima por un factor de liquidez y obtienen un resultado donde se observan las expectativas de inflación, prima de riesgo inflacionario y prima de liquidez. Los hallazgos de este estudio sugieren que el *break-even inflation* es una medida adecuada para capturar expectativas de inflación a corto plazo (dos años). Esta investigación, por lo tanto, contribuye al estudio de las expectativas de inflación utilizando bonos soberanos al ofrecer una visión detallada de los diferentes componentes que afectan estas expectativas y su comportamiento a lo largo del tiempo.

Adicionalmente, es importante considerar otros estudios relevantes en la región. En particular, el trabajo realizado por Pereda (2009) aborda un tema similar, centrándose en la estimación de la curva de rendimiento en soles para el Perú. En dicho estudio, se contrastan el modelo de Nelson & Siegel (1987) contra el mismo modelo con la extensión de Svensson (1994), evaluando sus respectivos ajustes, flexibilidades y estabildades. Aunque el modelo NSS resultó ser el de mejor ajuste, mostró cierta inestabilidad en situaciones con datos insuficientes. En cambio, el modelo de Nelson y Siegel fue más robusto en estos contextos. Una de las contribuciones esenciales del estudio de Pereda es mostrar cómo las curvas de rendimiento cupón cero estimadas pueden servir como una fuente crucial de información para los bancos centrales, permitiéndoles captar las expectativas del mercado sobre la evolución futura de la tasa interbancaria. Esta investigación refuerza la idea de que los bonos soberanos pueden ser una herramienta poderosa para analizar y comprender las expectativas de inflación en diferentes economías.

En el ámbito internacional hay una gran cantidad de trabajos que abordan este tema, entre los que destaca el estudio de Gürkaynak *et al.* (2010). Su investigación también ofrece un valioso aporte para comprender cómo los mercados financieros incorporan las expectativas de inflación en las tasas de interés. Este estudio se centra en el análisis de las curvas de rendimiento de los bonos del Tesoro protegidos contra la inflación (TIPS) en Estados Unidos y su relación con la compensación inflacionaria. Los hallazgos de Gürkaynak *et al.* son especialmente relevantes para este trabajo, ya que proporcionan un marco de referencia sobre cómo los mercados financieros internacionales abordan las expectativas de inflación y cómo estas se reflejan en las tasas de interés.

### 3. Marco teórico

Las expectativas de inflación ocupan un rol esencial en la economía, tanto para el hacedor de política que busca influir en la inflación, como para los agentes privados que fijan precios y toman decisiones de inversión en base a sus expectativas. En este contexto, es de gran importancia entender de qué manera se forman esas expectativas y cómo se pueden medir con la máxima precisión posible.

---

<sup>2</sup> *Break even inflation* (BEI) es la forma de calcular las expectativas de inflación basada en la ecuación de Fisher, tal cual se realiza en esta tesis.

Desde una perspectiva macroeconómica, en el modelo nekeynesiano en su versión aumentada por expectativas<sup>3</sup> la inflación actual depende de las expectativas de inflación. La dinámica de la inflación es capturada a través de la ecuación de Phillips donde la inflación en el período  $t$ , depende de su valor esperado en el siguiente período,  $E_t\{\pi_{t+1}\}$  y  $\tilde{y}_t$  la brecha de producción ( $\tilde{y}_t$  (la diferencia entre la producción efectiva y la producción potencial).

$$\pi_t = \beta \cdot E_t\{\pi_{t+1}\} + \kappa \cdot \tilde{y}_t \quad \text{Ec 1}$$

Los parámetros  $\beta$  y  $\kappa$  determinan la importancia de estos factores en la dinámica de la inflación. Claramente tener medidas observables de  $E_t\{\pi_{t+1}\}$  mejora la estimación de  $\beta$  ayudando a entender dicha dinámica.

Existen dos metodologías para medir las expectativas de inflación: encuestas y precios de activos financieros. En las encuestas se consulta a instituciones, empresarios consumidores o individuos expertos, acerca de sus proyecciones sobre la fluctuación de los precios en el futuro. Como principales desventajas de las encuestas se destaca la posibilidad de ofrecer respuestas sesgadas, la demora que conllevan los relevamientos y la baja frecuencia con la que generalmente se realizan.

Una alternativa a las encuestas se halla en el análisis de los rendimientos de los activos financieros, el cual se implementará en el presente estudio. Los precios de estos activos reflejan las expectativas de los agentes con respecto a variables económicas claves como la inflación. El objetivo es extraer las expectativas de inflación a través de la comparación de los rendimientos de activos financieros que ajustan su capital por inflación y aquellos que no. La utilización de esta metodología tiene ventajas como la rápida disponibilidad y la mayor objetividad del agregado de los precios, que reduce la subjetividad que podría incidir en las respuestas de las encuestas. Esto último debido a que quienes operan activos financieros tienen un enorme incentivo económico para predecir correctamente la inflación, ya que cualquier error de pronóstico se transforma en una pérdida económica. Esta alineación de incentivos puede ser inexistente en una encuesta en donde los errores de pronóstico típicamente conllevan menores desincentivos.

Para explicar la manera en que los agentes económicos forman sus expectativas en el campo de la teoría económica se cuenta con la teoría de las expectativas racionales. Esta teoría fue desarrollada por John Muth, como una alternativa a las expectativas adaptativas, y es sintetizada por Mishkin (2008, pág. 157) como: “Las expectativas serán idénticas a los pronósticos óptimos (la mejor estimación del futuro) usando toda la información disponible”.

De esta manera, bajo la hipótesis de la existencia de expectativas racionales se entiende que los agentes forman sus expectativas de la tasa de interés sin incurrir en errores sistemáticos y usando toda la información disponible al momento.

Con respecto al ámbito financiero, conclusiones similares se obtienen de la teoría de los mercados eficientes, que fue sistematizada por Fama (1970) y sostiene que dentro de los precios de los activos se refleja toda la información disponible.

De esta teoría se desprende la afirmación de Mishkin (2008, pág. 161): “Los precios actuales en un mercado financiero se fijarán de tal manera que el pronóstico óptimo del rendimiento de un valor, usando toda la información disponible, sea igual al rendimiento de equilibrio de ese valor.”

<sup>3</sup> Puede verse Galí (2018).

Para extraer las expectativas de inflación a partir del rendimiento de activos financieros es necesario entender la formación de estos rendimientos. En equilibrio, los rendimientos esperados de los activos financieros son iguales. Este resultado es conocido como condición de no arbitraje.<sup>4</sup> Considérese dos bonos emitidos por la misma organización, uno real y uno nominal. Sea  $S_{t,T}^i$  el rendimiento al vencimiento del bono nominal, esto es, la tasa de interés efectiva anual en el momento  $t$  de un bono cupón cero que promete pagar \$1 al vencimiento en  $T$ ; y sea  $S_{t,T}^r$  el rendimiento al vencimiento del bono real, esto es, la tasa de interés efectiva anual de un bono cupón cero que promete pagar  $\$1 \times (1 + \pi_{t,T})$  al vencimiento donde  $\pi_{t,T}$  es la inflación durante la vida del bono. La condición de ausencia de arbitraje implica la igualación de los rendimientos esperados de ambos activos,

$$1 + S_{t,T}^i = (1 + E_t[\pi_{t,T}])(1 + S_{t,T}^r) \quad Ec 2$$

donde se ha reemplazado la inflación durante el período por su valor esperado al inicio del período.<sup>5</sup>

De la condición de no arbitraje se deriva la compensación por inflación implícita en los rendimientos de los bonos,

$$E_{t,T}(\pi_{t,T}) = \frac{(1 + S_{t,T}^i)}{(1 + S_{t,T}^r)} - 1 \quad Ec 3$$

Tal como afirma Veronesi (2016), esta es la expectativa de inflación durante la vida del bono nominal tal que, si la inflación realizada es igual a la expectativa, el rendimiento realizado de ambos bonos es idéntico.

Así, las expectativas de inflación constituyen una brecha entre el rendimiento nominal y real de los bonos.

La identificación de las expectativas de inflación a partir de la última ecuación requiere dos elementos: la satisfacción de la ecuación (2) y la observación de los rendimientos del bono nominal y real.

En el presente trabajo se supone que las primas por riesgos son idénticas entre el bono nominal y el real. Esto garantiza la condición de arbitraje. De esta forma la divergencia entre el rendimiento del bono nominal y real se debe exclusivamente a la expectativa de inflación. La igualación de las primas por riesgos implica que el valor de todos los riesgos entre ambos bonos es igual. Siguiendo a Veronesi (2016), los rendimientos de bonos contienen primas por riesgos que representan el premio que los inversores requieren para mantener posiciones en bonos nominales, donde pueden, según el instrumento, estar incluidos el premio por riesgo de crédito, riesgo de inflación y riesgo de tasa de interés, entre otros.

El riesgo de inflación representa los posibles incrementos en la inflación no esperados durante la vida del bono, los cuales podrían disminuir el valor real del pago de cupones y del pago al vencimiento del ciclo de vida del bono. El riesgo de tasa de interés es generado por posibles cambios imprevistos en las tasas de interés durante el ciclo de vida del bono, que podrían causar pérdidas para los inversores si estos necesitan deshacerse de los bonos antes de su fecha de vencimiento. Se destaca la complejidad de la medición de estas primas, dificultad que se ve

<sup>4</sup> Es una aplicación de la ley de un solo precio a los mercados financieros.

<sup>5</sup> En un contexto de certidumbre  $E_t[\pi_{t,T}] = \pi_{t,T}$  y la ecuación (2) se reduce a la paridad de Fisher, (véase Fisher, 1911).

aumentada por el hecho de que se debe medir únicamente el riesgo que afecta de manera diferencial a los dos tipos de bonos.

La segunda condición para la obtención de las expectativas de inflación es la observación de los rendimientos del bono nominal y real. Dado que estos no se observan en el mercado, es necesario estimar una estructura temporal completa de tasas de interés nominales y una estructura de tasas reales, con el objetivo de poder obtener un valor de tasa nominal y uno de tasa real para el mismo plazo al vencimiento, y así llegar a calcular la compensación por inflación.

Esta estructura temporal completa de tasas de interés es definida por Mishkin (2008, pág. 134) como: “Una presentación gráfica de los rendimientos sobre los bonos con diferentes plazos al vencimiento, pero con el mismo riesgo, liquidez y consideraciones fiscales”.

Al ofrecer un cronograma completo de tasas de interés a lo largo del tiempo, la estructura a plazo incorpora las anticipaciones del mercado de eventos futuros. Tal como afirman Cox, Ingersoll & Ross (1985), una explicación de la estructura a plazo nos da una manera de extraer esta información y prever cómo los cambios en las variables subyacentes afectarán la curva de rendimiento.

La estimación que se usa en el trabajo impone restricciones en la curva de rendimientos. Se revisan aquí algunas teorías que explican la curva, principalmente la relación entre las tasas spot futuras y las tasas forward y sustentan las restricciones en el modelo empírico.

Dentro de las principales corrientes de pensamiento, se encuentra las teorías de las expectativas, de los mercados segmentados, de preferencia por la liquidez y del hábitat preferido.

Mishkin (2008) afirma (pág. 145) que actualmente son de mayor aceptación las dos últimas, ya que permiten explicar de manera más acertada los siguientes hechos empíricos: Las tasas de interés sobre bonos de vencimientos diferentes se desplazan juntas a través del tiempo, las curvas de rendimiento normalmente tienen una pendiente ascendente y, por último, cuando las tasas de interés a corto plazo son bajas, las curvas de rendimiento tienen más probabilidad de mostrar una pendiente ascendente vertical, mientras que cuando las tasas de interés a corto plazo son altas, las curvas de rendimiento tienden a invertirse.

Para modelar la curva con todos los datos disponibles existe una amplia gama de metodologías posibles y herramientas para utilizar. En este estudio se emplea el modelo paramétrico NSS elaborado por Nelson y Siegel (1987) con la extensión propuesta por Svensson (1994). Este es un modelo estándar ampliamente utilizado en el contexto de la estimación de la estructura a plazo de las tasas de interés por su robustez y precisión. La ampliación propuesta por Svensson extiende el modelo propuesto inicialmente para permitir mayor flexibilidad en la forma de la curva de rendimientos, generando así un ajuste más preciso y una gama más amplia de formas de curvas de rendimiento.

El modelo NSS tiene seis parámetros que se deben estimar para ajustar la curva. La estimación es lograda realizando un proceso heurístico de calibración llamado *differential evolution* (DE), desarrollado por Gilli *et al.* (2010). Esto permite obtener una representación precisa de la curva de rendimiento y facilita la realización de análisis y pronósticos futuros.

Luego de obtener el vector de parámetros necesario, el modelo NSS permite captar los valores de  $S_{t,T}^i$  y  $S_{t,T}^r$  para cualquier plazo requerido, y así luego llegar al indicador de compensación por inflación buscado.

## 4. Aspectos metodológicos

### 4.1 Tasas de rendimiento

Para derivar la compensación por inflación usando el rendimiento de bonos soberanos argentinos se realiza una investigación de tipo descriptivo utilizando una metodología cuantitativa y recopilando datos secundarios obtenidos a partir de cotizaciones de bonos en el mercado.

Para ello, primero se estima la estructura temporal de tasas de interés nominales para todos los días durante el período analizado y luego se repite el mismo procedimiento para la curva real. Posteriormente, se computa para cada día la diferencia para determinado plazo de estas dos curvas, elaborando de esta manera el indicador de compensación por inflación. Para finalizar, se analizan los resultados y se comparan con otras maneras de estimar las expectativas de inflación.

Para la elaboración de la estructura completa de tasas de interés tanto nominal como real, se parte de obtener los factores de descuento (o tasas *spot* teóricas implícitas) de los bonos cupón cero argentinos. Estos bonos son explicados por Mishkin (2008, pág. 70) de la siguiente manera: Un bono de descuento (también denominado bono cupón cero) se compra a un precio inferior a su valor nominal (a un descuento), y el valor nominal se rembolsa en la fecha de vencimiento. A diferencia de un bono de cupones, un bono de descuento no paga intereses; sólo paga el valor nominal.

Para obtener la tasa *spot*, es necesario el valor presente neto (VPN) de un bono, lo cual se realiza descontando los flujos futuros.

El concepto de valor presente es sumamente útil, porque nos permite calcular el valor al día de hoy (el precio) de un instrumento del mercado de crédito (la deuda) a una tasa de interés simple dada,  $i$ , añadiendo simplemente los valores presentes individuales de todos los pagos futuros recibidos. Esta información nos permite comparar los valores de dos o más instrumentos con periodicidades muy diferentes en sus pagos (Mishkin, 2008).

Buscando conocer el VPN, o precio  $P$  en el momento  $t_0$ , de un bono cupón cero con valor nominal de 100 y con vencimiento en el período  $t_1$ , la fórmula para realizar este cálculo es:

$$P_{t_0,t_1} = 100 \cdot Z_{t_0,t_1} \quad \text{Ec 4}$$

Siendo  $Z_{t_0,t_1}$  el factor de descuento desde el período  $t_0$  hasta  $t_1$ , el cual se despeja a continuación:

$$Z_{t_0,t_1} = \frac{P_{t_0,t_1}}{100} \quad \text{Ec 4'}$$

Por otro lado, se puede definir el factor de descuento entre  $t_0$  y  $t_1$  como:

$$Z_{t_0,t_1} = \frac{1}{1 + S_{t_0,t_1}} \quad \text{Ec 5}$$

Siendo  $S_{t_0,t_1}$  la tasa de interés del bono cupón cero que se busca conocer. Al reemplazar la ecuación 5 en la ecuación 4' obtiene la tasa *spot* teórica implícita del bono cupón cero:

$$S_{t_0,t_1} = \frac{100 - P_{t_0,t_1}}{P_{t_0,t_1}} \quad \text{Ec 6}$$

Esta tasa *spot* es la que, en el presente trabajo, se utiliza para calcular la estructura temporal completa de tasas de interés nominal.

Para calcular las tasas de interés reales de la economía, no se cuentan con bonos cupón cero sino con bonos que pagan intereses en distintos períodos. El VPN, o precio  $P$  en el momento  $t = 0$  de estos bonos que cuentan con flujos de fondos en diferentes momentos, se obtiene descontando los flujos futuros a una tasa de interés cupón cero asociada a cada plazo de vencimiento.

Al momento de descontar los flujos futuros de fondos para una gran cantidad de períodos es necesario definir la tasa de interés utilizada entre un momento y el otro, es decir, determinar el costo de oportunidad del capital. Esta debe ser igual al rendimiento ofrecido por valores comparables en el mercado. El presente estudio utiliza un método que aplica una tasa única  $S$  para descontar todos los flujos de efectivo. No obstante, también se puede optar por un enfoque libre de arbitraje que asigna una tasa de interés distinta a cada flujo con el objetivo de capturar los riesgos vinculados al período de cada pago específico.

Habiendo definido las tasas de descuento a utilizar, para obtener las tasas *spot* teóricas implícitas de los bonos cupón cero utilizando bonos que pagan cupones en distintos períodos, se aplica la siguiente fórmula. Suponiendo que el bono vence en el período  $t_3$  donde paga el total de su valor nominal  $F$ , y paga cupones en los períodos  $t_1$ ,  $t_2$  y  $t_3$ :

$$P_{t_0,t_3} = \frac{C_1}{1+S} + \frac{C_2}{1+S} + \frac{F+C_3}{1+S} \quad \text{Ec 7}$$

La cual siendo modificada y simplificada para  $T$  períodos, queda de la siguiente manera:

$$P_{t_0,T} = \sum_{t=1}^T \frac{C_t}{(1+S)^t} + \frac{F}{(1+S)^T} \quad \text{Ec 8}$$

En el presente trabajo, el indicador utilizado para medir los rendimientos va a ser la tasa interna de retorno (TIR), también conocida como *yield to maturity* (YTM). Esta representa la tasa de interés que hace que el valor presente de todos los flujos de efectivo generados por el bono *analizado* (VPN) sea igual al precio actual del bono. Continuando con la explicación realizada, la TIR es la tasa  $S$ , igual en cada período, que satisface la ecuación (5). Esta es calificada por Brealey *et al.* (2010, pág. 122) como el mejor concepto que se tiene en finanzas para definir la verdadera tasa de rendimiento de un activo de larga duración.

La relación entre las diferentes TIR de los bonos y sus distintos plazos al vencimiento, siempre que estos cuenten con el mismo el mismo riesgo, liquidez y consideraciones fiscales, se representa gráficamente a través de la curva de rendimiento, también conocida como estructura temporal completa de tasas de interés. Para lograrlo es esencial estimar los rendimientos en todos los plazos disponibles y, de esta manera, construir la curva correspondiente.

#### 4.2. Modelo NSS para estimar la curva de tasa de interés

Para cumplir con el objetivo de estimar los rendimientos para todos los plazos posibles se emplea el modelo paramétrico de Nelson y Siegel (1987) con la extensión propuesta por Svensson (1994). En este modelo  $S_{t_0,t_q}^{NSS}$  es la tasa de un bono cupón cero en el momento  $t_0$ , cuyo vencimiento se da en  $t_q$ . Definida dicha tasa como:

$$S_{0,t_q}^{NSS} = \beta_0 + \beta_1 \left( \frac{1 - e^{-\frac{t_q}{\tau_1}}}{\frac{t_q}{\tau_1}} \right) + \beta_2 \left( \frac{1 - e^{-\frac{t_q}{\tau_1}}}{\frac{t_q}{\tau_1}} - e^{-\frac{t_q}{\tau_1}} \right) + \beta_3 \left( \frac{1 - e^{-\frac{t_q}{\tau_2}}}{\frac{t_q}{\tau_2}} - e^{-\frac{t_q}{\tau_2}} \right) \quad Ec 9$$

donde los seis parámetros a estimar ( $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \tau_1, \tau_2$ ) determinan las propiedades de la curva.

Esta función parte del modelo creado por Nelson y Siegel (NS) el cual cuenta con cuatro parámetros únicamente. En este trabajo se toma una versión ampliada y más flexible elaborada por Svensson donde lo primordial es que se le agrega una segunda joroba a la curva, lo que logra, según defienden Gürkaynak *et al.* (2010, pág. 74), captar los efectos de convexidad en horizontes más largos.

Una ventaja de este modelo es la interpretación geométrica de los parámetros (Gilli *et al.*, 2010). Se tiene que  $\beta_0$  es independiente del plazo de vencimiento, por lo que se puede interpretar como el nivel de rendimiento a largo plazo;  $\beta_1$  está ponderado por una función del plazo de vencimiento, la cual es igual a 1 cuando  $t_q = 0$  y decrece exponencialmente a cero a medida que  $t_q$  crece, por lo que  $\beta_1$  solo tiene gran influencia en el extremo corto de la curva.  $\beta_2$  también está ponderado por una función de  $t_q$ . Esta función es 0 para  $t_q = 0$ , aumenta y luego disminuye de nuevo a cero a medida que  $t_q$  crece; por lo tanto, añade una joroba a la curva. El parámetro  $\tau_1$  afecta las funciones de ponderación de  $\beta_1$  y  $\beta_2$ , determinando la posición de la joroba. Por último, los parámetros añadidos por Svensson en el modelo NSS son  $\beta_3$  y  $\tau_2$  donde el tercer término, que cuenta con estos parámetros, agrega una segunda joroba al modelo proveyendo mayor información con respecto a los rendimientos de mayor plazo.

Para que se pueda realizar una interpretación directa de estos parámetros, se deben mantener las restricciones siguientes:

$$\begin{aligned} \beta_1 &> 0 \\ \beta_1 + \beta_2 &> 0 \\ \tau_1 > 0, \tau_2 &> 0 \end{aligned} \quad Ec 10$$

Según Gürkaynak *et al.* (2010), en comparación con los modelos tipo Spline, el NSS tiene la ventaja de eliminar movimientos idiosincrásicos. Esto lo hace más útil para análisis político e interpretaciones macroeconómicas. Comentan que dicho modelo, aún siendo lo suficientemente flexible para imitar las distintas formas posibles de estructura a término, mantiene la rigidez suficiente como para eliminar movimientos atípicos que solamente afectarían a un dato en específico y no representarían la influencia de factores macroeconómicos.

Además, tanto este modelo como su versión más acotada de Nelson y Siegel son altamente utilizados por los bancos centrales de numerosos países, entre ellos Suiza, Alemania, Italia, Bélgica, Finlandia, Noruega y España.

Por último, que el modelo NSS haya sido empleado para realizar otros estudios respecto a la estructura temporal de tasas de interés en Argentina es de gran utilidad debido a que facilita la comparación de resultados.

La mayor crítica teórica a este modelo es que no garantiza la ausencia de oportunidades de arbitraje. Pero se cuenta con trabajos como el realizado por Coroneo *et al.* (2008) para el Banco Central Europeo, donde demuestran, utilizando una técnica no paramétrica de remuestreo y datos de la curva de rendimientos de los bonos cupón cero del mercado estadounidense, que los parámetros obtenidos de otros modelos con supuesto de no-arbitraje no son estadísticamente diferentes a los obtenidos con el modelo NS.

Dentro de los temas de relevancia al realizar la estimación de la estructura temporal de tasas de interés a través del modelo NSS está el método utilizado para determinar los parámetros de este modelo.

En este trabajo se implementa el método llamado *differential evolution* (DE) de Gilli *et al.* (2010), que es un método de tipo heurístico para minimizar los errores al estimar los rendimientos. Dichos autores demuestran que brinda una buena solución al problema de calibración y se obtienen parámetros con mejor ajuste que otros métodos generalmente utilizados.

El DE consiste en estimar el conjunto de parámetros que minimicen la máxima diferencia absoluta entre las tasas efectivas anuales que surgen del modelo y las obtenidas de los datos observados. Utilizando la misma connotación que en la función (9) del modelo NSS y teniendo  $S^{NSS}$  como los rendimientos estimados arrojados por el modelo y  $S^M$  los observados en el mercado, el problema de optimización puede plantearse como:

$$\min_{\beta, \tau} [\max |S^{NSS} - S^M|], \quad Ec 11$$

donde  $\beta$  representa el vector de parámetros beta utilizados en el modelo ( $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ ) y  $\tau$  el vector de parámetros tau ( $\tau_1, \tau_2$ ). Esta función objetivo es analizada por Schumann (2011), que modifica la función objetivo propuesta inicialmente por Gilli *et al.* (2010) igual al error cuadrático medio y obtiene mejores resultados.

A su vez, se incluyen las restricciones mencionadas en la ecuación 10 en la estimación por DE mediante la penalización de la función objetivo.

Con la función objetivo y las restricciones se realiza una técnica estocástica de optimización utilizando el entorno R-Studio y el paquete NMOF desarrollado por Schumann (2011). Esta técnica consiste tomar conjuntos de valores aleatorios para los parámetros mediante un proceso de iteración aplicando un algoritmo, registrando para cada vector de valores de los parámetros los máximos errores absolutos de las estimaciones obtenidas con esos parámetros con respecto a los valores observados. Finalmente, se selecciona el conjunto de parámetros que minimice esta función objetivo.

Luego, se lleva a cabo el mismo procedimiento para cada día hábil del período analizado, obteniendo como resultado una serie diaria de curvas de rendimiento. Este procedimiento se realiza tanto para la curva nominal como la curva real de tasas de interés.

### 4.3. Datos para estimar la estructura temporal completa de tasas de interés

Para realizar la estimación de la estructura temporal de tasas de interés se emplea información sobre el rendimiento de letras soberanas en pesos que tengan liquidez en el mercado secundario. Esta información permite inferir respecto de las percepciones y expectativas de los agentes económicos. En Argentina, como en otras economías en desarrollo, los títulos públicos son los que presentan generalmente mayor liquidez respecto al resto de instrumentos que cotizan en el mercado secundario.

Se utilizan datos diarios recopilados durante el período entre 01/01/2017 y 25/04/2018. La fecha de inicio del período analizado está determinada por la implementación del esquema de metas de inflación en Argentina. Se pone foco en este período debido a la alta relevancia que toman las expectativas de inflación durante la vigencia de este esquema.

Por otro lado, la fecha de cierre (25/04/2018) está determinada por el desarme masivo de posiciones en Lebac. Según definen distintos analistas, este evento marcó el inicio de una posterior corrida cambiaria. La venta de gran volumen de este tipo de bonos soberanos se estima que fue disparada por la implementación del impuesto a la renta financiera que gravaba renta en las Lebac. Dado que estas letras son el instrumento del cual se toma información para la elaboración de la estructura temporal de tasas de interés nominal de la economía, luego de la fecha mencionada las estimaciones arrojan alta volatilidad, constituyéndose esta submuestra en poco útil para inferir expectativas de inflación.

### *1) Bonos a tasa fija*

Los bonos empleados, denominados Lebac, son títulos de deuda en pesos emitidos por el BCRA. Estos son activos de renta fija que se cotizan a descuento y tienen un único pago al vencimiento, por lo que a partir del precio de cotización de cada letra se obtiene la tasa de interés implícita a utilizar.

La base de datos utilizada se obtiene de la cotización en el mercado secundario de las Letras del BCRA, tomando como fuente información el Mercado Abierto Electrónico (MAE).<sup>6</sup>

Dentro de esta base de datos se tiene la tasa nominal anual (TNA) de interés de cada letra, con una frecuencia diaria, para todas las Lebac <sup>7</sup> vigentes el día analizado, las cuales tienen distintos plazos al vencimiento.

Esta TNA se utiliza para calcular la tasa efectiva anual (TEA), que representa el interés que efectivamente se aplicará a la operación o producto, indicando el rendimiento efectivo del mismo y teniendo en cuenta capitalizaciones de intereses. Es equivalente a la TIR que se explicó antes y, además, para los bonos cupón cero como los analizados en este caso donde no se cobran intereses, es igual a la TNA.

En la base de datos se cuenta cada día con un número variable de observaciones de distintos bonos y para cada observación es calculado el plazo al vencimiento en días. Se analizan únicamente los días hábiles donde hubo operaciones de mercado, y donde se encontraban vigentes 4 o más de 4 bonos.

Para los días hábiles en los que no se tiene la cotización de determinado bono debido a que no hubo transacciones, pero este seguía vigente, se completan los datos tomando información del último día anterior al analizado en el que el bono tuvo transacciones. Este método de imputación se fundamenta principalmente en el supuesto de que la ausencia de transacciones en el mercado se debe a que la diferencia de precios es lo suficientemente despreciable como para que ningún inversor decida operar.

En el proceso de análisis de la base de datos del indicador se identifica un dato particularmente atípico en la fecha 2018-01-08, con un valor de 9,74 %. Al calcular la desviación de este valor con respecto a la media de los rendimientos, se encontró que estaba a una gran distancia, 5,5 desviaciones estándar, siendo este el mayor valor de desviación estándar de la base de datos. Dada la naturaleza atípica de este dato y la posibilidad de que genere un sesgo en los resultados

---

<sup>6</sup> Datos publicados en el sitio oficial del Gobierno de la Nación Argentina. <https://datos.gob.ar/>

<sup>7</sup> Si bien estos bonos cotizan en el mercado secundario, mensualmente se realizan subastas de nuevos instrumentos de estas características lo cual puede generar un ingreso de nuevos bonos al mercado que influyan en el precio de los ya vigentes

se toma la decisión metodológica de excluirlo de la muestra para los análisis subsiguientes. Esto se realiza con el fin de mantener la robustez del estudio, considerando que las conclusiones de la presente investigación se basarán en patrones generales.

## 2) Bonos ajustados por CER

Para estimar la estructura temporal completa de tasas de interés reales, se emplean datos de bonos soberanos que ofrecen ajuste por inflación en sus rendimientos.

No existe en la fecha estudiada disponibilidad de títulos públicos cupón cero ajustados por inflación, por lo que se procede extrayendo información de bonos con cupón. Los bonos utilizados tienen vencimiento en 2020 (ARTC20), 2021 (ARTC21), 2023 (ARTC23), 2023 (ARPR13), ARDICP (2023), 2025 (ARTC25P). Estos bonos pagan una tasa de interés fija más un porcentaje ajustado por CER (Coeficiente de estabilización de referencia).

Es por esto que el *yield to maturity* ofrecido por estos bonos, sin tener en cuenta el rendimiento ajustado por CER, se toma en el presente trabajo como la tasa real, debido a que representa la tasa de interés aceptada por los inversionistas dado que el bono ajusta por inflación.

Vale aclarar que estos bonos continúan expuestos otros tipos de riesgos asociados a la economía y las condiciones financieras del país por lo que su rendimiento también podría tener influencia de una gran cantidad de factores. Dentro de estos riesgos se pueden incluir la volatilidad de los mercados financieros, el riesgo de default o cesación de pagos, y la posibilidad de cambios en la política económica o monetaria del país. Aun así, para la presente investigación, estos factores solo serían relevantes si afectarían de manera diferente los rendimientos de los bonos reales y los nominales.

La fuente de datos empleada para el análisis de estos bonos fue extraída de Eikon DataScope, específicamente de la Base Histórica Tick Story. Dentro de ella se encontraban los rendimientos ofertados y los rendimientos demandados de los bonos. Para tomar una medida de la tasa fija de rendimiento de mercado de estos bonos se realiza un promedio entre lo ofertado y lo demandado. Luego, se da el mismo tratamiento que el realizado con las Lebac a los datos faltantes.

## 4.4. Compensación por inflación

Partiendo del supuesto de ausencia de oportunidades de arbitraje, mediante el cual se asume que todas las oportunidades de arbitrajes han sido aprovechadas y por lo tanto no es posible obtener una ganancia sin riesgo realizando operaciones financieras, se debería cumplir que el retorno real que se espera recibir de un título sin ajuste por inflación, sea equivalente al retorno real que se espera obtener por un título ajustado por inflación más una prima por riesgo, siempre que estos bonos tengan la misma madurez al vencimiento.

En el marco de esta investigación se asume que esa diferencia representa la compensación por inflación. Sin embargo, se reconoce que este supuesto restringe la consideración de factores relevantes debido a que deja de lado la distorsión ocasionada por los componentes de la prima de riesgo de la inflación y la prima de liquidez, tal como sostienen Gürkaynak *et al.* (2010).

Al no considerar el resto de los factores, la condición de no arbitraje es equivalente a la paridad de Fisher:

$$(1 + S_{t,T}^i) = (1 + S_{t,T}^r) \cdot (1 + E_t(\pi_{t,T})) \quad \text{Ec 12}$$

Siendo  $S_{t,T}^i$  y  $S_{t,T}^r$  las tasas de interés efectiva anual de un bono cupón cero, nominal y real respectivamente, desde la fecha de cálculo  $t$  hasta el horizonte  $T$ , y  $E_t(\pi_{t,T})$  la inflación esperada para ese mismo período.

Despejando  $E_t(\pi_{t,T})$  de esta ecuación, se deriva la fórmula utilizada para extraer una medida de compensación por inflación al tener disponible la estructura temporal completa de tasas de interés nominal y real.

Si se busca calcular la compensación a 2 años, la medida de tasa de compensación por inflación anual durante la vida del bono que iguala rendimientos, queda de la siguiente manera.

$$E_t(\pi_{0,24m}) = \frac{(1 + S_{0,24m}^i)}{(1 + S_{0,24m}^r)} - 1 \quad \text{Ec 13}$$

Ahora bien, los rendimientos  $S_{t,T}^r$  y  $S_{t,T}^i$  no son observables ya que no existen en el mercado argentino bonos cupón cero para cualquier período arbitrario. Como consecuencia, estos rendimientos deben ser estimados modelando la estructura temporal de tasa de interés utilizando el modelo NSS.

Se realiza el cálculo utilizando un plazo de 24 meses para las estimaciones de la estructura temporal completa de tasas de interés debido a que de esta forma se sortea de manera aceptable el problema de falta de disponibilidad de bonos ajustados por CER con vencimiento a plazos menores a 500 días aproximadamente. Al aumentar el plazo utilizado, la estimación del modelo NSS tiende a ser más parsimoniosa, y se obtienen estimaciones comparables con otras investigaciones.

Otra forma posible de solucionar el problema de la poca disponibilidad información sobre bonos ajustados por CER a más corto plazo y la sensibilidad del modelo NSS ante esta falta de datos, es aplicar un método de *bootstrapping* para utilizar los flujos de fondos que ofrecen los bonos con cupón y obtener las tasas de bonos cupón cero para cada plazo en el que haya flujos para descontar. Esta metodología no es aplicada por cuestiones de disponibilidad de tiempo y por obtención de resultados aceptables utilizando mayores plazos, pero se reconoce la alta utilidad de la misma y se toma en consideración para futuros proyectos.

Se aplica la ecuación 9 a los datos diarios estimados de las tasas de interés reales y nominales a determinado horizonte, obteniendo de esta manera un método de medición de expectativas de inflación con frecuencia diaria durante el período analizado.

## 5. Resultados

En la primera sección de este apartado se muestra la estructura temporal completa nominal y real elaborada y las TEA nominales y reales estimadas a diferentes plazos para profundizar en el desafío de estimar la compensación por inflación con la información disponible. En la segunda sección se exponen los valores del indicador de expectativas de inflación con frecuencia diaria obtenido como principal resultado. En la sección 3 se presentan valores arrojados por el indicador junto con la estimación de inflación publicada mensualmente por el BCRA para posibilitar la comparación, y se discuten las ventajas y desventajas de cada metodología. Final-

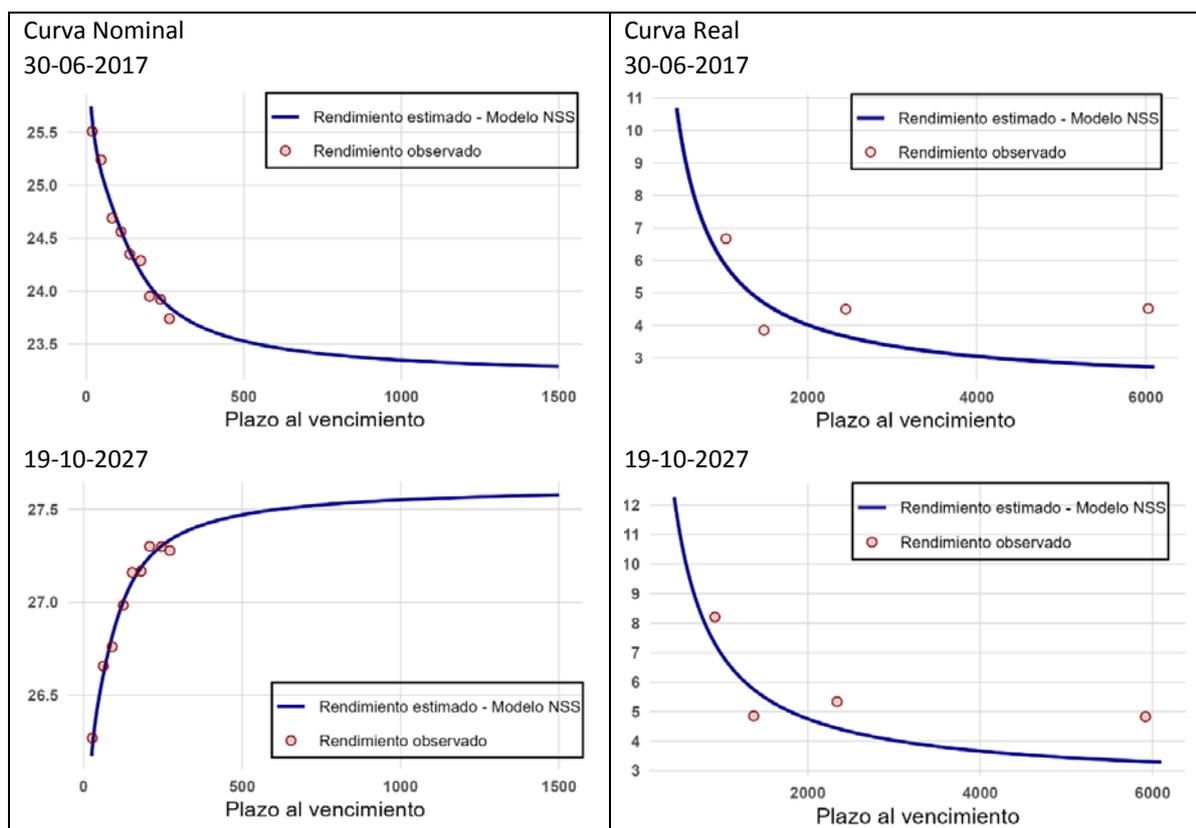
mente, para analizar la precisión del indicador para predecir la inflación y la inercia inflacionaria en las expectativas, se comparan las predicciones con la inflación realizada en los meses posteriores y anteriores.

### 5.1 Estructura temporal completa de tasas de interés nominal y real

Partiendo de las cotizaciones de todos los bonos con mismas características y con el modelo NSS se obtienen curvas representativas de la estructura temporal completa de tasas de interés para fechas específicas. En la ilustración 1 se muestra la estructura temporal completa de tasas de interés nominales y reales de la economía al 30-06-2017 y al 10-19-2017.

*Ilustración 1: Estructuras temporales completas de tasas de interés nominales y reales*

Ejemplos para días determinados de curvas estimadas por el modelo NSS utilizando los datos disponibles de rendimientos para distintos vencimientos.



Con respecto a las curvas nominales, principalmente se destaca la disponibilidad de datos para plazos cortos. Además, es notable cómo, al aplicar el modelo NSS, la estructura temporal completa converge hacia un porcentaje específico a largo plazo. Esta convergencia es una característica inherente del modelo NSS, el cual tiene un buen comportamiento y baja sensibilidad al faltante de datos de largo plazo.

El día 30 junio de 2017 la estructura temporal completa de tasa de interés nominal mostró una pendiente decreciente, lo que representa que las tasas de interés para los plazos más largos eran más bajas que las tasas de interés para los plazos más cortos. Por otro lado, dentro del período analizado también se observan curvas con pendiente creciente, tal como se muestra de ejemplo el día 19 de octubre 2017, donde la estructura temporal completa de tasa de interés nominal toma una pendiente positiva.

De manera análoga, y haciendo uso de los bonos ajustados por CER, se construyen estructuras temporales completas para las tasas de interés reales de la economía. Esta curva muestra una tendencia decreciente. Además, permite notar la disponibilidad de bonos para plazos largos.

Esta particularidad provoca que, debido a la sensibilidad del modelo NSS ante la escasez de datos en plazos cortos, la estructura de tasas de interés para dichos plazos refleje valores que se desvían en gran medida de los observados en la realidad.

Haber obtenido la curva de tasas de interés nominal y la curva real para cada día, permite seleccionar el valor del rendimiento al plazo que sea necesario, para medir la compensación por inflación.

*Limitaciones para estimar la compensación por inflación.* Al abordar la tarea de estimar la compensación por inflación implícita en la curva de los bonos, tal como se mencionó antes, una limitación es la escasa disponibilidad de bonos ajustados por CER con plazos cortos al vencimiento. En efecto, la mayoría de los datos disponibles se refieren a tasas de rendimiento real a largo plazo. Es por esto que, al momento de seleccionar un plazo corto para analizar esta compensación por inflación, se logra notar que el modelo NSS arroja valores poco representativos.

En contraste, para la curva nominal se dispone de Lebac que tienen un período de vencimiento que no supera un año. Esto significa que, en términos de datos, se tiene acceso únicamente a tasas de rendimiento nominales a corto plazo.

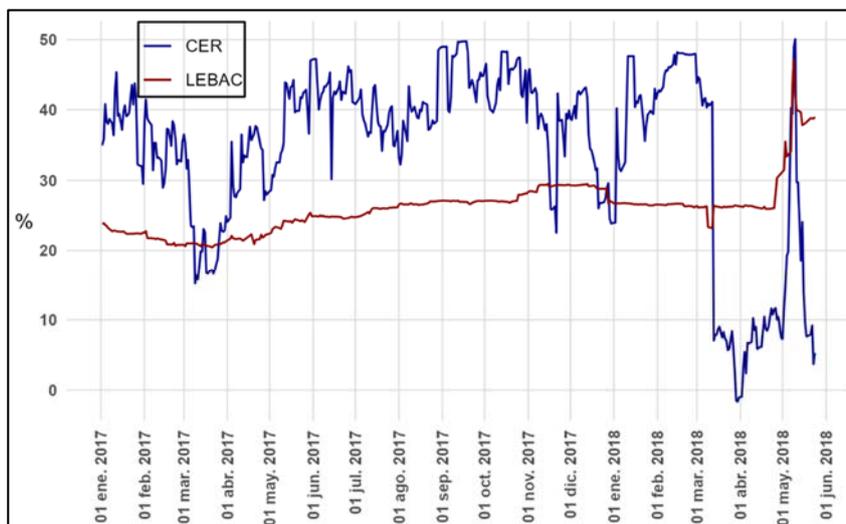
Por la forma funcional del modelo NSS, este tiende a funcionar de manera más efectiva ante el faltante de datos de largo plazo que ante el faltante de datos de corto plazo, en otras palabras, el modelo es especialmente sensible a la falta de información en el corto plazo.

Para contrastar esta afirmación con las estimaciones realizadas, se continúa mostrando como fluctúan los rendimientos estimados por el modelo NSS tanto para la curva nominal como para la real, al variar los plazos considerados. Para esto, se definen plazos de 90, 365, 730 y 1460 días y se grafican los valores de estos rendimientos para cada día durante el período analizado (ilustración 2).

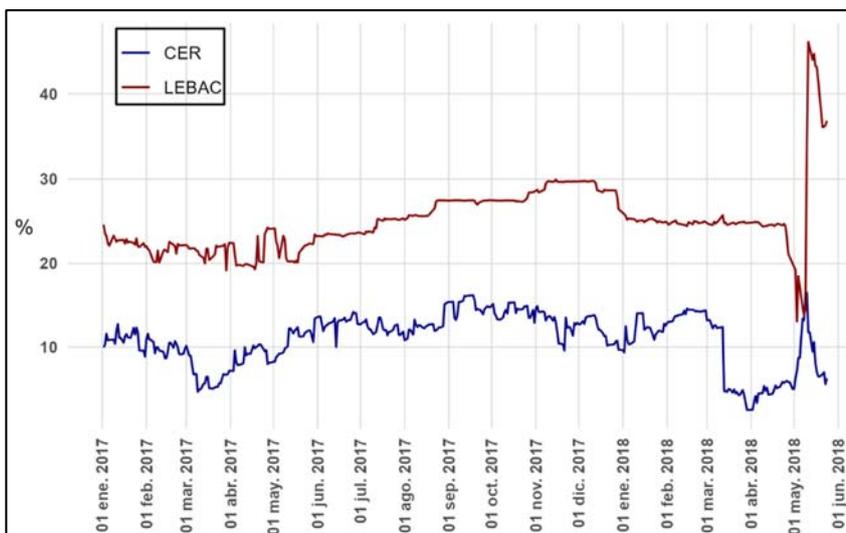
Se destaca que, al considerar un plazo al vencimiento de 90 días, los rendimientos de los bonos CER superan a los rendimientos nominales proporcionados por las LEBAC, lo cual propone una falta de representatividad y es probablemente causado por la falta de bonos ajustados por inflación para este plazo. Al extender el plazo al vencimiento a 365 días, se evidencia un incremento en estos rendimientos reales, aunque persiste una volatilidad significativa. Sin embargo, al prolongar aún más el plazo al vencimiento a dos y cuatro años, se percibe una notable reducción en la volatilidad, especialmente en la estimación de los rendimientos de los bonos CER. Adicionalmente se destaca que la extensión de los plazos al vencimiento de los bonos, genera una ampliación en la brecha entre las tasas nominales y reales.

*Ilustración 2: Tasa efectiva anual de bonos cupón cero a 90, 365, 730 y 1460 días de plazo, derivadas de las curvas de rendimiento nominal y real*

Panel A: 90 días



Panel B: 365 días

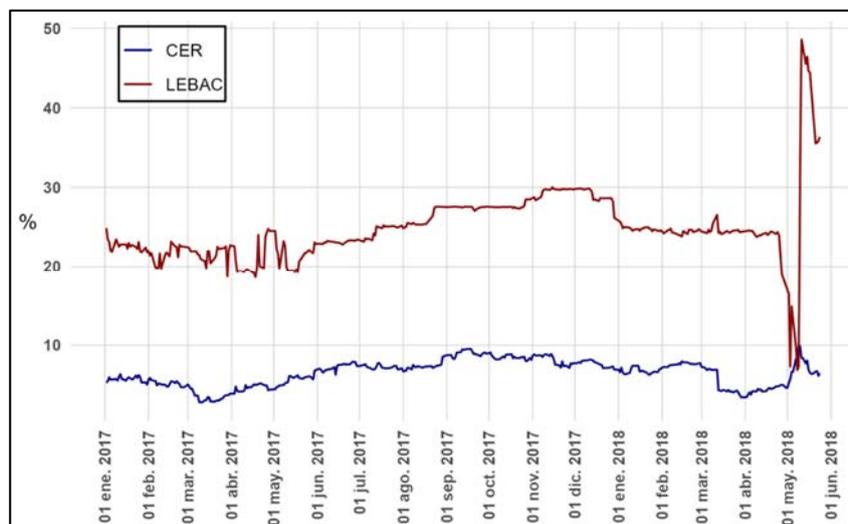


La mayoría de los cambios al aumentar el plazo se obtienen en las tasas reales. Por el contrario, las tasas nominales debido a las razones previamente mencionadas, no experimentan fluctuaciones significativas en su volatilidad al variar el plazo.

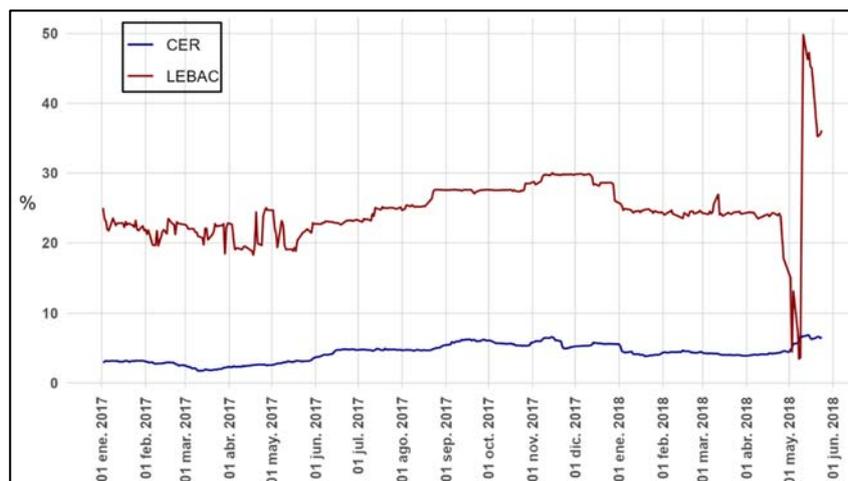
A su vez, para complementar a este análisis, se incluyó dentro del mismo gráfico la estimación de las tasas de interés para luego del 24 de abril de 2018. En esta fecha, debido a diversas circunstancias detalladas en la sección de metodología, se produce un desarme masivo de posiciones en LEBAC. Esta situación afecta la representatividad de las tasas de interés derivadas de estos instrumentos, lo que fundamenta la elección de la fecha final del período bajo estudio.

*Ilustración 2: Tasa efectiva anual de bonos cupón cero a 90, 365, 730 y 1460 días de plazo, derivadas de las curvas de rendimiento nominal y real (final)*

Panel C: 730 días



Panel D: 1460 días



## 5.2 Indicador diario de compensación por inflación implícita en bonos

Contando con la posibilidad de obtener una tasa de interés tanto nominal como real para un plazo específico cada día dentro del período en estudio, se avanza en la construcción del indicador de compensación por inflación. Este indicador surge de aplicar a todos los días hábiles durante el período analizado, la fórmula:

$$E_t(\pi_{t,T}) = \frac{(1 + S_{t,T}^i)}{(1 + S_{t,T}^r)} - 1$$

Ec 14

Siendo  $S_{t,T}^i$  y  $S_{t,T}^r$  la tasa de interés efectiva anual de un bono cupón cero, nominal y real respectivamente, desde la fecha de cálculo hasta el horizonte T, y  $E_t(\pi_{t,T})$  la compensación por inflación esperada para ese mismo período.

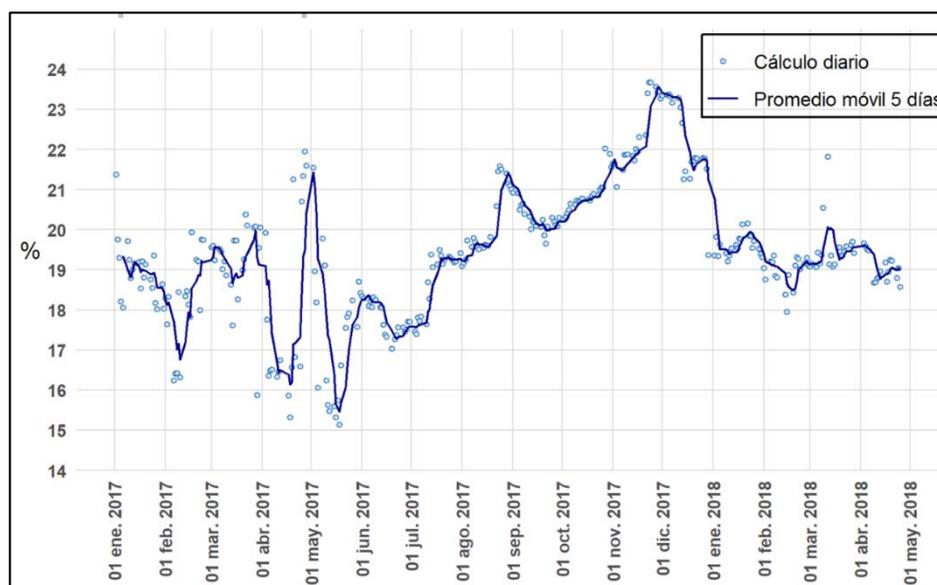
A modo de ejemplo, para el día 30.06.2017, se cuenta con una tasa de interés nominal efectiva anual de un bono cupón cero a 4 años de 23,29 % y una tasa de interés real efectiva anual de un bono cupón cero a 4 años de 4,74 %. Para este período, la compensación por inflación implícita resulta ser de 17,72 %.

Como resultado de replicar esta fórmula a lo largo de todo el período en cuestión, se logran obtener los valores ilustrados en los gráficos subsiguientes. Estos gráficos permiten observar durante el período desde inicios del 2017 hasta el 24 de abril de 2018, la evolución de la compensación por inflación. Es importante destacar que este indicador refleja la tasa de inflación acumulada promedio anual durante toda la vida del bono, que equilibra los rendimientos.

Para facilitar el análisis al momento de observar las tendencias, picos y valles, con los datos diarios se elabora un promedio móvil de cinco días del indicador de expectativas y se unen los puntos obtenidos con una línea.

*Ilustración 3: Compensación por inflación en bonos con 4 años de plazo al vencimiento.*

Series de alta frecuencia de compensación por inflación en tasa efectiva anual, derivadas del mercado de bonos del Banco Central y de tesorería del gobierno argentino.



Con respecto al comportamiento de los valores tomados por el indicador obtenido, se observa una mayor volatilidad desde principios de 2017 que va en aumento hasta el mes de mayo, meses en los que se presenta mayor variación dentro del período analizado, manteniéndose entre los valores de 15 % y 22 %. Esta variabilidad se reduce los meses siguientes de manera notoria, facilitando la distinción de cambios de comportamiento en su evolución.

Después de llegar a su valor mínimo respecto del período analizado de 15,13 % el día 18-05-2017, el indicador comienza a crecer de manera continua, alcanzando su mayor pico durante el mes de noviembre de 23,67 % el día 23-11-2017.

Posteriormente, este indicador muestra una fuerte caída a fines de diciembre del 2017, estabilizándose hasta el fin del período analizado.

Los valores durante el 2018 se mantienen entre el 18 % y 20 % aproximadamente, pero presentan una mayor variabilidad en marzo, atribuida principalmente al comportamiento de las expectativas en dos días específicos, 12-03-2018 y 09-03-2018, donde alcanza rendimientos de 20,55 % y 21,82 % respectivamente.

Con el objetivo arrojar mayor luz sobre los datos que utiliza el modelo NSS para estimar las tasas de rendimiento con las que luego se elabora el indicador, se muestra la siguiente tabla de estadística descriptiva. Para esto, se separó en 3 segmentos. El primer segmento abarca el año 2017, el segundo se centra en el período que va desde el inicio del 2018 hasta el 24 de abril de ese mismo año, y el tercer segmento analiza el comportamiento posterior a dicha fecha para mostrar la justificación del cierre del período analizado.

*Tabla 1: Estadística descriptiva de los rendimientos observados*

	<i>Períodos</i>	Desde 2017-01-01 Hasta 2017-12-31	Desde 2018-01-01 Hasta 2018-04-24	Desde 2018-04-25 Hasta 2018-10-01
<i>Promedio</i>	Nominal	0,25	0,26	0,47
	Real	4,46	4,74	8,13
<i>Cantidad de datos diarios promedio</i>	Nominal	12,35	8,62	4,28
	Real	4,00	4,00	5,91

Durante el período analizado se observa una disminución en los datos de rendimiento nominal, pasando de 12 a 8. Por otro lado, las curvas reales se calcularon utilizando 4 datos a lo largo de todo el período. En el tercer segmento, se evidenció un marcado aumento en el valor promedio de los rendimientos nominales, posiblemente influenciado por el desarme masivo de Lebac.

### 5.3 Comparación con el REM

#### 1) Experimento

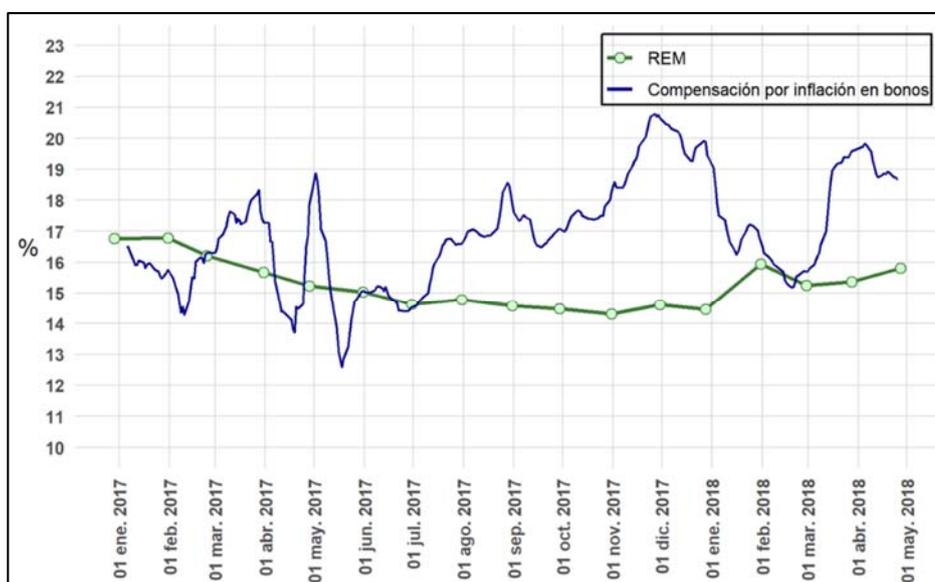
En este apartado se contrastan los resultados con el valor de la inflación estimada publicado en el REM. Este relevamiento se genera a partir de una encuesta mensual realizada para recopilar las expectativas de diversos actores del mercado sobre variables económicas clave, como la inflación, el tipo de cambio y la actividad económica. Dentro de las instituciones consultadas se incluyen entidades financieras, consultoras, centros de investigación y universidades, entre otros.

Cada participante del REM presenta sus proyecciones de inflación para diferentes horizontes temporales. En esta investigación se continuará trabajando con la mediana del conjunto de estos datos. Más específicamente, se toma de cada publicación mensual del REM, la variación

porcentual interanual para los próximos 2 años<sup>8</sup> del nivel general de los precios minoristas del índice de precios al consumidor (IPC) publicado por el Indec.<sup>9</sup> En el gráfico mostrado a continuación, la fecha donde fue publicado particularmente el dato, se ubica como la fecha de pronóstico.

Para posibilitar el contraste del indicador de compensación por inflación con las expectativas de inflación publicadas por el BCRA, se utiliza el dato diario de la compensación por inflación en la TEA de bonos con 2 años de plazo al vencimiento, lo cual representa la inflación en los dos años de vida del bono que iguala rendimientos.

*Ilustración 4: Promedio móvil a 5 días de la compensación por inflación en bonos con 2 años de plazo al vencimiento y series mensuales de expectativas de inflación a 2 años publicadas en el REM*



Como aspecto de mayor importancia, se destaca la cantidad de información que agrega el indicador de compensación por inflación desarrollado. En la primera mitad de 2017 este revela una volatilidad intra-mensual significativa que el REM no refleja. Por su parte, el REM muestra una tendencia decreciente durante este período. De todas formas, se puede decir que hasta junio inclusive, el indicador elaborado fluctúa alrededor de las estimaciones arrojadas por el REM.

Desde julio de 2017 se observa una divergencia notable en la dinámica entre ambas estimaciones. Por un lado, la compensación por inflación comienza a aumentar alcanzando su máximo

<sup>8</sup> En los campos *próx. 12 meses* y *próx. 24 meses* debe cargarse la inflación anual de 12 y 24 meses vista a partir del mes corriente, respectivamente. Por ejemplo, en el formulario del mes de diciembre de 2020, en *próx. 12 meses* debe cargarse el pronóstico de inflación acumulada entre enero de 2021 y diciembre de 2021, es decir la variación porcentual interanual del índice de diciembre de 2021. En el campo *próx. 24 meses* debe cargarse el pronóstico de inflación anual acumulada entre enero de 2022 y diciembre de 2022, es decir la variación porcentual interanual del índice de diciembre de 2022 (BCRA, 2023).

<sup>9</sup> Al ser el indicador de inflación de mayor cobertura publicado por el Indec, el BCRA lo utiliza para la toma de decisiones de política monetaria.

hacia finales de noviembre de dicho año, mientras que el REM presenta una conducta más estable, manteniendo sus valores entre el 14 % y el 15 %.

Durante el 2018 convergen brevemente en febrero hasta a valores de entre el 15 % y 16 %, para luego desacoplarse a partir del mes de marzo.

Cabe destacar que estos resultados se condicen con el del trabajo realizado por Corso y Matarrelli (2019) donde analizan la compensación por inflación y realizan esta contrastación utilizando otros instrumentos y metodologías, con estimaciones a 1 año de plazo.

Como propuesta para futuros trabajo se podrían evaluar los fundamentos que ocasionarían la divergencia desde julio 2017 hasta enero de 2018 de ambos indicadores, sea por factores propios de los instrumentos utilizados para elaborar el indicador o por divergencias en cuanto a las estimaciones realizadas por entidades, las cuales pueden llegar a diferir a la decisión espontánea de inversores en el mercado buscando maximizar su utilidad.

## 2) *Discusión*

A continuación se comentan las ventajas que arroja la propuesta de tomar el indicador de compensación por inflación como la expectativa de inflación, en contraposición a la opción de utilizar las expectativas publicadas por el REM.

Principalmente, el BCRA publica las expectativas del REM una vez por mes, y utilizar la compensación por inflación permite obtener un indicador de frecuencia diaria. También es importante destacar la posibilidad de acceder a la información para elaborar el indicador de manera menos costosa ya que solo se precisan los datos de cotización de bonos con las características deseadas.

A su vez, el REM se realiza durante los últimos tres días hábiles de cada mes y era publicado generalmente el primer viernes de cada mes. Esto fue así hasta agosto del 2023, mes a partir del cual la fecha de publicación se postergó una semana aproximadamente, siendo publicado el relevamiento del BCRA el mismo día que la inflación efectivamente realizada en el mes anterior publicada por el INDEC.

En paralelo, a fines del mes de agosto el Ministerio de Economía comenzó a calcular y publicar el dato de inflación semanalmente. Un aspecto importante de un indicador es que tenga incorporada toda la información disponible. La expectativa publicada por el REM no tiene en cuenta estas publicaciones de la inflación semanal, dado que el relevamiento de expectativa de inflación se realiza a fin del mes anterior a su publicación. Las expectativas de inflación del REM que tienen en cuenta estos datos serán publicadas recién en la segunda semana del mes siguiente. En cambio, se entiende que el indicador de compensación por inflación tendría incorporado el valor observado publicado por el INDEC y el Ministerio de Economía directamente luego de su publicación.

Estas ventajas pueden ser esenciales para los para la toma de decisiones de los agentes económicos y hacedores de política monetaria, que deben contar con un dato de inflación futura, lo más preciso, urgente, y económico posible.

## 5.4 **Comparación con la inflación realizada**

Avanzando en la utilización de este indicador para la realización de análisis y comparaciones respecto a otras variables macroeconómicas de gran relevancia, se comparan los resultados

obtenidos por el indicador de compensación por inflación, tomándolo como una estimación de la inflación futura y los valores arrojados por el REM explicados anteriormente, respecto de la tasa de inflación promedio anual en los próximos 2 años realizada, para intentar observar la capacidad de predicción.<sup>10</sup>

Además, se suma al análisis la tasa de inflación promedio anual pasada en los dos años anteriores, principalmente con el objetivo de ver que tanto influye la inflación pasada en las expectativas y con esto intentar observar si se logran desanclar las expectativas a la inercia inflacionaria con el régimen de metas de inflación implementado.

Tanto la medición de inflación pasada como la de inflación futura se calculan de la siguiente manera: se toma el índice de precios al consumidor (IPC)<sup>11</sup> en un mes específico<sup>12</sup> y luego se calcula la media geométrica anual entre ese IPC y el IPC que se registró dos años atrás para la inflación pasada, y también entre ese IPC y el IPC que se registrará dos años adelante para la inflación futura. Esto nos permite comparar ambas mediciones con los indicadores que estamos analizando.

La ecuación 15 permite calcular la inflación anual realizada a 24 meses vista o inflación futura y la ecuación 16 para la inflación pasada.

$$\pi_t^{24} = \left( \frac{\text{IPC}_{t+24}}{\text{IPC}_t} \right)^{\frac{1}{2}} - 1 \quad \text{Ec 15}$$

$$\pi_t^{-24} = \left( \frac{\text{IPC}_t}{\text{IPC}_{t-24}} \right)^{\frac{1}{2}} - 1 \quad \text{Ec 16}$$

Tal que  $\pi_t^{24}$  y  $\pi_t^{-24}$  representan la tasa anual de inflación (promedio geométrico) en los 24 meses posteriores y anteriores al período  $t$ .

A partir del análisis del gráfico (ilustración 5) se observa que es notable la subestimación de la inflación realizada que tuvieron las expectativas de inflación publicadas por el REM y también la del indicador de compensación por inflación elaborado. Aun así, el segundo se acerca en mayor medida, obteniendo más precisión durante el período analizado para estar la inflación futura.

Observando la trayectoria de la inflación realizada en los 24 meses posteriores, es evidente su tendencia alcista. A este respecto, el indicador de compensación por inflación se alinea más con esta tendencia, reflejando la evolución de la inflación realizada en el futuro con mayor exactitud. Por otro lado, el indicador de inflación publicado por el REM parece no capturar de manera adecuada esta alza. De hecho, durante el período comprendido entre mayo de 2017 y mayo de 2017, el indicador del REM parece sugerir una inflación más estable, e incluso presenta un leve decrecimiento.

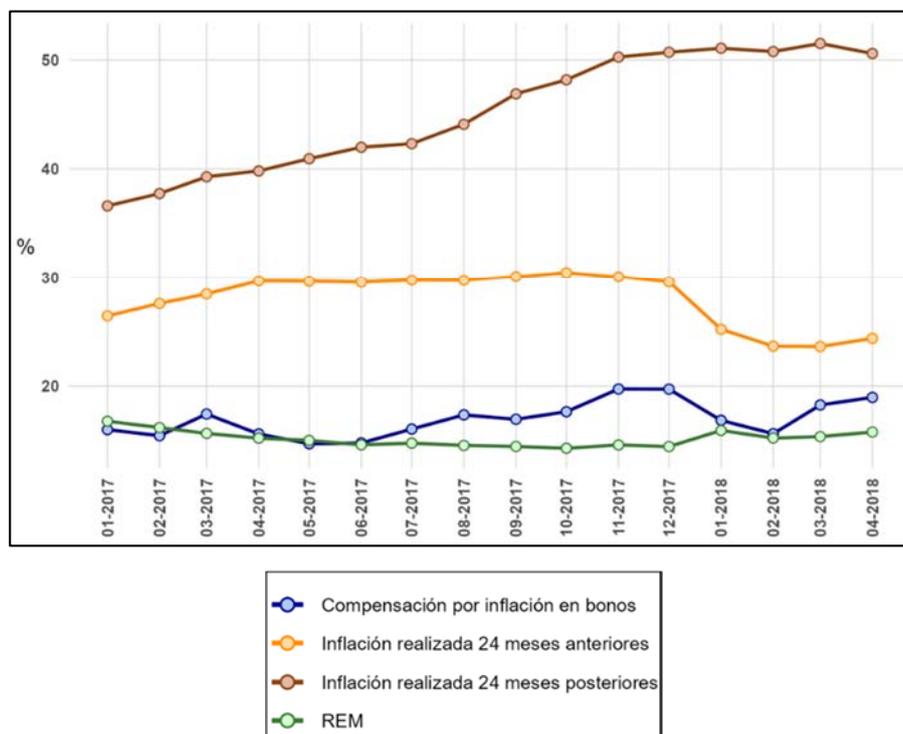
<sup>10</sup> Cabe mencionar que esta metodología de contrastación respecto de la inflación realizada también se lleva a cabo por parte del BCRA para evaluar la capacidad de predicción de las estimaciones de inflación publicadas en el REM. Metodología ranking REM: <https://www.bcra.gov.ar/Pdfs/PublicacionesEstadisticas/Metodolog%C3%ADa%20Ranking%20REM.pdf>

<sup>11</sup> De cobertura nacional, nivel general. Al ser el indicador de inflación de mayor cobertura publicado por el INDEC, el BCRA lo utiliza para la toma decisiones de política monetaria

<sup>12</sup> El dato respecto al IPC de ese mes específico se grafica el primer día de dicho mes.

*Ilustración 5: Comparación de indicadores a con la variación en el IPC en los 24 meses anteriores y posteriores*

Series mensuales compensación por inflación a 2 años de expectativas de inflación publicadas en el REM.



Para cuantificar esta diferencia entre lo esperado y lo realizado, en la tabla 2 se muestran los valores del error absoluto medio (MAE) y de la raíz del error cuadrático medio (RMSE).

*Tabla 2: Error de estimación promedio mensual del indicador de compensación por inflación y del REM respecto de la variación en el IPC 24 meses futura*

	MAE <sup>13</sup>	RMSE <sup>14</sup>
Compensación por inflación implícita en bonos	0,282	0,286
REM	0,299	0,305

<sup>13</sup> Error absoluto medio (MAE). Se calcula como la media de las diferencias absolutas entre los valores observados (o reales) y los valores predichos por el modelo.  $ECM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$

<sup>14</sup> Raíz del error cuadrático medio (en inglés, *root mean square error*). Mide la raíz cuadrada del promedio de los errores cuadráticos entre los valores predichos por el modelo y los valores reales u observados.  $RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}$

Es importante mencionar que esta aparente subestimación por parte del REM fue fuertemente criticada y se realizaron ajustes y mejoras en sus metodologías y proyecciones a partir de mediados de 2019. No obstante, aún en tiempos recientes, dichas proyecciones continúan siendo objeto de cuestionamientos, incluso por parte del propio BCRA.

“Las y los pronosticadores que participan en el Relevamiento de expectativas de mercado (REM) han exhibido errores significativos en sus predicciones en los últimos tres años. En parte, los elevados niveles de incertidumbre y la imposibilidad de prever la dimensión y la precisión temporal de los shocks devaluatorios que se sucedieron durante 2018-2019. Las y los analistas subestimaron sistemáticamente hasta mediados de 2019 la inflación que ocurriría 12 meses después –con correcciones parciales–, al tiempo que con posterioridad a ese período comenzaron a sobreestimar de modo constante la dinámica interanual que exhibiría la inflación minorista” (BCRA, 2021).

Los resultados presentados en el gráfico podrían ser interpretados desde dos perspectivas distintas. Por un lado, se podría argumentar que la inflación anticipada por los tenedores de bonos resultó ser más precisa, y que sus expectativas se alinearon más estrechamente con la inflación real que las proyecciones proporcionadas por la encuesta. Esta observación podría indicar que los tenedores de bonos tienen una mejor capacidad para predecir las tendencias inflacionarias o que confían más en sus propios análisis que en las proyecciones generales.

Por otro lado, es importante considerar que los instrumentos financieros, como los bonos, a menudo reflejan una variedad de factores en sus rendimientos, no solo las expectativas inflacionarias. Las diferencias observadas en los rendimientos de estos instrumentos podrían no ser atribuibles exclusivamente a las expectativas de inflación, sino que podrían haber sido influenciadas por otros factores, como el riesgo, las condiciones del mercado y otros eventos económicos imprevistos. Por lo tanto, es importante considerar un análisis más profundo para entender completamente las causas subyacentes de las diferencias observadas.

Asimismo, es de gran relevancia la con la inflación pasada. Dicha inflación va en aumento hasta abril de 2017, luego se estabiliza cerca del 30 % hasta diciembre de 2017 y en 2018 cae generando como una tendencia decreciente seguida de un repunte para el mes de abril. Ambas medidas de inflación esperada se muestran por debajo de la inflación pasada, lo que arroja información a favor de la hipótesis de que las expectativas de inflación se encontraban desancladas durante el período analizado. Dicha discusión invita a profundizar, principalmente ampliando el período analizado y evaluando la incidencia del esquema de metas de inflación implementado a partir enero de 2017.

## 6. Conclusiones

La compensación por inflación estimada a partir del rendimiento de bonos tiene un buen desenvolvimiento en el mediano y largo plazo para medir expectativas de inflación durante 2017 a 2018. Esto coincide con resultados obtenidos por Corso y Matarrelli (2019). En horizontes largos la compensación estimada predice la inflación realizada con mayor precisión que el Relevamiento de expectativas del mercado del BCRA. Por el contrario, para horizontes cortos, en especial menor que 12 meses, existe alta volatilidad en la compensación estimada haciéndola poco útil como medida de expectativas de inflación.

La principal ventaja de la compensación por inflación aquí estimada es la de proporcionar expectativas de inflación con una frecuencia diaria. Esto permitiría integrar este indicador junto con otros indicadores de menor frecuencia para obtener una mejor comprensión de las expectativas como la predicción de la inflación. Cómo integrar el indicador con otros de menor frecuencia en forma óptima se deja como futura investigación.

La principal limitación de la compensación estimada es su alta volatilidad a plazos bajos y la sobreestimación de la inflación de forma sistemática en algunos periodos. La volatilidad alta puede deberse a primas de riesgo y ausencia de bonos para ciertos plazos. Se deja como futura investigación la estimación de estas primas para purgarlas de la compensación como la utilización de técnicas de remuestreo para aumentar las cotizaciones no observables a ciertos plazos.

## REFERENCIAS

- BCRA Banco Central de la Republica Argentina (2021). *Errores de pronóstico del Relevamiento de expectativas de mercado (REM)*.
- BCRA (2023). *Relevamiento de expectativas de mercado (REM)*.
- Brealey, R. A., Myers, S. C. y Allen, F. (2010). *Principios de finanzas corporativas*. McGraw-Hill.
- Coroneo, L., Ken, N. & Vidova-Koleva, R. (2008). *How arbitrage-free is the Nelson-Siegel model?* European Central Bank Working paper 874.
- Corso, E. A. y Matarrelli, C. (2019). *Expectativas de inflación implícitas en la curva de rendimientos: Argentina 2017-2018*. BCRA Investigaciones Económicas, Nota Técnica 3/2019.
- Cox, J. C., Ingersoll, J. E. & Ross, S. A. (1985). *A theory of the term structure of interest rates*. *Econometrica*, 53 (2): 385-407.
- Deacon, M. & Derry, A. (1994). *Estimating market interest rate and inflation expectations from the prices of UK government bonds*. Bank of England Quarterly Bulletin August, 232-240.
- Espinosa Torres, J. A., Melo Velandia, L. F. y Moreno Gutiérrez, J. F. (2017). *Expectativas de inflación, prima de riesgo inflacionario y prima de liquidez: Una descomposición del break-even inflation para los bonos del Gobierno colombiano*. *Desarrollo y Sociedad*, N° 78: 315-365.
- European Central Bank (2004). *Extracting information from financial asset prices*. Monthly Bulletin November, 65-75.
- Fama, E. F. (1970). *Efficient capital markets: A review of theory and empirical work*. *Journal of Finance*, 25 (2): 383-417.
- Fisher, I. (1911). *The purchasing power of money: Its determination and relation to credit, interest, and crises*. Macmillan.
- Galí, J. (2018). *The state of new Keynesian economics: A partial assessment*. *Journal of Economic Perspectives*, 32 (3): 87-112.
- Gilli, M., Große, S. & Schumann, E. (2010). *Calibrating the Nelson-Siegel-Svensson model*. COMISEF Working Paper.
- Gürkaynak, S.W., Sack, R. & Wright, J.H. (2010). *The TIPS yield curve and inflation compensation*. *American Economic Journal: Macroeconomics*, 2 (1): 70-92.
- Meier, K. (2019). *Estimación de la estructura a término de tasas de interés en Argentina mediante el modelo de Nelson y Siegel dinámico con factores macroeconómicos*. Universidad de San Andrés Tesis de maestría.
- Mishkin, F. S. (2008). *Moneda, banca y mercados financieros*. Pearson.

- Pereda, J. (2009). *Estimación de la curva de rendimiento cupón cero para el Perú y su uso para el análisis monetario*. CEMLA Centro de Estudios Monetarios Latinoamericanos, *Monetaria*, 32 (3): 413-450.
- Schumann, E. (2011). *Fitting the Nelson-Siegel-Svensson model with differential evolution*. Working paper.
- Schumann, E., Dietmar, M. & Manfred, G. (2019). *Numerical methods and optimization in finance*, 2<sup>nd</sup> Ed. Academic Press.
- Sturzenegger, F. (2019). *Macri's macro: The elusive road to stability and growth*. En *Brookings Papers on Economic Activity*, Fall 2019, págs. 339-436.
- Svensson, L. E. (1994). *Estimating and interpreting forward interest rates: Sweden 1992-1994*. NBER Working paper 4871, IMF Working papers 1994/114.
- Veronesi, P. (2016). *Fixed income markets: An introduction*. En Veronesi, P. (Ed), *Handbook of fixed-income securities*, Wiley, págs. 3-24.

## ANEXO

### Diferencias con Corso y Matarrelli (2019)

El presente trabajo busca replicar y extender el ensayo de Corso y Matarrelli (2019). Principalmente, se expande todo el análisis, profundizando en el marco teórico y antecedentes, junto con un análisis más detallado de la base de datos, las dificultades al elaborar el indicador y las comparaciones con el REM.

Además, el indicador principal elaborado por estos autores es a un año. En el presente trabajo se grafica como resultado principal la expectativa de inflación a 4 años con el objetivo de aprovechar lo mayor posible dos datos disponibles y de posibilitar el análisis de largo plazo.

Corso y Matarrelli aplicaron un método de *bootstrapping* para obtener mejores estimaciones para el corto plazo.

La comparación con el REM realizada por ellos fue para una expectativa de inflación con plazo de un año. Aquí se realiza la comparación con el REM para estimaciones a dos años. Además, en este estudio se avanza en la discusión de ventajas y desventajas de ambos indicadores que van más allá de la mera visualización gráfica y comparación de los valores obtenidos.

Y el presente trabajo continúa el análisis observando la capacidad predictiva y la incidencia de la inflación pasada en las expectativas de inflación.

*Tabla A.1: Bonos utilizados para estimar las curvas de tasas de interés durante el período de tiempo analizado*

Curva nominal		Curva real	
En este ensayo	Corso y Matarrelli	En este ensayo	Corso y Matarrelli
Lebac		ARTC20	ARTC20
	Lecap	ARTC21	ARTC21
	TO21	ARPR13	
	TO23	ARDICP	ARDICP
	TO26		