



DOCUMENTO DE TRABAJO
N.º 03 | 2023

Series de tiempo funcionales en el análisis de la encuestas de expectativas de inflación en Costa Rica

Fabio Gómez-Rodríguez

Fotografía de portada: "Presentes", conjunto escultórico en bronce, año 1983, del artista costarricense Fernando Calvo Sánchez. Colección del Banco Central de Costa Rica.

Series de tiempo funcionales en el análisis de la encuestas de expectativas de inflación en Costa Rica

Fabio Gómez-Rodríguez[‡]

Las ideas expresadas en este documento son de los autores y no necesariamente representan las del Banco Central de Costa Rica.

Resumen

Las encuestas de expectativas de inflación muestran, mes a mes, una variedad de perspectivas sobre lo que va a ser la inflación en el futuro. Típicamente se usan estadísticas como la media, la mediana y percentiles para resumir la información contenida en estas encuestas. En este documento de investigación se usan series de tiempo funcionales para analizar toda la distribución de las encuestas de expectativas de inflación. Con este fin se extraen componentes principales funcionales que luego se usan en tres ejercicios: i) completar por medio de simulaciones y variables macroeconómicas el periodo de pausa de las encuestas de diciembre 2020 a noviembre 2021, ii) predecir la que va a ser la función de densidad (y con esta la distribución) de las encuestas de expectativas de inflación para el mes en curso y iii) generar un indicador de expectativas de inflación basado en la información de encuestas y de mercado. Esto permite interpretar las expectativas y aprovechar el poder predictivo de las mismas. Se recomienda usar toda la distribución de las expectativas de inflación en el análisis de política monetaria.

Palabras clave: Expectativas de Inflación, Encuestas, Series de Tiempo Funcionales

Clasificación JEL: E61, E62, E65, H11, H30

[‡] Departamento de Investigación Económica. División Económica, BCCR. gomezrj@bccr.fi.cr

Functional Time Series in the Analysis of Expected Inflation Survey in Costa Rica

Fabio Gómez-Rodríguez[‡]

The ideas expressed in this paper are those of the authors and not necessarily represent the view of the Central Bank of Costa Rica.

Abstract

Expected inflation surveys show, month by month, a variety perspectives on inflation's future path. Statistics such as the mean, median, and percentiles typically summarize the information contained in these surveys. This paper uses functional time series to analyze the entire distribution of inflation expectations surveys. Functional components become critical in summarizing the data. The analysis consists of three exercises: i) complete, through simulations and macroeconomic variables, the interruption of these surveys from December 2020 to November 2021, ii) predict what will be the density function (and with it the distribution) of inflation expectations for the current month and iii) generate an expected inflation instrument based on data from surveys and the market that allows interpreting expectations and taking advantage of their predictive power. It is recommended to use the entire distribution of inflation expectations in monetary policy analysis.

Key words: Inflation Expectations, Surveys, Functional Time Series

JEL codes: E61, E62, E65, H11, H30

[‡] Economic Research Department, Economic Division, BCCR. Email address gomezrj@bccr.fi.cr

1. Introducción

El objetivo del este documento de investigación es describir el modelo que se utiliza para analizar el comportamiento de las expectativas de inflación en Costa Rica. En esta investigación utiliza el modelo para tres ejercicios: i) inferir el comportamiento de la encuesta de expectativas de inflación para el periodo de diciembre 2020 a noviembre 2021, ii) predecir el comportamiento del mes en curso (útil para reuniones de política monetaria), y, iii) desarrollar un indicador de cumplimiento de meta de inflación basado en expectativas.

Incluso en las economías con expectativas fuertemente ancladas, las encuestas de expectativas de inflación reportan diferentes valores. No obstante, esta variabilidad (o desacuerdo) ha demostrado ser información importante sobre el estado de la economía [Mankiw, Reis and Wolfers \(2004\)](#). Es natural usar lo que en estadística y probabilidad se llama una distribución (o su función de densidad) para representar las diferentes perspectivas de lo que será el comportamiento de los precios durante el próximo año.

El primer paso de la metodología es estimar una función de densidad usando como referencia la muestra de expectativas de inflación durante el periodo en el que esta sí se realizó. Al repetir esto cada mes, se obtiene lo que se denomina una *serie de tiempo funcional*, específicamente, de densidades. Esta serie de tiempo sirve para describir la dinámica de la distribución de expectativas de inflación en Costa Rica.

Una vez obtenida la serie de tiempo, se procede a resumir las densidades usando un pequeño conjunto de factores. Estos factores se llaman *componentes principales funcionales* y tienen la capacidad de explicar un alto porcentaje (mayor al 90%) de la variabilidad de la distribución de expectativas de inflación. Estos representan una base de funciones que es invariante *dentro de la muestra*, pero que pueden cambiar al variar la muestra. De esta forma la distribución de expectativas de inflación se expresa como la combinación de estos factores (que son funciones) y sus respectivos pesos (números reales) para cada observación. Los pesos de cada factor en el periodo de la muestra generan, a su vez, una serie tiempo para cada factor. El análisis de la distribución de expectativas de inflación se basa en la series de tiempo del vector de estos pesos.

El primer ejercicio para el que se aplica este modelo es inferir el comportamiento de la encuesta en el periodo de diciembre de 2020 a noviembre de 2021. Con este fin se procede a relacionar los pesos de cada factor con variables macroeconómicas relevantes en la formación de expectativas de inflación. Luego, usando modelos lineales, se procede a estimar el valor de cada peso en

el periodo deseado. Una vez obtenida la predicción de los pesos, en combinación con los componentes principales, se obtiene una estimación de la densidad que describe la distribución de expectativas de inflación para el periodo que se quiere inferir. Finalmente, se procede a extraer la información relevante como la media, la mediana, la moda y percentiles de interés.

El segundo ejercicio que se efectúa es el de obtener una predicción de la distribución de las expectativas de inflación para el mes en curso. Este insumo tiene como objetivo dar una luz sobre el comportamiento de las expectativas “en tiempo real”.

El último ejercicio se trata de una interpretación de las expectativas de inflación con respecto al cumplimiento de la meta de inflación del Banco Central. Usando toda la información disponible de expectativas de inflación (encuestas y de mercado), se procede, por medio de una regresión logística, a estimar la probabilidad de que la inflación se encuentre en el rango meta un año hacia adelante. La intuición de este análisis es deducir una relación entre el estado actual de las expectativas de inflación y el cumplimiento de la meta de inflación durante los próximos doce meses.

Literatura Relacionada. Esta nota usa series de tiempo funcionales que han sido utilizadas para el análisis de distintos fenómenos, como la curva de rendimientos de los Estados Unidos ([Chang, Gómez-Rodríguez and Matthes, 2020](#)), expectativas de inflación ([Chang, Gómez-Rodríguez and Hong, 2022](#)) y temperaturas globales ([Chang, Miller and Park, 2019](#)) para nombrar algunas aplicaciones. La metodología que se desarrolla aquí se basa en el trabajo teórico de series de tiempo funcionales de [Silverman \(1986\)](#), [Park and Qian \(2012\)](#), [Chang, Kim and Park \(2016\)](#) y [Chang, Park and Pyun \(2021\)](#).

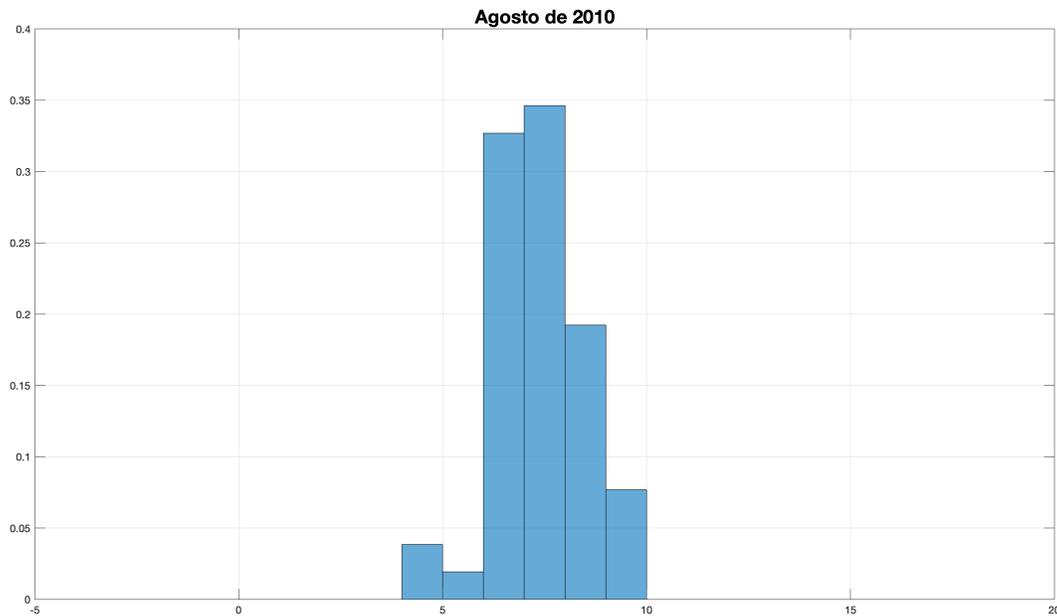
Este documento continua con una descripción breve de la teoría econométrica y matemática que se da lugar al modelo de las expectativas de inflación. Luego, la tercera sección analiza la distribución de expectativas de inflación desde la perspectiva de datos funcionales. La cuarta sección muestra los resultados para los ejercicios ya descritos al inicio de la introducción. Finalmente, la última parte concluye y da recomendaciones.

2. Marco teórico econométrico

En esta sección se explican las técnicas econométricas utilizadas en este análisis. Se comienza por el uso de funciones de densidad para describir la heterogeneidad (la variabilidad) de las expectativas de inflación. Esto define lo que es una serie de tiempo funcional. Luego se continúa explicando el supuesto de que las funciones de densidad que se utilizan aquí sean elementos de

un espacio de Hilbert. Este es un concepto matemático del análisis funcional. Después, se introduce la idea de componentes principales funcionales y el “gráfico de valores propios” (*scree-plot* en inglés) que describe el desempeño de los componentes para explicar la variabilidad de la serie de tiempo funcional.

Figura 1: Histograma de expectativas de inflación (agosto 2010)



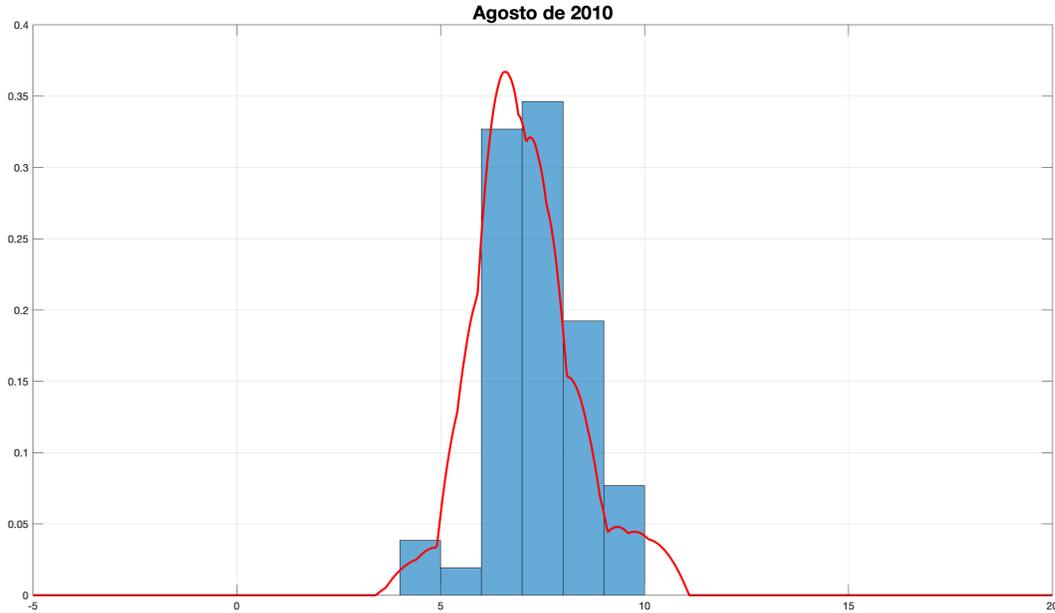
Fuente: Elaboración propia.

2.1. Funciones de densidad

Es de esperar que en una economía los agentes económicos tengan diferentes perspectivas sobre el futuro de los precios. Es por esto, que en la encuesta al preguntar sobre las expectativas de inflación se obtienen varias diferentes respuestas. Por ejemplo, en la figura 1 observamos para el mes de agosto de 2010 un histograma representando las diferentes respuestas a la pregunta sobre inflación en Costa Rica.

El primer paso de la metodología es partir del hecho que lo que se observa en la muestra es una imagen parcial de lo que es la distribución de expectativas de inflación de toda la población. En estadística el ejercicio de inferir una distribución de la población a partir de una muestra se llama estimación de la densidad nuclear ([Silverman \(1986\)](#) y [Park and Qian \(2012\)](#)). Aquí se procede a usar una función nuclear de Epanichanov con un ancho de banda variable según la muestra mensual para obtener una función de densidad. Esta estimación es

Figura 2: Histograma de expectativas de inflación (agosto 2010) junto con la función de densidad estimada



Fuente: Elaboración propia.

considerada óptima en términos de predicción. El resultado de esta metodología para el mes agosto de 2010 se observa en la figura 2.

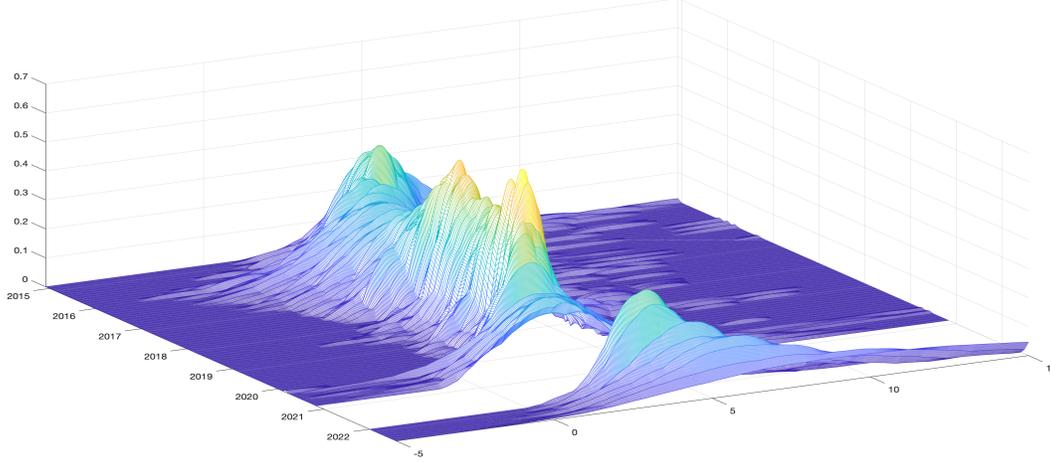
Al repetir este proceso para cada mes de la muestra se obtiene lo que se denomina una serie de tiempo funcional. Este tipo de series de tiempo se caracterizan porque el objeto que se observa en el tiempo es una función (en este caso de densidad) y no un número como es el caso de series de tiempo convencionales. El siguiente gráfico muestra una imagen en tres dimensiones con la serie de tiempo de funciones de densidad para las expectativas de inflación.

2.2. Componentes principales funcionales

Ahora se usa como punto de partida la serie de tiempo funcional (de densidades), la cual vamos a describir de la siguiente manera: $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \dots, \varphi_T$. Vale la pena reiterar que cada φ_i en esta serie es una función de densidad. Como toda función de densidad se debe cumplir las siguientes condiciones

$$\begin{aligned}
 i) & \quad \varphi_i(x) \geq 0 \\
 ii) & \quad \int_{-\infty}^{\infty} \varphi_i(x) dx = 1
 \end{aligned}$$

Figura 3: Serie de Tiempo Funcional de Densidades de las Expectativas de Inflación en Costa Rica.



Muestra: Diciembre de 2014 a noviembre de 2020 y enero 2022 a agosto 2022. **Fuente:** Elaboración propia.

donde x representa un valor de expectativa de inflación. En el análisis de se realiza en este documento limitamos x al intervalo $[-5\%, 25\%]$.

Aparte de las condiciones necesarias para una función de densidad, se hace un supuesto, poco restrictivo, pero importante:

$$iii) \quad \int_{-\infty}^{\infty} \varphi_i^2(x) dx < \infty$$

Este supuesto tiene como consecuencia la propiedad de que todas la funciones φ_i se pueden escribir como la combinación lineal de una series de funciones base v_1, v_2, v_3, \dots . Las v_j , como las φ_i , también son funciones.

$$\varphi_i = \alpha_{1i}v_1 + \alpha_{2i}v_2 + \alpha_{3i}v_3 + \dots \quad (1)$$

Se nota como la suma de la derecha tiene una cantidad infinita de sumandos. Además, las funciones v_j son comunes para todas la φ_i . Esto implica, que si las funciones v_1, v_2, v_3, \dots están predeterminadas, entonces hay una correspondencia perfecta

$$\varphi_i \mapsto (\alpha_{1i} \quad \alpha_{2i} \quad \alpha_{3i} \quad \dots)'$$

este resultado del análisis funcional es muy útil: El análisis de funciones se convierte en un análisis de secuencias, las cuales son mucho más manejables desde el punto de vista econométrico.

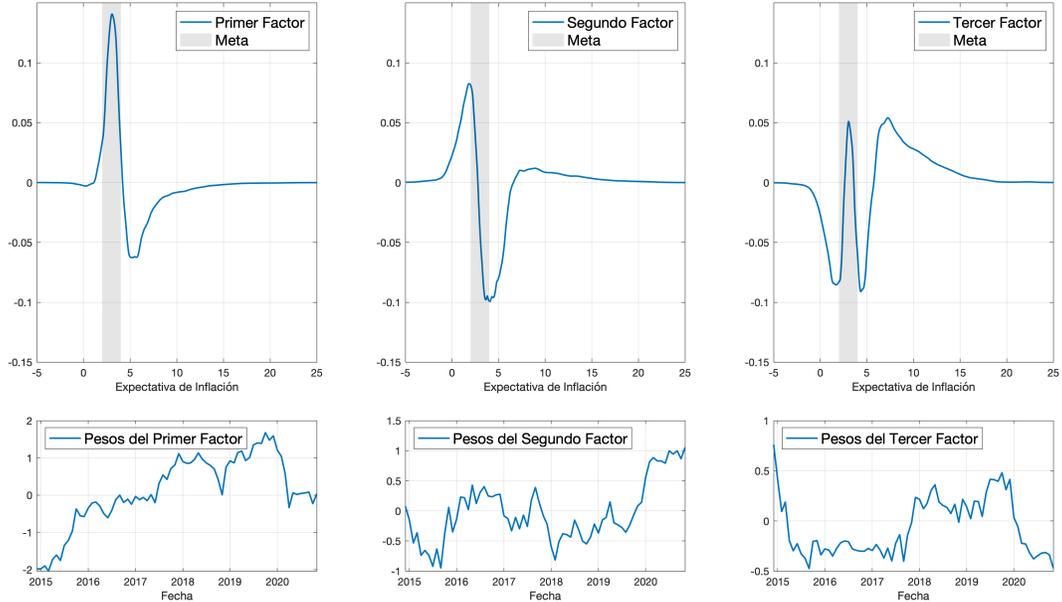
Dado que la secuencia de valores de α_{ij} contiene la información la distribución de expectativas de inflación, es natural tratar de escoger la base de funciones v_j de manera tal que los primeros pocos valores de α_{ij} se representen una buena aproximación de la función φ_j . Una manera de aproximar las densidades es “cortar” la serie de pesos y funciones en (1) para obtener los que llama una *proyección de dimensión finita* de la función de densidad:

$$\varphi_t \approx \hat{\varphi}_t = \alpha_{1i}v_1 + \alpha_{2i}v_2 + \alpha_{3i}v_3 + \dots + \alpha_{mi}v_m \quad (2)$$

Se resalta que, al contrario de la suma (1) la suma (2) en esta ecuación es finita.

La manera de comprimir la información de la variabilidad de toda la serie de tiempo funcional es utilizando componentes principales funcionales. Estos componentes extraen de la muestra de funciones los “movimientos” de la función de densidad que mejor resumen la dinámica de esta serie de tiempo. Por medio de este proceso podemos expresar la serie funcional como una serie de tiempo multivariada (Chang, Park and Pyun, 2021).

Figura 4: Factores principales funcionales y los pesos de la distribución de expectativas de inflación en Costa Rica



Muestra: Diciembre de 2014 a noviembre de 2020. **Fuente:** Elaboración propia.

En la figura 4 se muestra un análisis de los tres primeros componentes principales funcionales de la serie de expectativas de inflación en Costa Rica¹. El análisis se realiza sobre la diferencia de la densidad mensual y la densidad promedio de la muestra². El primer factor, representa un incremento (reducción) de la densidad, o frecuencia relativa, de expectativas de inflación de 3% (coincidiendo con la meta) mientras que se observa una reducción (incremento) de expectativas de inflación entre el 5% y 15%. Cuando este factor es positivo, se logra una mayor frecuencia de expectativas de inflación dentro de la meta y una reducción de expectativas de inflación altas. Cuando el peso del segundo factor es positivo se relaciona una reducción de expectativas de inflación entre el 3% y el 6% a cambio de un importante incremento de expectativas entre -1% y 3% y un menor incremento en expectativas por encima del 6%. Cuando este factor incrementa, hay una mayor dispersión de expectativas y una reducción en la media (producto del incremento en la densidad de expectativas más bajas). Las direcciones de los movimientos cambian cuando el peso es negativo. El tercer factor muestra ambigüedad, al haber una correlación positiva entre expectativas dentro de la meta, pero también de inflación alta.

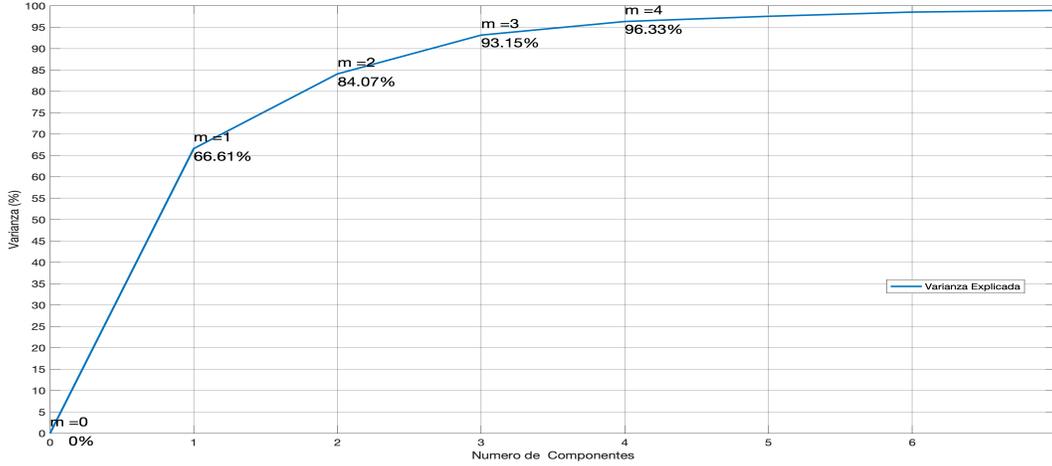
La reducción de la dimensión de los datos (a tres factores, por ejemplo) viene con un costo: se representa una menor parte de la variabilidad de la información. La ventaja de utilizar factores principales es que la pérdida de información es mínima. El gráfico 5 muestra cuanta información del total se puede representar con cada cantidad de factores.

Una desventaja del análisis usando componentes principales que hay que tener en consideración es la dependencia de la muestra. Para distintas muestras, especialmente si hay algún cambio importante en la distribución de las densidades, los componentes pueden llegar a cambiar. Es por esta razón que es importante saber encontrar un equilibrio entre muestras de mayor tamaño que dan una estimación más precisa de los componentes, y muestras de menor tamaño que explican con mayor precisión la densidad original.

¹Para los ejercicios de aplicación se utilizarán tres o cuatro componentes principales funcionales.

²Esto es por conveniencia computacional. Note que la suma de dos densidades no es una densidad. La suma de dos desviaciones de la densidad media, es una desviación de la densidad media.

Figura 5: Relación entre la variabilidad explicada y la cantidad de componentes principales.



Muestra: Diciembre de 2014 a noviembre de 2020. **Fuente:** Elaboración propia.

3. ¿Por qué es útil la distribución de expectativas de inflación de encuestas?

Siempre ha existido variabilidad en la expectativas de inflación y como argumentan [Mankiw, Reis and Wolfers \(2004\)](#) esta variabilidad o desacuerdo sobre las expectativas de inflación entre los agentes económicos contiene información importante. Para demostrar este punto consideremos las siguientes cuatro regresiones:

$$\pi_t \sim c + \bar{e}i_t$$

$$\pi_t \sim c + \text{mediana}(ei_t)$$

$$\pi_t \sim c + \bar{e}i_t + s_{eit}$$

$$\pi_t \sim c + \text{mediana}(ei_t) + s_{eit}$$

donde $\bar{e}i$ representa la media muestral de las expectativas de inflación y s_{ei} la desviación estándar muestral. El propósito de estas regresiones es explicar la relación que existe entre la inflación en el mes “ t ” y las expectativas de inflación del mismo mes. La estimación se muestra en el cuadro 1.

Se observa como las regresiones que solo usan media y la mediana tienen un R cuadrado claramente menor que el de las regresiones que incluyen la desviación estándar muestral. Esto quiere decir que la desviación estándar de la distribución de las expectativas de inflación de encuestas, más allá de

Cuadro 1: Estimaciones de regresiones de inflación sobre aspectos de la distribución de las expectativas de inflación.

| | c | \bar{e}_{it} | s_{eit} | R^2 |
|-------------|------------------|-------------------|-------------------|-------|
| Regresión 1 | 1,498 (0,804) | -0,078 (0,211) | | 0,002 |
| Regresión 2 | 2,324 (0,775) | -0,308 (0,210) | | 0,030 |
| Regresión 3 | 2,451 (0,726) | 0,128 (0,188) | -1,139 (0,236) | 0,256 |
| Regresión 4 | 2,681 (0,385) | -0,057 (0,036) | -0,807 (0,294) | 0,278 |

Nota: Errores estándar en paréntesis. Muestra: Diciembre de 2014 a noviembre de 2020.

Fuente: Elaboración propia.

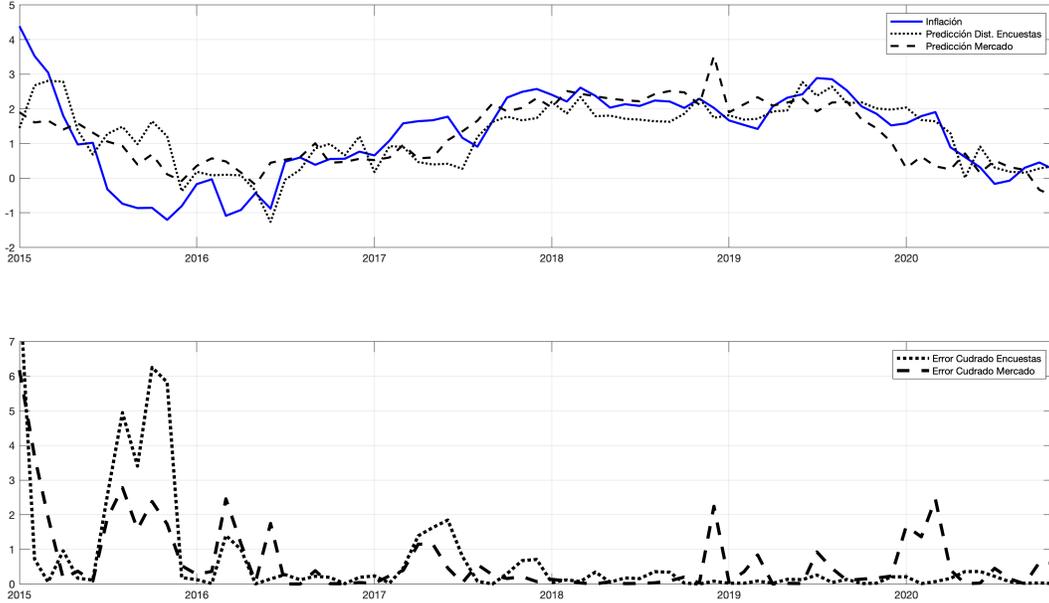
la mediana y la media, está asociada con cambios en la inflación. En este documento, se argumenta que son múltiples aspectos de la distribución los que contribuyen a entender lo que pasa y lo que pasará con la inflación.

El argumento que se trata de demostrar con estos resultados es que hay información en la distribución de las expectativas de inflación que la media o la mediana no logran representar. Se puede notar que regresiones que no consideran la desviación estándar se desempeñan peor a la hora de explicar la inflación. Esto se puede interpretar como que las expectativas de inflación tienen un valor predicativo desde el punto de vista relativo, es decir, no solo importa cuál es la expectativa de inflación de un agente económico sino también como esta expectativa se relaciona con las expectativas de los demás participantes de la economía.

Otra manera de demostrar que la distribución de expectativas de inflación de encuestas contiene información útil es cuando las usamos para predecir la inflación. En la siguiente figura observamos el resultado de usar las expectativas de inflación en “ t ” para predecir inflación en “ $t + 1$ ”. Para usar toda la distribución se consideran los pesos y los componentes principales funcionales que se describieron en la sección anterior.

En la figura 6 se puede observar que las expectativas de inflación (que son doce meses hacia adelante) tienen la capacidad de aproximar la inflación del mes siguiente. Es decir, las expectativas de inflación doce meses hacia adelante son un factor que determina la inflación a corto plazo (un mes hacia adelante). Un argumento que justifica este comportamiento es que ajustar precios tiene un costo que conlleva a una rigidez de precios. Ante esta rigidez, los agentes económicos procuran incorporar en cada ajuste de precios sus expectativas al corto plazo junto con las de largo plazo.

Figura 6: Predicción del periodo t usando las expectativas de inflación (encuestas y de mercado) del periodo $t - 1$ como insumo (arriba). Error cuadrado de predicción (abajo).



Fuente: Elaboración propia.

Tanto las expectativas de mercado como las de encuestas (toda la distribución) se desempeñan de manera similar (en términos relativos), y más importante aún, en partes importantes de la muestra la regresión que usa la distribución de las expectativas de inflación de encuestas tienen un error cuadrado absoluto menor al de la predicción que usa las expectativas de mercado. En el ejercicio de cumplimiento de meta, más adelante, veremos como estas juntas nos dan una luz importante sobre la inflación esperada.

4. Ejercicios de predicción

Como se ha mencionado anteriormente, el modelo de la distribución de expectativas de inflación se puede utilizar con diferentes fines. El primer ejercicio es el de completar la muestra de encuestas de expectativas de inflación para el periodo de diciembre 2020 a noviembre 2021. En este periodo se tomó la decisión de interrumpir la realización de la encuesta de expectativas. Sin embargo, luego de su reanudación, se ha requerido para varios análisis pertinentes de la política monetaria obtener un estimado de los posibles valores que esta encuesta pudo haber arrojado. El segundo ejercicio consiste en predecir la distribución que las expectativas de inflación para el mes en curso. El último,

es el de proponer un indicador que relacione las expectativas de inflación con la meta de inflación para los próximos doce meses.

4.1. Periodo de pausa de las encuestas de inflación

Las encuestas de expectativas de inflación que el Banco Central de Costa Rica realiza se suspendieron durante el periodo de Diciembre 2020 a Noviembre 2021. Una de las aplicaciones del modelo que se presenta en esta nota es completar, por medio de simulaciones, las expectativas de inflación de encuestas para el periodo de pausa.

El procedimiento en este ejercicio es el siguiente: Se toma la muestra de la encuesta que comienza en enero del 2017 y que termina en noviembre 2021. Además, se toman las observaciones de Enero a Junio del 2022³.

Siguiendo la notación de (2) este ejercicio consiste en considerar regresiones como la siguiente:

$$\alpha_{it} \sim c + \text{variables macroeconómicas}$$

donde α_{it} representa el peso del componente principal funcional i en el periodo t . Las variables macroeconómicas se escogen del conjunto: inflación, tipo de cambio, inflación de los EE.UU., inflación de socios comerciales, brecha del IMAE, precios de la gasolina, expectativas de mercado a diferentes horizontes, tasa de política monetaria. Además, se considera el primer rezago de esas variables. Es conocido que usar demasiadas variables en una regresión puede llevar a un sobre-ajuste, es por esta razón que usamos el método “*least absolute shrinkage and selection operator*” o LASSO (Tibshirani, 1996) que castiga el uso excesivo de regresores y por medio de una evaluación de validación cruzada escoge las variables para cada componente principal.

Para este ejercicio, consideramos cuatro componentes principales. Las variables escogidas para cada componente se describen en el cuadro 2.

Una vez que se cuenta con la relación entre los componentes principales funcionales y variables macroeconómicas se procede a estimar los pesos a partir de las variables macroeconómicas para el periodo de enero del 2017 a junio 2022, incluyendo el periodo para el que no se efectuó la encuesta de expectativas de inflación. El primer diagnóstico de la estimación lo da la precisión con la que se estiman los pesos. En el gráfico 7 se observa la predicción y el valor observado para las cuatro series de pesos y una banda de 95% de confianza. Ahora, usando la predicción de los pesos y combinándolos con las funciones

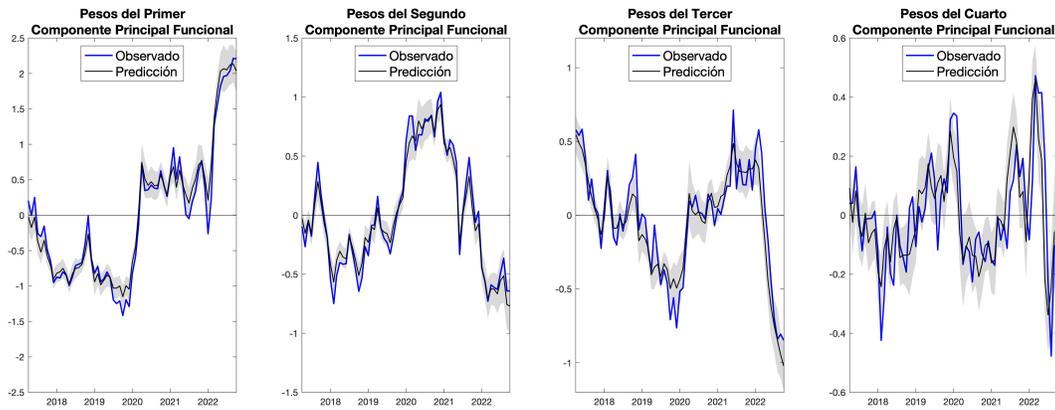
³Como se discutirá más adelante las observaciones de Julio y Agosto del 2022 han demostrado un comportamiento diferente al resto de la muestra, por lo que para este ejercicio se dejan por fuera momentáneamente.

Cuadro 2: Variables escogidas por LASSO para predecir los cuatro componentes principales funcionales.

| Componente | Variabes |
|------------|---|
| Primero | Inflación, Expectativas de Inflación de Mercado (Rezago) Expectativas de Inflación de Mercado 24m, (Rezago) Tipo de Cambio Precios de Gasolina(Rezago), Brecha IMAE, Brecha IMAE (Rezago) pvc, Inflación EE.UU.(Rezago) |
| Segundo | Expectativas de Inflación de Mercado, Expectativas de Inflación de Mercado 60m M1, pvc, Inflación EE.UU., Inflación EE.UU. (Rezago) |
| Tercero | Inflación, Inflación (Rezago) Expectativas de Inflación de Mercado 12m, Expectativas de Inflación de Mercado 12m (Rezago) Expectativas de Inflación de Mercado 24m, Expectativas de Inflación de Mercado 60m (Rezago) Tipo de Cambio, Tipo de Cambio (Rezago), TPM, Precios Gasolina, Precios Gasolina (Rezago) Brecha IMAE, Brecha IMAE (Rezago), M1, comun Inflación EE.UU.(Rezago), Inflación Socios Comerciales, Dummy Covid |
| Cuarto | Expectativas de Inflación de Mercado 12m, Expectativas de Inflación de Mercado 12m (Rezago) Tipo de Cambio (Rezago), Brecha IMAE, Brecha IMAE (Rezago), Dummy Covid |

Fuente: Elaboración propia.

Figura 7: Predicción de los pesos de los diferentes componentes principales funcionales



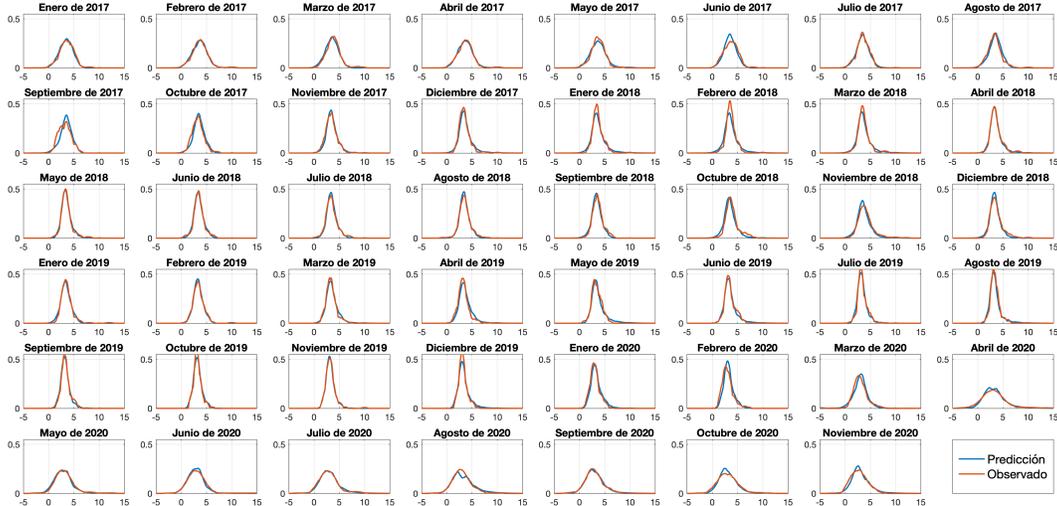
Fuente: Elaboración propia.

base se procede a recuperar las funciones de densidad. En los gráficos 8 y 9 se observan las densidades estimadas usando los datos y las densidades que se predicen usando las variables macroeconómicas correspondientes. Se observa que la predicción tiende a ajustar de buena manera la densidad correspondiente.

Para emular los valores de las encuestas, y reportar las estadísticas que típicamente el Banco Central de Costa Rica reporta, se muestrean las densidades estimadas simulando así la encuesta. Dado que la selección de la muestra y el número de respuestas ha variado históricamente, se procede a escoger un tamaño de muestra (simulada) igual a 100 para los meses que no se realizó la encuesta. Esto por simplicidad.

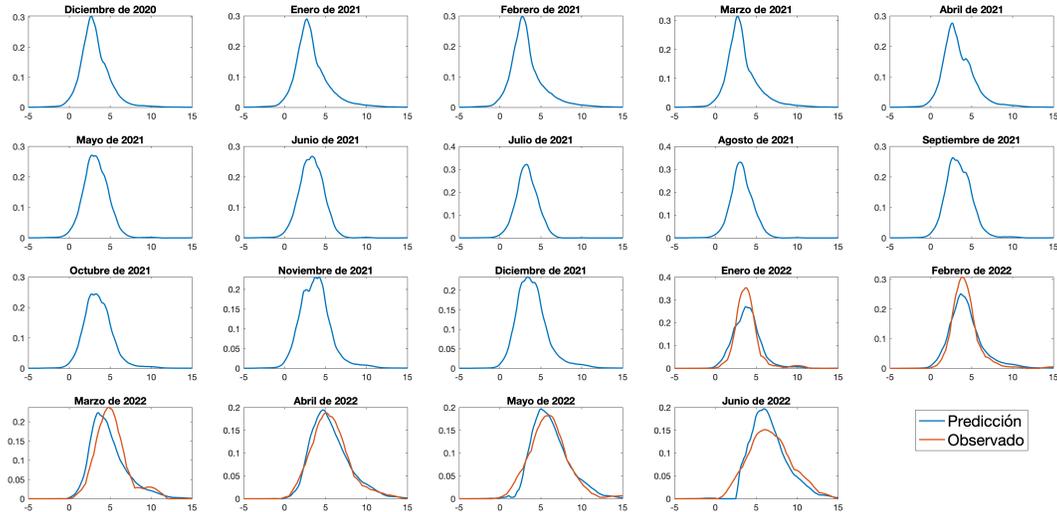
Para juzgar la calidad de la predicción se compara, en el gráfico 10 los

Figura 8: Densidad estimada por los datos (observada) y densidad que se predice para el mismo mes.



Muestra: Enero 2017 a noviembre 2020. **Fuente:** Elaboración propia.

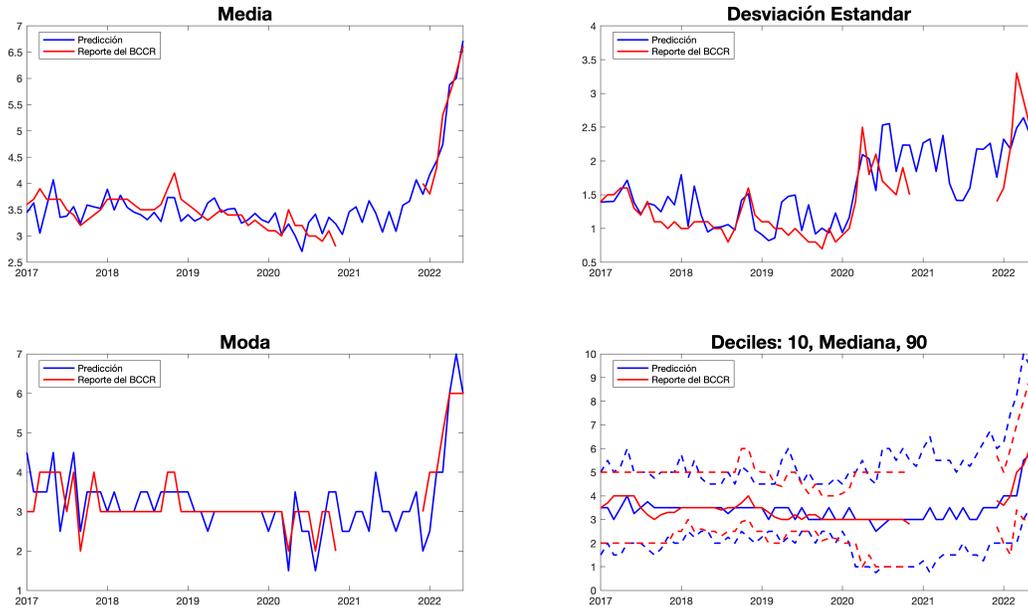
Figura 9: Densidad estimada por los datos (observada) y densidad que se predice para el mismo mes.



Muestra: Diciembre 2020 a junio 2022. **Fuente:** Elaboración propia.

reportes del Banco Central de Costa Rica con las muestras de encuestas simuladas a partir de variables macroeconómicas.

Figura 10: Comparación de los valores observados y las predicciones usando variables macroeconómicas.



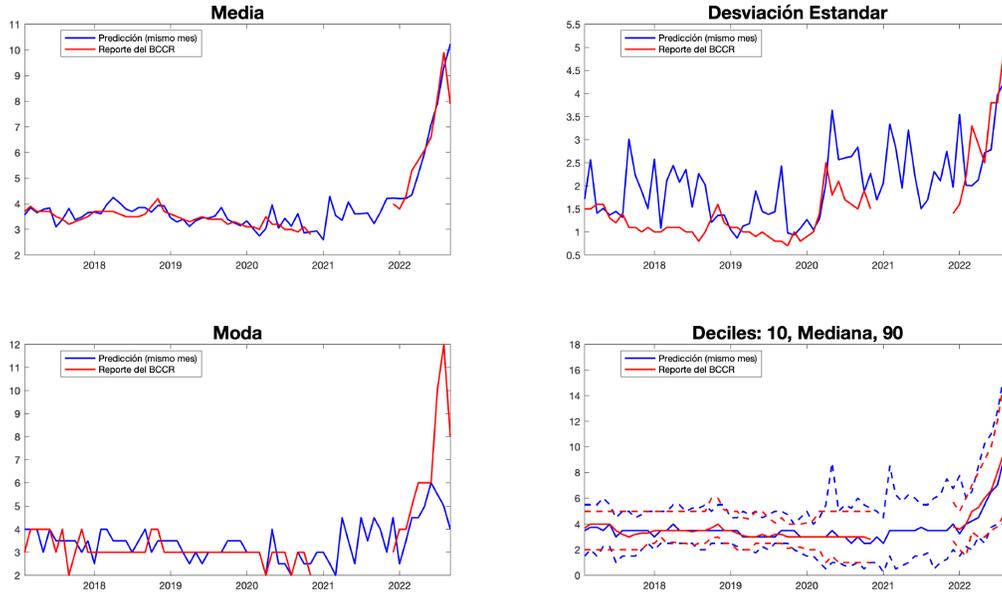
Fuente: Elaboración propia.

4.2. Predicción del mes en curso

Al hacer política es de gran importancia disponer, dentro de lo posible, de la mayor cantidad y más reciente información. El ejercicio que se efectúa en esta sección va dirigido a predecir, para el mes en curso, las principales estadísticas de la distribución de las expectativas de inflación.

El ejercicio, aunque es parecido, cuenta con ciertas diferencias con respecto al anterior. Lo primero, es que en la etapa de entrenamiento debemos simular la información disponible en un mes en curso. Aunque algunas variables están a disposición en alta frecuencia, como el tipo de cambio y el precio de los hidrocarburos, otras hay que esperar a fin de mes para obtenerlas. Entonces, la diferencia aquí, es limitarse a utilizar únicamente las variables que están disponibles durante el mes. Estas incluyen rezagos de las variables y otras que cambian poco como la meta de inflación y las que se reportan a diario, por ejemplo, el tipo de cambio o los precios de hidrocarburos. En la figura 11 se observa la comparación de las estadísticas reportadas por el banco y su predicción del mismo mes de los valores. En la figura 14 del apéndice se muestra una comparación de las funciones de densidad estimada con los datos observados en el mes y la predicción de la función de densidad durante el mismo mes.

Figura 11: Comparación de los valores observados y las predicciones (dentro del mismo mes) usando variables macroeconómicas.



Fuente: Elaboración propia.

4.3. Cumplimiento de meta según la expectativas

Se ha generado un debate alrededor de las expectativas de inflación y cómo interpretar la información para hacer política. En teoría, las expectativas deberían de informarnos sobre la trayectoria de la inflación en algún horizonte hacia el futuro. Sin embargo, se ha comprobado, que la información en las encuestas de expectativas inflación no está dando una perspectiva clara sobre la inflación (Segura-Rodríguez (2019), Segura-Rodríguez (2020), Segura-Rodríguez and Collado-Chaves (2021)).

En esta nota, se explora la posibilidad de usar la información de la encuesta de expectativas de inflación de una manera diferente: usando toda la distribución. Por ejemplo, supongamos que existe alguna externalidad que va generar presiones inflacionarias hacia el alza, sin embargo, no todos los agentes actualizan su expectativas por falta de información o interés. La media (y posiblemente la mediana) de la nueva distribución de expectativas de inflación va a subestimar la respuesta de la inflación, pero la distribución como tal si va a manifestar las nuevas condiciones. Por eso es que la distribución en si puede contener información relevante para la inflación a futuro.

¿Qué nos dicen las expectativas de inflación sobre la inflación durante el

próximo año? Aquí comparamos cinco modelos para diferentes horizontes.

$$\pi_{t+h} \sim \beta \bar{e}i_t \quad (\text{Modelo 1})$$

$$\pi_{t+h} \sim \beta \text{mediana}(ei_t) \quad (\text{Modelo 2})$$

$$\pi_{t+h} \sim \beta ei_t^m \quad (\text{Modelo 3})$$

$$\pi_{t+h} \sim \beta ei_t^m + \gamma_1 \alpha_{1t} + \gamma_2 \alpha_{2t} + \gamma_3 \alpha_{3t} \quad (\text{Modelo 4})$$

$$\pi_{t+h} \sim \beta_1 ei_t^m + \beta_2 ei_t^{m24} + \beta_3 ei_t^{m36} + \beta_4 ei_t^{m60} \gamma_1 \alpha_{1t} + \gamma_2 \alpha_{2t} + \gamma_3 \alpha_{3t} \quad (\text{Modelo 5})$$

donde α_{it} representa los pesos del factor i , $\bar{e}i$ y $\text{mediana}(ei_t)$ la media y mediana de la encuesta de expectativas de inflación, y ei^m la expectativa de inflación de mercado doce meses hacia adelante y ei^{mX} representa la expectativa X meses hacia adelante. Para demostrar el incremento de la capacidad predictiva de las expectativas de inflación (encuestas y de mercado) al considerar toda la distribución los siguientes cuadros muestran una comparación del desempeño de las regresiones descritas arriba.

Cuadro 3: Error cuadrado medio de las regresiones de expectativas sobre inflación con diferentes horizontes.

| | Regresion 1 | Regresion 2 | Regresion 3 | Regresion 4 | Regresion 5 |
|-----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| ECM($h = 0$) | 9.6896 | 10.8566 | 11.5296 | 1.0392 | 0.3495 |
| ECM($h = 1$) | 10.4212 | 11.2252 | 11.2536 | 1.3524 | 0.4851 |
| ECM($h = 2$) | 11.1281 | 11.5804 | 10.8426 | 1.7152 | 0.6953 |
| ECM($h = 3$) | 11.7961 | 11.8843 | 10.6629 | 2.5046 | 1.0134 |
| ECM($h = 3$) | 12.2620 | 12.1609 | 10.7436 | 3.5120 | 1.3564 |
| ECM($h = 5$) | 12.5178 | 12.4316 | 10.9076 | 4.7381 | 1.6603 |
| ECM($h = 6$) | 12.6309 | 12.6664 | 11.4755 | 6.1032 | 1.7928 |
| ECM($h = 7$) | 12.8525 | 12.8231 | 12.0137 | 6.4264 | 1.5939 |
| ECM($h = 8$) | 13.0309 | 12.8073 | 12.3162 | 5.3743 | 1.1896 |
| ECM($h = 9$) | 13.1978 | 12.7887 | 12.4662 | 5.0195 | 1.1534 |
| ECM($h = 10$) | 13.3748 | 12.7443 | 12.9322 | 6.0475 | 1.5523 |
| ECM($h = 11$) | 13.5082 | 12.7448 | 13.2030 | 6.5268 | 1.8781 |
| ECM($h = 12$) | 13.6325 | 12.8927 | 13.3270 | 7.2309 | 2.0776 |

Fuente: Elaboración propia.

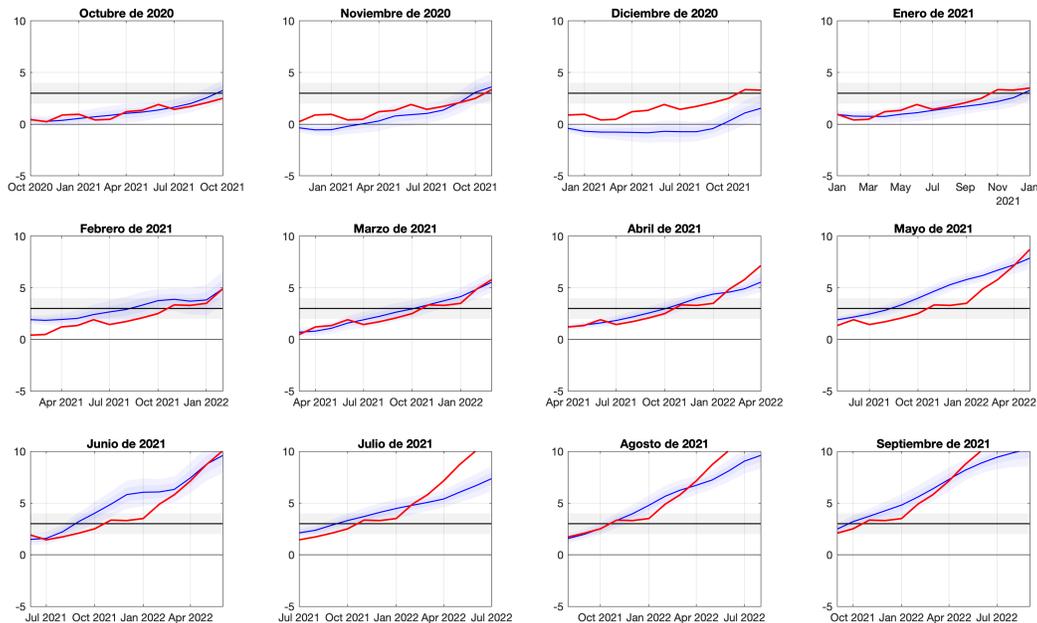
Tanto en el error cuadrado medio, como en el R^2 ajustado se observa claramente que considerar todos los horizontes de las expectativas de mercado, así como los diferentes componentes principales funcionales de la distribución son superiores al predecir la inflación inclusive doce meses hacia adelante.

De ahora en adelante nos concentraremos en este modelo:

$$\pi_{t+h} \sim \beta_1 ei_t^m + \beta_2 ei_t^{m24} + \beta_3 ei_t^{m36} + \beta_4 ei_t^{m60} \gamma_1 \alpha_{1t} + \gamma_2 \alpha_{2t} + \gamma_3 \alpha_{3t} \quad (3)$$

La idea del presente ejercicio es leer de todo el conjunto de información disponible en t , cuál sería la trayectoria de la inflación en los periodos $t, t+1, t+2, \dots, t+12$. En las siguientes figuras observamos el desempeño de este indicador haciendo, en retrospectiva, el ejercicio de predicción para los meses de Setiembre 2020 hasta Agosto 2022. Esto permitirá comparar cómo la predicción de inflación se compara con la inflación observada. Este instrumento puede llegar a ser de gran importancia ya que nos dice como leer la información de las expectativas como un factor que predice inflación, vital para la política monetaria.

Figura 12: Trayectoria de la inflación basada en expectativas y la inflación observada para el mismo rango de meses.



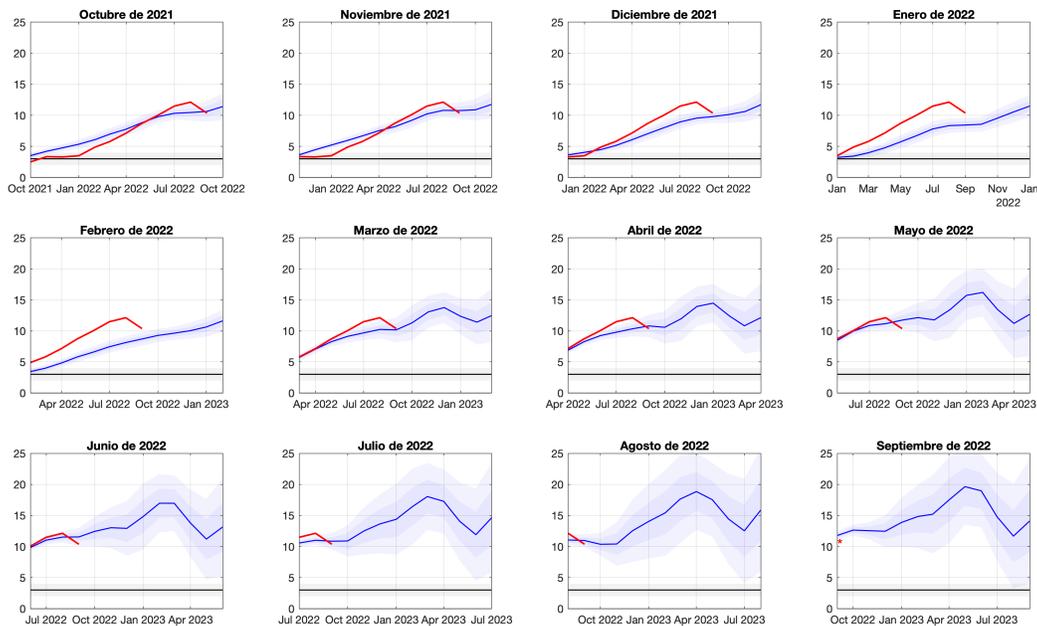
Nota: Ejercicio para setiembre 2020 a agosto 2021. **Fuente:** Elaboración propia.

Usando este modelo de inflación basado en expectativas observamos en la figura 12 varios puntos que valen la pena resaltar:

1. Recordando que la línea azul, la cual representa la trayectoria de inflación basada en expectativas, se obtiene con la información disponible en t y que la inflación observada (línea roja) se obtiene sucesivamente en $t, t+1, t+2, \dots, t+12$ nos damos cuenta que en general la inflación sigue la trayectoria, y si no la tendencia que sugieren las expectativas.
2. Desde marzo 2021 las expectativas de inflación muestran una clara tendencia al alza.

3. Inclusive, estando la inflación por debajo de la meta del BCCR, en mayo 2021 las expectativas de inflación ya indicaban una primera mitad del 2022 con inflación por encima del 5%.
4. En agosto del 2021, las expectativas de inflación pronosticaban inflación de casi el 10% para julio y agosto 2022. Como referencia las expectativas de mercado doce meses para adelante estaban por debajo del 1%

Figura 13: Trayectoria de la inflación basada en expectativas y la inflación observada para el mismo rango de meses.



Nota: Ejercicio para setiembre 2021 a agosto 2022. **Fuente:** Elaboración propia.

En la segunda parte de la muestra para la que se hizo este ejercicio, se empieza a observar cómo la serie de inflación se acorta al acercarse al final de la muestra. Aquí también se observa como la inflación sigue la trayectoria, o al menos la tendencia que sugieren las expectativas. Se observa además que la tendencia positiva de la inflación comenzó a mermar desde marzo 2022, aproximadamente. Además la incertidumbre sobre la inflación a partir de las expectativas han incrementado de manera importante para los meses de mayo 2022 a agosto 2022.

5. Conclusiones y recomendaciones

En el presente documento se hace uso de un análisis econométrico de datos funcionales para estudiar las encuestas de expectativas de inflación que realiza el Banco Central de Costa Rica. Se logra a través de una base de componentes principales funcionales completar por medio de simulaciones los valores de la encuesta de expectativas para el periodo de diciembre 2020 a diciembre 2021.

Se planteó un modelo para la predicción de la densidad de esta distribución para el mes en curso. De esta forma, la información más reciente sobre las expectativas puede estar disponible a la hora de tomar decisiones de política monetaria.

Además, se planteó un indicador basado en las expectativas de las encuestas y de mercado que permite comprender mejor el mensaje que estas tienen sobre la inflación hasta doce meses hacia adelante.

Finalmente, se recomienda fortalecer las encuestas de expectativas de inflación para obtener una estimación más precisa de las distribución de estas. Además, se recomienda considerar toda la información disponible, encuestas (toda la distribución) y mercado (todos los horizontes) a la hora de evaluar las expectativas de inflación.

Referencias

- CHANG, Y., GÓMEZ-RODRÍGUEZ, F. and HONG, G.-H. (2022). The effects of economic shocks on heterogeneous inflation expectations. *IMF Working Paper*.
- , — and MATTHES, C. (2020). How do the u.s. government’s decisions affect its borrowing costs?
- , KIM, C. S. and PARK, J. Y. (2016). Nonstationarity in time series of state densities. *Journal of Econometrics*, **192** (1), 152 – 167.
- , MILLER, J. I. and PARK, J. Y. (2019). What drives temperature anomalies: A functional svar approach.
- , PARK, J. Y. and PYUN, D. (2021). From functional autoregressions to vector autoregressions, working Paper, Indiana University.
- MANKIW, N. G., REIS, R. and WOLFERS, J. (2004). Disagreement about Inflation Expectations. In *NBER Macroeconomics Annual 2003, Volume 18*, NBER Chapters, National Bureau of Economic Research, Inc, pp. 209–270.

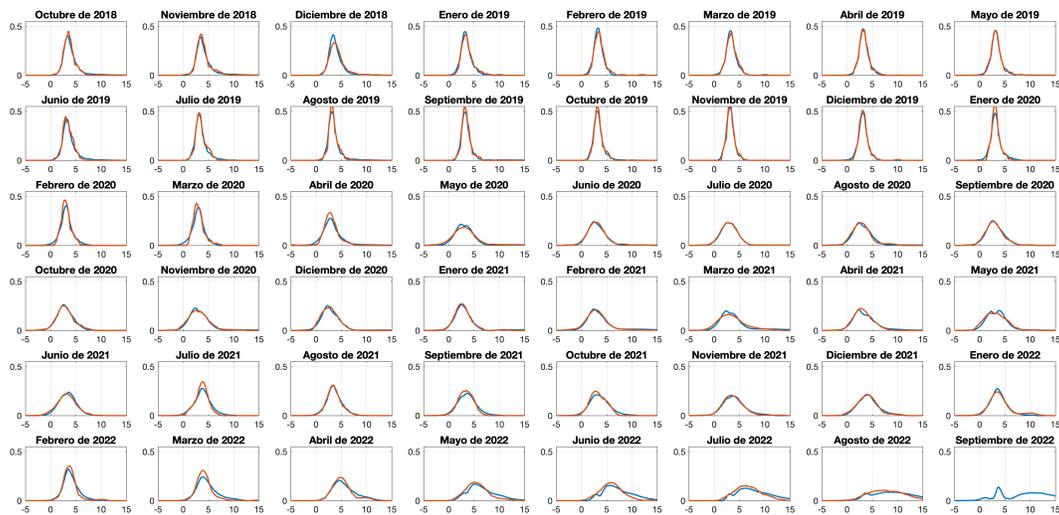
- PARK, J. Y. and QIAN, J. (2012). Functional regression of continuous state distributions. *Journal of Econometrics*, **167**, 397–412.
- SEGURA-RODRÍGUEZ, C. L. (2019). Expectativas de inflación en el mercado de deuda soberana costarricense: ¿están ancladas? *Notas Técnicas BCCR*.
- (2020). Formación heterogénea y persistente de las expectativas de inflación. *Notas Técnicas BCCR*.
- and COLLADO-CHAVES, A. (2021). Estabilidad de las expectativas de inflación. *Notas Técnicas BCCR*.
- SILVERMAN, B. W. (1986). *Density estimation for statistics and data analysis*, vol. 26. CRC press.
- TIBSHIRANI, R. (1996). Regression shrinkage and selection via the lasso. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, **58** (1), 267–288.

A. Figuras adicionales

En esta sección se presentan algunas figuras que por claridad de exposición fueron omitidas en la parte principal del texto.

A.1. Predicción del mismo mes de la densidad

Figura 14: Comparación de las densidades estimadas con datos observados y las predicciones (dentro del mismo mes) de la densidad el mismo mes usando variables Macroeconómicas.



Fuente: Elaboración propia.

A.2. Bondad de ajuste de la regresiones de inflación sobre expectativas

En la siguiente tabla se comparan los diferentes valores de R^2 ajustado de las regresiones de inflación sobre las expectativas.

Cuadro 4: R^2 ajustado de las regresiones de expectativas sobre inflación con diferentes horizontes.

| | Regresion 1 | Regresion 2 | Regresion 3 | Regresion 4 | Regresion 5 |
|---------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| $R^2_{adj}(h = 0)$ | -0.6743 | -0.8759 | -0.9922 | 0.8204 | 0.9396 |
| $R^2_{adj}(h = 1)$ | -0.7884 | -0.9263 | -0.9312 | 0.7679 | 0.9168 |
| $R^2_{adj}(h = 2)$ | -0.8899 | -0.9668 | -0.8415 | 0.7087 | 0.8819 |
| $R^2_{adj}(h = 3)$ | -0.9767 | -0.9915 | -0.7868 | 0.5803 | 0.8302 |
| $R^2_{adj}(h = 4)$ | -1.0264 | -1.0097 | -0.7755 | 0.4196 | 0.7758 |
| $R^2_{adj}(h = 5)$ | -1.0395 | -1.0255 | -0.7772 | 0.2280 | 0.7295 |
| $R^2_{adj}(h = 6)$ | -1.0276 | -1.0333 | -0.8422 | 0.0203 | 0.7122 |
| $R^2_{adj}(h = 7)$ | -1.0394 | -1.0347 | -0.9063 | -0.0197 | 0.7471 |
| $R^2_{adj}(h = 8)$ | -1.0479 | -1.0127 | -0.9356 | 0.1554 | 0.8130 |
| $R^2_{adj}(h = 9)$ | -1.0437 | -0.9804 | -0.9304 | 0.2227 | 0.8214 |
| $R^2_{adj}(h = 10)$ | -1.0358 | -0.9398 | -0.9684 | 0.0795 | 0.7637 |
| $R^2_{adj}(h = 11)$ | -1.0201 | -0.9059 | -0.9744 | 0.0240 | 0.7191 |
| $R^2_{adj}(h = 12)$ | -1.0022 | -0.8936 | -0.9574 | -0.0620 | 0.6949 |

Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente tabla se comparan los estimados de los coeficientes de la regresión de inflación sobre las expectativas.

Cuadro 5: Coeficientes de las regresiones para los diferentes horizontes.

| Horizon | CPF1 | CPF2 | CPF3 | CPF4 | Mercado 12m | Mercado 24m | Mercado 36m | Mercado 60m |
|----------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|-------------------|-----------------|
| $h = 0$ | 2,33 (0,15) | 2,75 (0,31) | -1,62 (0,22) | 0,52 (0,46) | 0 (0,36) | 11,04 (3,3) | -21,91 (5,07) | 12,35 (2,12) |
| $h = 1$ | 2,31 (0,21) | 2,6 (0,38) | -1,23 (0,31) | 1,59 (0,62) | -0,09 (0,43) | 13,52 (4) | -26,53 (6,15) | 14,73 (2,58) |
| $h = 2$ | 2,21 (0,38) | 2,64 (0,5) | -0,61 (0,5) | 2,52 (0,9) | -0,21 (0,53) | 13,26 (5,08) | -26,59 (7,86) | 15,26 (3,32) |
| $h = 3$ | 2,4 (0,58) | 3,07 (0,66) | -0,38 (0,71) | 2,66 (1,14) | -0,83 (0,64) | 16,42 (6,25) | -31,82 (9,72) | 18,11 (4,12) |
| $h = 4$ | 2,8 (0,76) | 3,5 (0,79) | -0,45 (0,86) | 2,18 (1,32) | -1,12 (0,75) | 19,18 (7,26) | -37,27 (11,31) | 21,3 (4,79) |
| $h = 5$ | 2,61 (0,96) | 3,39 (0,93) | -0,12 (0,99) | 1,38 (1,49) | -1,62 (0,83) | 23,52 (8,06) | -45,17 (12,55) | 25,58 (5,32) |
| $h = 6$ | 2,32 (1,1) | 3,12 (1,03) | -0,18 (1,02) | -0,47 (1,76) | -2,14 (0,86) | 28,85 (8,38) | -55 (13,05) | 30,81 (5,53) |
| $h = 7$ | 2,85 (1,04) | 2,93 (0,98) | -0,56 (0,97) | -0,4 (1,67) | -2,24 (0,81) | 34,92 (7,94) | -65,75 (12,36) | 35,89 (5,23) |
| $h = 8$ | 3,44 (0,9) | 2,77 (0,85) | -0,04 (0,84) | 2,19 (1,49) | -2,4 (0,7) | 37,36 (6,86) | -69,16 (10,68) | 37,16 (4,53) |
| $h = 9$ | 2,7 (0,92) | 1,96 (0,87) | 0,79 (0,86) | 2,8 (1,49) | -2,27 (0,69) | 35,79 (6,9) | -67,69 (10,84) | 37,19 (4,67) |
| $h = 10$ | 1,76 (1,12) | 1,36 (1,04) | 1,03 (1) | 1,44 (1,77) | -2,23 (0,81) | 34,06 (8,1) | -66,98 (12,78) | 38,26 (5,55) |
| $h = 11$ | 0,96 (1,34) | 1,12 (1,19) | 1,26 (1,15) | 0,16 (1,96) | -2,77 (0,89) | 32,73 (9,54) | -65,47 (15,33) | 38,62 (6,81) |
| $h = 12$ | 1,73 (1,43) | 2,22 (1,25) | 0,65 (1,21) | -1,05 (2,09) | -2,96 (0,95) | 29,33 (10,96) | -60,94 (17,97) | 37,79 (8,14) |

Fuente: Elaboración propia.