

¿Cuáles son los factores que influyen en la medida de expectativas de inflación (BEI) en Colombia?

Esteban Neumann Burgos*

Director: Luis Fernando Melo Velandia†
Universidad de La Sabana
Maestría en Gerencia de Inversión

*E-mail: estebannebu@unisabana.edu.co

†Banco de La República (Central Bank of Colombia), Colombia. E-mail: lmelovel@banrep.gov.co

Resumen

La diferencia en los rendimientos de los bonos nominales y los bonos indexados a la inflación (Break Even Inflation, BEI) es un indicador de las expectativas de inflación. En el presente artículo se analiza el impacto de algunas variables macroeconómicas y financieras sobre el BEI. Se estudia, mediante un modelo autorregresivo con variables exógenas, su impulso respuesta. Los resultados obtenidos son coherentes con la intuición económica ya que reflejan el sentido lógico de la dirección en las expectativas de inflación en Colombia cuando se choca otra variable en la economía.

Códigos de clasificación JEL: C32; C51; D84; E31.

Palabras Clave: *Break Even Inflation; Expectativas de Inflación; ARX; Impulso Respuesta.*

1. Introducción

La diferencia en los rendimientos de los bonos nominales y los bonos indexados a inflación, comúnmente conocida como la medida Break Even Inflation (en lo sucesivo, BEI), es hoy en día un indicador de las expectativas de inflación y una medida alterna a las encuestas realizadas a los analistas de los mercados, que pueden resultar sesgadas por noticias recientes y ser menos oportunas. Actualmente, las grandes economías del mundo han emitido deuda indexada a inflación en los últimos años, lo que implica que medidas como el BEI están ampliamente disponibles y brindan información oportuna sobre las expectativas de inflación para diferentes rangos de tiempo. Diferentes agentes de la economía como bancos centrales y participantes en el mercado de renta fija tienen en cuenta esta medida ya que refleja la compensación de inflación al tener bonos nominales, que incluyen el nivel de inflación esperado y una prima para compensar los riesgos de inflación. Por ende, se estudiará el vínculo entre el BEI y variables macroeconómicas y financieras, proporcionando un marco para analizar cuestiones relacionadas con las expectativas de inflación.

En este documento se realiza el cálculo del BEI para el periodo comprendido entre julio de 2012 y julio de 2018, partiendo de los datos de rendimientos de TES indexados a la UVR y TES en pesos, y se plantea un modelo econométrico que incluye diferentes variables macroeconómicas y financieras que pueden tener un impacto sobre esta medida para diversos horizontes de tiempo.

Existen múltiples variables que pueden ayudar a los participantes del mercado a formar expectativas de inflación (y primas asociadas). Para determinar en qué medida el BEI está relacionado con choques relevantes a la economía, se evaluará el poder explicativo de diversos determinantes, buscando un modelo parsimonioso y se estudiará el impacto de las variables financieras sobre el BEI para Colombia. Así mismo, se realizará este análisis para diferentes vencimientos.

El documento se encuentra dividido en 6 secciones, dentro de las cuales se incluye la introducción. En la segunda sección se presenta una revisión teórica sobre el BEI. En la tercera se describe el marco teórico que fundamenta el documento. La cuarta contiene el modelo, la metodología y las variables explicativas tenidas en

cuenta. En la quinta se estudia la evidencia empírica y el análisis de los impulsos respuesta. Por último, se presentan las conclusiones y se realizan algunos comentarios finales.

2. Break Even Inflation (BEI)

Las expectativas de inflación desempeñan un papel fundamental en el análisis económico al ser determinantes para las decisiones de inversión y la formulación de la política monetaria. Para medir las expectativas de inflación, los investigadores, inversionistas y formuladores de política se han beneficiado en los últimos años de la emisión de bonos indexados a la inflación en los principales mercados de bonos. Los bonos soberanos cuyos pagos de cupones y principal están protegidos contra la inflación son ahora un instrumento de inversión estándar en los mercados financieros modernos. La diferencia entre el rendimiento nominal de una inversión tasa fija y el rendimiento real de una inversión indexado a la inflación, con un vencimiento y calidad crediticia similar, se denomina Break Even Inflation (BEI). Para el caso aplicado a Colombia, será la diferencia entre los TES tasa fija en pesos y los TES indexados a la UVR.

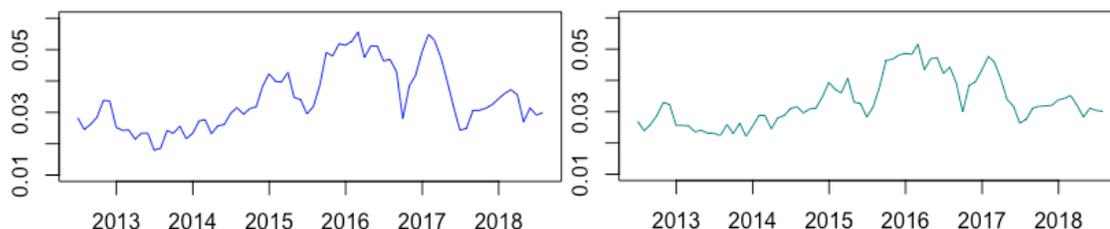
Melo y Moreno (2010), en su paper sobre la actualización de la descomposición del BEI cuando se dispone de nueva información, señalan que dicha medida se basa en la información del mercado que refleja, en parte, la inflación promedio esperada durante el periodo de maduración de los títulos de deuda. En otras palabras, refleja la compensación requerida para que los rendimientos de los dos tipos de bonos, nominales y reales, sean equivalentes para un vencimiento dado. Los autores lo definen como la diferencia entre los rendimientos de un bono nominal y uno real con el mismo plazo de maduración, es decir:

$$BEI_t^n = y_t^{nom,n} - y_t^{real,n} \quad (1)$$

Donde $y_t^{nom,n}$ y $y_t^{real,n}$ son los rendimientos de un bono en términos nominales y reales en t con n meses de maduración, respectivamente. Es importante aclarar que en el documento, la tasa nominal se refiere a los TES tasa fija en pesos y la tasa real a los TES indexados a la UVR.

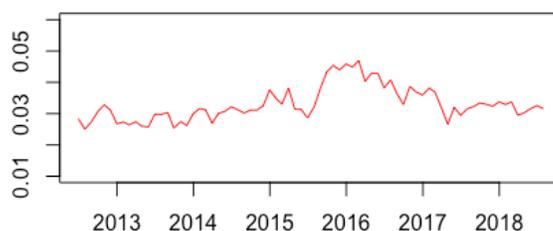
De forma general, autores como Melo Velandia y Granados Castro (2012), Melo Velandia y Moreno Gutiérrez (2011) y Ríos y Girón (2013) han abarcado modelos para descomponer el BEI en prima de riesgo inflacionario y expectativas de inflación. Otros han tenido en cuenta la liquidez de los títulos, donde los bonos de deuda pública del Gobierno colombiano denominados en UVR, en general, son significativamente menos líquidos que los bonos denominados en pesos. Lo anterior lo plantean Espinoza, Melo y Moreno (2017), quienes estiman y descomponen el BEI en tres componentes: expectativas de inflación, prima de riesgo y prima de liquidez, concluyendo que el componente de liquidez es muy pequeño en la mayoría de los periodos analizados y sólo tiene efectos considerables durante el primer semestre de 2006, fecha que no es incluida en el documento.

A continuación se muestran las gráficas para los tres horizontes de tiempo a analizar: BEI a 1, 2 y 4 años.



Gráfica 1: BEI a 1 año

Gráfica 2: BEI a 2 años



Gráfica 3: BEI a 4 años

Las anteriores gráficas notan un comportamiento similar con picos y valles presentados en los mismos meses para los tres horizontes de tiempo pero una menor volatilidad a medida que el vencimiento se hace mayor, teniendo en cuenta que el BEI se puede descomponer en expectativas de inflación promedio para un horizonte temporal, prima por riesgo inflacionario y el ajuste por convexidad. Adicionalmente, las tres gráficas muestran una convergencia al 3% para el mes de junio de 2018, que coinciden con la meta de inflación del Banco de La República.

3. Marco Teórico

El seguimiento e implementación de la política monetaria se ha convertido para los bancos centrales una de las principales tareas para asegurar la estabilidad de precios y mantener un crecimiento económico alto y sostenido que genere empleo y mejore el nivel de vida de la población. Para el caso colombiano, la política monetaria se rige por un esquema de inflación objetivo, cuyo propósito es mantener una tasa de inflación baja y estable, y alcanzar un crecimiento del producto acorde con la capacidad potencial de la economía (Banco de La República).

Es por esto que bancos centrales están permanentemente construyendo modelos económicos donde incluyen mecanismos de formación de expectativas con el fin de obtener pronósticos en la inflación y, basados en estos, formular su política monetaria (Huertas et al.,2015). Tal como lo señalan Espinosa, Melo y Moreno en su documento “La formación de expectativas de inflación en Colombia”, anclar las expectativas es fundamental para disminuir costos asociados a la tarea de controlar y reducir la inflación, y así facilitar la conducción de la política monetaria.

Los pronósticos de inflación han sido estudiados por autores reconocidos internacionalmente que se basan en las teorías económicas clásicas. Si recordamos los cursos de macroeconomía donde Mankiw expresa que el paro y la inflación varían en sentido contrario gracias a la curva de Phillips, se tendría una primera aproximación. Sin embargo, otros autores han tomado como punto de partida esta teoría para iniciar estudios más específicos. Stock y Watson, en su documento “Forecasting inflation”, señalan que los pronósticos producidos por la curva de Phillips han sido más precisos que los pronósticos basados en otras variables macroeconómicas, incluidas las tasas de interés, el dinero y los precios de los productos básicos. Sin embargo, estos pronósticos pueden mejorarse utilizando una curva de Phillips generalizada basada en medidas de actividad agregada distinta del desempleo, por medio de un nuevo índice de actividad agregada basado en 168 indicadores económicos.

La formación en las expectativas es un tema ampliamente debatido en la literatura y sus resultados son variantes de acuerdo a la economía estudiada. Mientras que para unas economías las expectativas se forman de manera racional, para otras

de forma adaptativa o mediante una combinación de las dos. Para Colombia, Huertas, González y Ruiz encontraron que una combinación de un componente racional y uno adaptativo explica mejor, en términos de ajuste, la formación de las expectativas de inflación.

Ahora bien, para su medición, se encuentran dos grupos de medidas de expectativas de inflación: expectativas directas, las cuales se deducen a partir de encuestas, y expectativas indirectas, calculadas a partir del rendimiento de títulos nominales y reales de los gobiernos centrales. Sin embargo, el primer grupo tiene una gran limitante al realizarse sobre un conjunto reducido de agentes y para ciertos horizontes de tiempo específicos (por ejemplo expectativas de inflación del IPC total a un mes, a fin del año o a doce meses), y presenta mayores costos con respecto al diseño, recolección y análisis de datos. Por lo anterior, la elección del BEI como medida en este documento se sustenta en dos razones: es la fuente de información más oportuna sobre las expectativas de inflación al estar disponible en tiempo real cada día de negociación, y permite obtener expectativas de inflación en diversos horizontes de tiempo.

Como se mencionó anteriormente, la medida Break Even Inflation resulta de la diferencia entre el rendimiento nominal de una inversión tasa fija y el rendimiento real de una inversión indexado a la inflación, con un vencimiento y calidad crediticia similar. De esta forma, el análisis se traslada a estudiar las curvas de rendimientos.

La curva de rendimientos describe el comportamiento del Break Even Inflation debido a que se puede especificar el mercado secundario de los bonos a través de una curva de rendimientos, la cual muestra la relación entre la tasa de retorno de un bono de la misma calidad crediticia en diferentes plazos de maduración para momentos diferentes de tiempo, siendo un referente para los agentes financieros ya que sirven para la valoración de los activos en el mercado y muestran las expectativas que tienen sobre las tasas de interés futuras en la economía. Como lo menciona Arosemena y Arango (2002), la pendiente de la curva de rendimientos está determinada por diferentes características y fuerzas económicas, donde las primeras explicaciones surgen gracias a la teoría de las expectativas Fisher (1896) y la teoría de la segmentación del mercado (Cultberson, 1957).

Igualmente, Evans y Marshall (2007), realizan un estudio sobre los determinantes económicos de la curva nominal del tesoro para la economía norteamericana, sustentando que choques macroeconómicos representan la mayor parte de la variabilidad de los rendimientos nominales, lo que induce cambios paralelos en el nivel de la curva de rendimientos. En dichos choques, los autores incluyen choques tecnológicos, choque en la tasa marginal de sustitución y choques fiscales, llegando a la conclusión que los impulsos macro afectan de manera conjunta las tasas de interés y la economía.

Para el caso de Colombia, Melo y Castro (2010) estudian la relación entre variables macro y la curva de rendimientos, donde estiman un modelo que relaciona el nivel, la pendiente y la curvatura de la curva de rendimientos cero cupón con la tasa interbancaria, la inflación, la brecha del producto y el índice de mercados emergentes. Los autores llegan a la conclusión de que existe una relación bidireccional entre los factores de la estructura a término y las variables macroeconómicas, pero la relación de las variables macro a la curva de rendimientos es más fuerte que en el sentido contrario.

Para determinar en qué medida el BEI (y por lo tanto las expectativas de inflación y las primas de riesgo asociadas) pueden estar relacionadas con el precio, los costos, el desarrollo real, monetario o financiero o una combinación de estas, se evaluará el poder explicativo de un conjunto de posibles determinantes de la inflación.

Siguiendo a Ciccarelli y Angel García (2009) se procederá a plantear un grupo de variables que pueden explicar el BEI, el cual comprende indicadores reales, nominales, monetarios y de encuestas. Para capturar los efectos de las condiciones del mercado financiero se incluyeron variables financieras adicionales.

4. Modelo y metodología

Cooper y Wood (1982) presentaron una extensión a los modelos AR donde describen un modelo con múltiples inputs y outputs. Esta clase de modelos son básicamente un modelo AR con variables exógenas, es decir, además de incorporar com-

ponentes autorregresivos, se incorporan variables externas en forma de regresores. Dichas variables son “externas” en el sentido de la información que contienen, ya que provienen de una fuente distinta a la serie de tiempo que se desea pronosticar. Estos modelos resultantes se denominan modelos $ARX(p, s)$, donde p es el número de rezagos de la parte autorregresiva y s el número de rezagos de las variables regresoras externas.

En las últimas décadas, los modelos ARX han tomado mayor relevancia al ser implementados por múltiples autores en diferentes campos. En la industria química, Rivera y Gaikwad (1995) hacen uso de estos modelos para evaluar los requisitos de modelado de los problemas de control lineal SISO (Single Input Single Output) y MIMO (Multiple Input Multiple Output). En agricultura y ciencias biológicas, Fravolini, Ficola y La Cava proponen un modelo utilizando redes neuronales y modelos ARX para determinar los puntos de ajuste óptimos para el proceso de fermentación en una planta industrial. En medicina, Liu, Birch y Allen estudiaron la respuesta de la velocidad de la sangre arterial cerebral media ante cambios espontáneos y manipulados de la presión arterial. Por último, en el campo de energía, Yoshida y Kumar presentan una técnica de detección de fallas y herramientas disponibles para la conservación de energía en edificios basada en un modelo exógeno autoregresivo.

Para realizar el análisis para Colombia, se construirá un modelo ARX, donde el modelo considerado es de la forma:

$$Y_t^n = \delta + \phi_1 Y_{t-1}^n + \dots + \phi_p Y_{t-p}^n + \epsilon_t + \sum_{j=1}^s \beta_j^1 X_{1,t-j} + \dots + \sum_{j=1}^s \beta_j^m X_{m,t-j} \quad (2)$$

Donde,

$Y_t^n = BEI_t^n$ es el rendimiento de los títulos con vencimientos $t = 1, \dots, n$;

$\delta, \phi_1, \dots, \phi_p, \beta_j^1, \dots, \beta_j^m$ son los parámetros del modelo;

$X_{1,t-j}, \dots, X_{m,t-j}$ son las variables exógenas;

ϵ_t es el término de error, asumiendo que es ruido blanco Gaussiano.

Procedimiento de estimación.

Para el desarrollo del documento, nos basaremos en la metodología Box-Jenkins, donde se incluirán cuatro etapas a desarrollar descritas a continuación:

1. Identificación del modelo.
 - a) Transformaciones: Estabilización de varianza.
 - b) Análisis de raíz unitaria: Pruebas Dickey-Fuller (1979) y Zivot & Andrews (1992).
 - c) Determinar el modelo ARX para la serie estacionaria, es decir, el orden p de la estructura autorregresiva y s variables regresoras externas.
2. Estimación del modelo.
 - a) Los parámetros AR del modelo se estimarán por mínimos cuadrados ordinarios (MCO).
 - b) Obtención de errores estándar (Newey-West, 1987) y residuos del modelo.
3. Diagnóstico.
 - a) El error debe ser ruido blanco.
 - b) Verificar estacionariedad de la serie: raíces del polinomio AR por fuera del círculo unitario.
 - c) Pruebas de estabilidad.
4. Análisis de Impulso Respuesta.

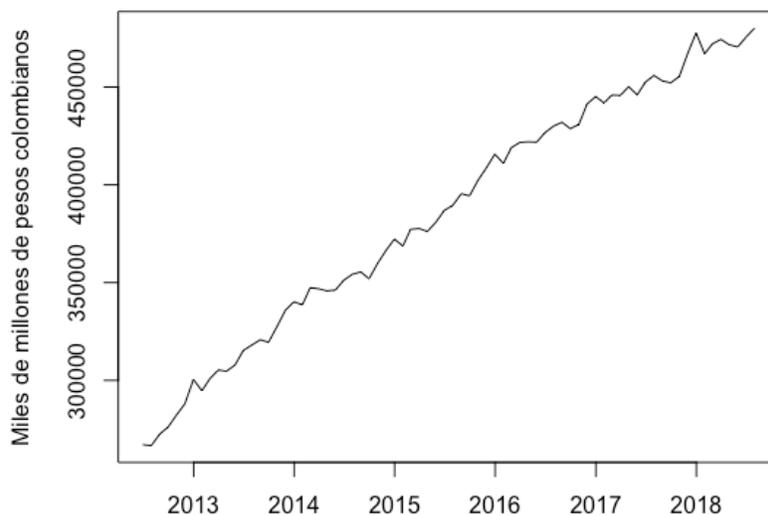
Variables.

La elección de las variables seleccionadas fue basada en el documento “What drives Euro area Break-Even Inflation rates?” del Banco Central Europeo. Los factores a tener en cuenta son los siguientes:

4.1. Factores monetarios

M3. Según el manual de sectorización monetaria y económica del Banco de La República, el agregado monetario corresponde al conjunto de pasivos, emitidos por un agente del sistema financiero que son demandados por alguno de los sectores de la economía que cumple alguna de las funciones de la demanda de dinero. Esto es, medio de cambio, unidad de cuenta y depósito de valor. Actualmente se establecen tres grupos de agregados, los cuales son: M1, que contiene las cuentas corrientes más el efectivo en poder del público; M2, el cual incluye a M1 más los cuasi-dineros (depósitos de ahorro y los certificados de depósito a término) y M3, el cual contiene los dos anteriores más otros pasivos sujetos a encaje no incluidos en M2 (repos con el sector real, depósitos fiduciarios, depósitos a la vista y bonos). Para nuestro análisis, incluiremos el agregado monetario M3 al incluir los dos anteriores.

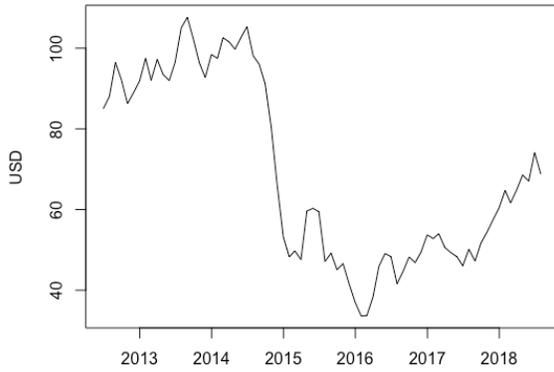
Gráfica 4: $M3 = M1 + M2 +$ otros pasivos sujetos a encaje no incluidos en M2



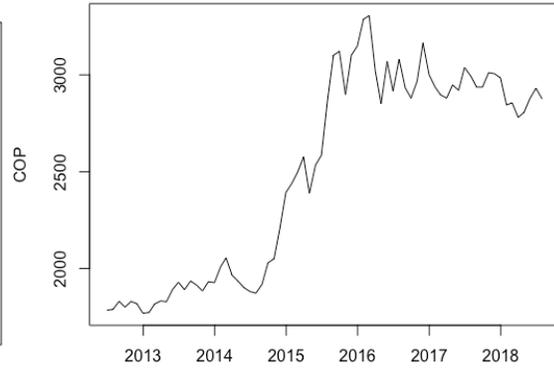
4.2. Precios de los commodities y tipo de cambio

Precios del petróleo y tasa de cambio representativa del mercado (TRM).

Estas dos variables serán de suma importancia para el modelo ya que están directamente relacionadas con los ingresos del país y por ende impacta el gasto público en bienes y servicios, generando presiones en las expectativas de inflación.



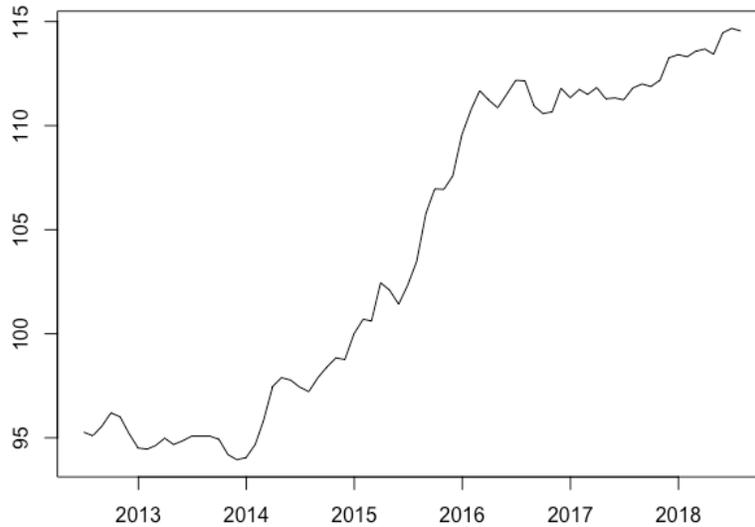
Gráfica 5: Precios del petróleo (WTI)



Gráfica 6: Tasa representativa del mercado (TRM)

4.3. Indicadores de costos

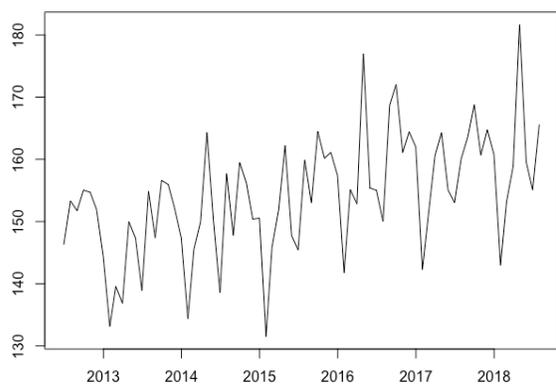
Índice de precios del productor (IPP). Los indicadores de costos resultan imprescindibles en un modelo de expectativas de inflación ya que detectan las variaciones de una canasta de bienes y servicios tanto de hogares como de diversos sectores de la economía. Se incluirá el IPP, el cual analiza la evolución de los precios de venta del productor, correspondientes al primer canal de comercialización o distribución de los bienes transados en la economía.



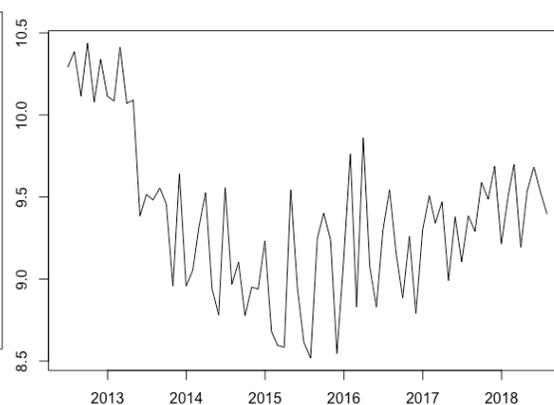
Gráfica 7: Índice de precios del productor (IPP)

4.4. Indicadores de actividad económica

Índice de producción industrial (IPI) y tasa de desempleo. Para incluir variables relacionadas con la actividad económica del país, se tendrán en cuenta tanto el índice de producción de la industria como la tasa de desempleo. Por medio del IPI, el DANE estima la evolución del sector industrial en el corto plazo a través de la variable de producción real a nivel nacional, incluyendo en la industria los sectores de minas y canteras, manufacturero, electricidad, gas y agua. Adicionalmente, la tasa de desempleo (o tasa de paro) es un indicador de evolución en el tiempo que refleja el nivel de desocupación en relación a las personas activas, es decir, la proporción de personas que, estando en edad de trabajar, se encuentran desocupadas.



Gráfica 8: Índice de producción industrial (IPI)

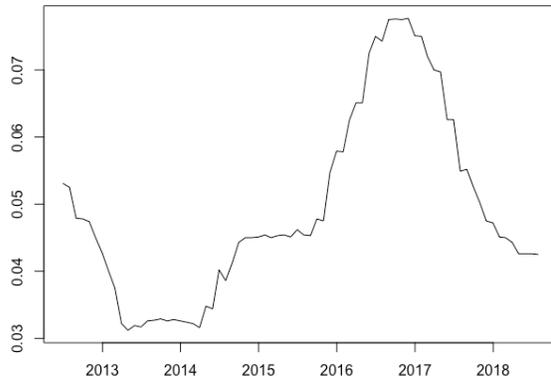


Gráfica 9: Tasa de Desempleo

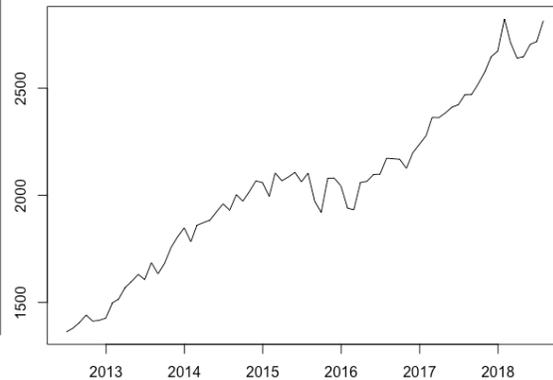
4.5. Variables financieras

Tasa interbancaria a un día (TIB), índice Standard Poor's 500 (S&P 500), índice de volatilidad VIX y bonos a 10 años de EE.UU. Para cerrar con las variables exógenas, se incluirá un último grupo de variables internas y externas que explican en gran medida el comportamiento de las expectativas de inflación e impactan la economía local. Entre ellas se encuentra la tasa de interés a la cual los intermediarios financieros se prestan fondos entre sí por un día (TIB), un índice bursátil que mide el desempeño y la situación del mercado accionario americano (S&P 500), el índice VIX que mide el pánico o miedo de los inversionistas en los mercados bursátiles y por último los activos de mejor calificación crediticia (sin

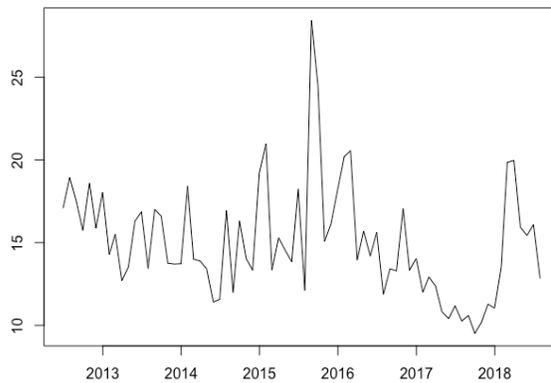
riesgo) en la renta fija, los bonos americanos a diez años.



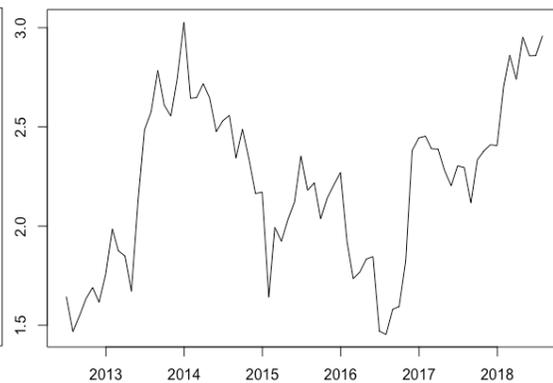
Gráfica 10: Tasa interbancaria (TIB)



Gráfica 11: S&P 500



Gráfica 12: VIX



Gráfica 13: Bonos a 10 años de EE.UU.

5. Evidencia Empírica

Al realizar el análisis gráfico de los datos, se notó que algunas de las series necesitan tratamiento y transformaciones para volverlas estacionarias. En primer lugar, se determinó la existencia de raíces unitarias en las series de tiempo con la ayuda de las pruebas Dickey-Fuller (1979) y Zivot y Andrews (1992).

Es importante recordar que la prueba Dickey-Fuller toma como hipótesis nula la existencia de raíz unitaria en la serie.

H_0 : La serie presenta raíz unitaria

H_1 : La serie no cuenta con raíz unitaria

En segunda instancia, Zivot y Andrews desarrollaron una prueba para la estimación de cambios estructurales, permitiendo la evaluación de la presencia de raíz unitaria contra la alternativa de un proceso estacionario con un cambio estructural.

Cuadro 1: Pruebas de Raíz Unitaria

Grupo	Variable	Prueba Raíz Unitaria	Estadístico	Valor Crítico (5% y 1%)
Series	BEI a 1 año	Dickey-Fuller	-2.32	-2.89, -3.51
	BEI a 2 años	Dickey-Fuller	-2.19	-2.89, -3.51
	BEI a 4 años	Dickey-Fuller	-2.30	-2.89, -3.51
Factores Monetarios	M3	Dickey-Fuller	-1.85	-2.89, -3.51
Commodities	WTI	Zivot y Andrews	-4.95	-4.80, -5.34
Tipo de Cambio	TRM	Zivot y Andrews	-3.72	-4.80, -5.34
Costos	IPP	Dickey-Fuller	-0.37	-2.89, -3.51
Actividad Económica	IPI	Dickey-Fuller	-4.32	-2.89, -3.51
	Desempleo	Dickey-Fuller	-3.19	-2.89, -3.51
Variables Financieras	TIB	Dickey-Fuller	-0.88	-2.89, -3.51
	S&P 500	Dickey-Fuller	-0.18	-2.89, -3.51
	VIX	Dickey-Fuller	-4.01	-2.89, -3.51
	Bonos 10 años	Dickey-Fuller	-1.96	-2.89, -3.51

Adicionalmente, se procedió a realizar las transformaciones pertinentes a las series que no eran estacionarias por medio de la estabilización de varianza y media para convertir las series observadas en estacionarias.

A continuación se resume cada uno de los tratamientos realizados a las variables que se incluirán en el modelo:

Cuadro 2: Resumen de transformaciones a variables exógenas

Grupo	Variable	Raíz Unitaria	Desestacionalizar	Varianza	Media	Fuente
Factores Monetarios	M3	X			X	BanRep
Commodities	WTI	X		X	X	Bloomberg
Tipo de Cambio	TRM	X		X	X	BanRep
Costos	IPP	X		X	X	BanRep
Actividad Económica	IPI		X			BanRep
	Desempleo	X	X			DANE
Variables Financieras	TIB	X			X	BanRep
	S&P 500	X		X	X	Bloomberg
	VIX				X	Bloomberg
	Bonos 10 años	X			X	Bloomberg

Para llevar a cabo la estimación de los parámetros del modelo previamente planteado, se utilizará el método de mínimos cuadrados ordinarios (MCO).

Por medio de la etapa de validación o comprobación de diagnóstico, se realizarán pruebas estadísticas con el fin de evaluar si los supuestos de los errores del modelo se cumplen satisfactoriamente. Es importante mencionar que los modelos previamente seleccionados son resultantes de tomar el menor criterio de información bayesiano (BIC).

Para realizar el análisis de los residuos, se realizaron las pruebas para comprobar que es ruido blanco. Es importante recordar que, una serie ϵ_t es ruido blanco si cumple:

$$E(\epsilon_t) \equiv 0$$

$$Var(\epsilon_t) \equiv \sigma^2$$

$$Cov(\epsilon_t, \epsilon_{t+k}) = 0$$

Además, se dice que ϵ_t es Ruido Blanco Gaussiano (RBG) si cumple que $\epsilon_t \sim N(0, \sigma^2)$.

Primero, se realizará la prueba Ljung-Box para determinar si existe o no autocorrelación en los residuales. Las hipótesis son las siguientes:

$$H_0 : \text{No existe autocorrelación en los residuales}$$

$$H_1 : \text{Existe autocorrelación en los residuales}$$

Los resultados se muestran a continuación:

Cuadro 3: Prueba de Ljung-Box

Modelo	P-Value
BEI a 1 año	0.4612
BEI a 2 años	0.4356
BEI a 4 años	0.7299

En segundo lugar, se realizará el test de Jarque-Bera con el fin de validar si los errores se distribuyen normal. Las hipótesis son las siguientes:

$$H_0 : \text{Los errores se encuentran distribuidos normalmente}$$

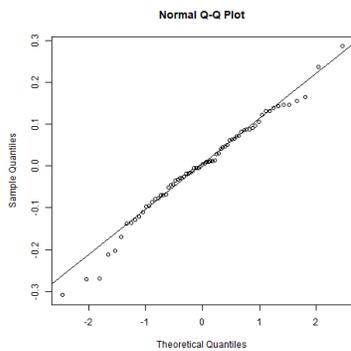
$$H_1 : \text{Los errores no se encuentran distribuidos normalmente}$$

Los resultados se muestran a continuación:

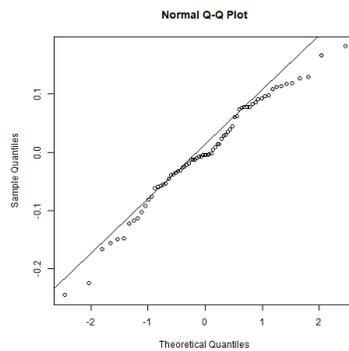
Cuadro 4: Prueba Jarque-Bera

Modelo	P-Value
BEI a 1 año	0.5348
BEI a 2 años	0.5527
BEI a 4 años	0.5810

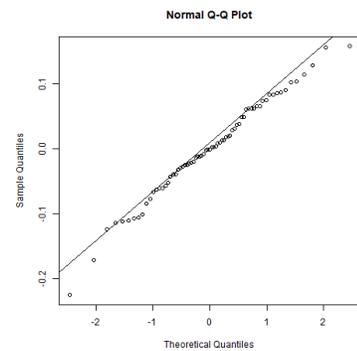
Por último, se muestran las gráficas de los residuales para corroborar la normalidad:



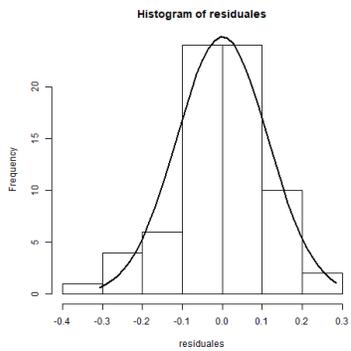
Gráfica 14: BEI a 1 año



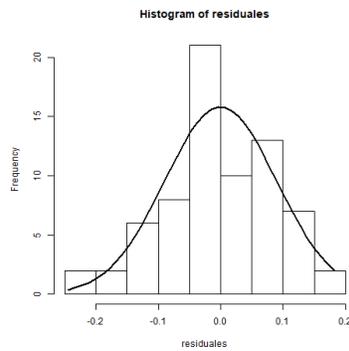
Gráfica 15: BEI a 2 años



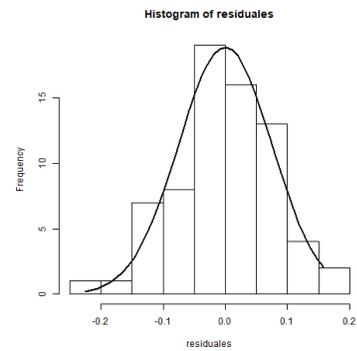
Gráfica 16: BEI a 4 años



Gráfica 17: BEI a 1 año



Gráfica 18: BEI a 2 años



Gráfica 19: BEI a 4 años

5.1. Impulso Respuesta

En el análisis econométrico de ecuaciones, es importante investigar el impacto marginal de los cambios en las variables exógenas, en nuestro caso, sobre el BEI. Por ejemplo, si las variables exógenas son instrumentos para el gobierno o un banco

central, las consecuencias de los cambios en estos instrumentos pueden ser interesantes, como conocer los efectos de un cambio en los factores monetarios sobre las expectativas de inflación. En ese caso, la simulación de políticas es de interés. En otros casos, las consecuencias de los cambios en las variables exógenas que no están bajo el control de cualquier tomador de decisiones pueden ser de interés. Dado lo anterior, se realizará el análisis de impulso respuesta (IR) de las variables exógenas y se estudiarán los efectos sobre el Break Even Inflation.

Partiendo del modelo descrito anteriormente, se tiene:

$$Y_t^n = \delta + \phi_1 Y_{t-1}^n + \dots + \phi_p Y_{t-p}^n + \epsilon_t + \sum_{j=1}^s \beta_j^1 X_{1,t-j} + \dots + \sum_{j=1}^s \beta_j^m X_{m,t-j}$$

$$Y_t^n - \phi_1 Y_{t-1}^n - \dots - \phi_p Y_{t-p}^n = \delta + \sum_{j=1}^s \beta_j^1 X_{1,t-j} + \dots + \sum_{j=1}^s \beta_j^m X_{m,t-j} + \epsilon_t$$

Dado el operador rezago $LY_t^n \equiv Y_{t-1}^n$, $LX_t^n \equiv X_{t-1}^n$, se tiene:

$$Y_t^n - \phi_1 LY_t^n - \dots - \phi_p L^p Y_t^n = \delta + \sum_{j=1}^s \beta_j^1 X_{1,t-j} + \dots + \sum_{j=1}^s \beta_j^m X_{m,t-j} + \epsilon_t$$

Factorizando:

$$(1 - \phi_1 L - \dots - \phi_p L^p) Y_t^n = \delta + (\beta_1^1 X_{1,t-1} + \dots + \beta_s^1 X_{1,t-s}) + \dots + (\beta_1^m X_{m,t-1} + \dots + \beta_s^m X_{m,t-s}) + \epsilon_t$$

$$(1 - \phi_1 L - \dots - \phi_p L^p) Y_t^n = \delta + (\beta_1^1 L + \dots + \beta_s^1 L^s) X_{1,t} + \dots + (\beta_1^m L + \dots + \beta_s^m L^s) X_{m,t} + \epsilon_t$$

Notando $(1 - \phi_1 L - \dots - \phi_p L^p)$ como $\phi_p(L)$, se tiene:

$$\phi_p(L)Y_t^n = \delta + (\beta_1^1 L + \dots + \beta_s^1 L^s)X_{1,t} + \dots + (\beta_1^m L + \dots + \beta_s^m L^s)X_{m,t} + \epsilon_t$$

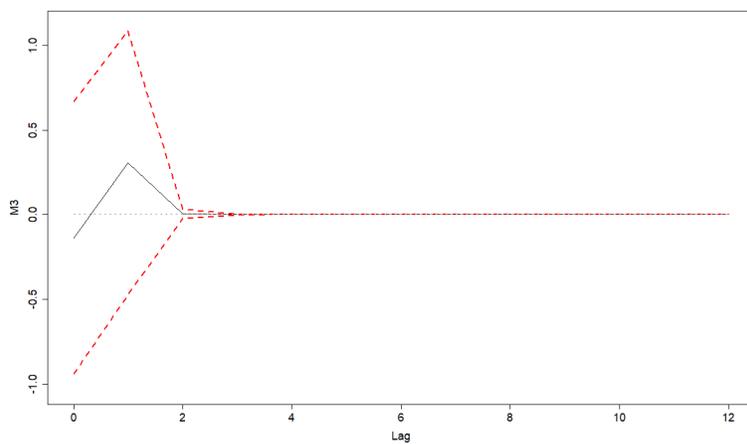
$$Y_t^n = \frac{\delta}{\phi_p(1)} + \frac{(\beta_1^1 L + \dots + \beta_s^1 L^s)X_{1,t}}{\phi_p(L)} + \dots + \frac{(\beta_1^m L + \dots + \beta_s^m L^s)X_{m,t}}{\phi_p(L)} + \frac{\epsilon_t}{\phi_p(L)}$$

El impulso respuesta a choques en las variables exógenas, el cual se procederá a calcular, se define como:

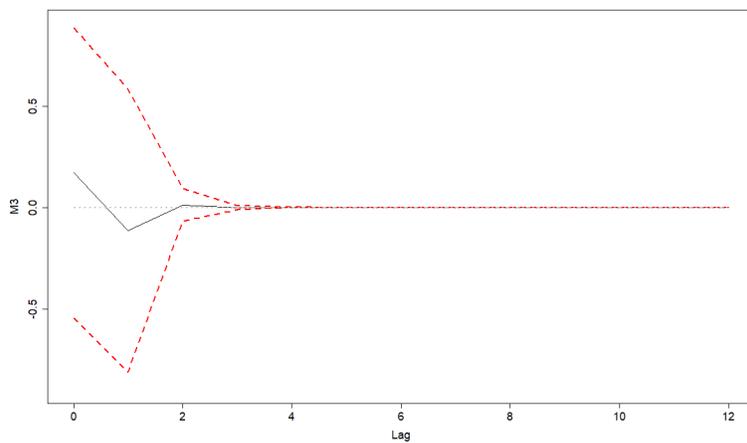
$$\frac{(\beta_1^1 L + \dots + \beta_s^1 L^s)}{\phi_p(L)}$$

Finalmente, el estimador de la varianza de los anteriores estimadores se encuentra descrita en Lütkepohl (2005).

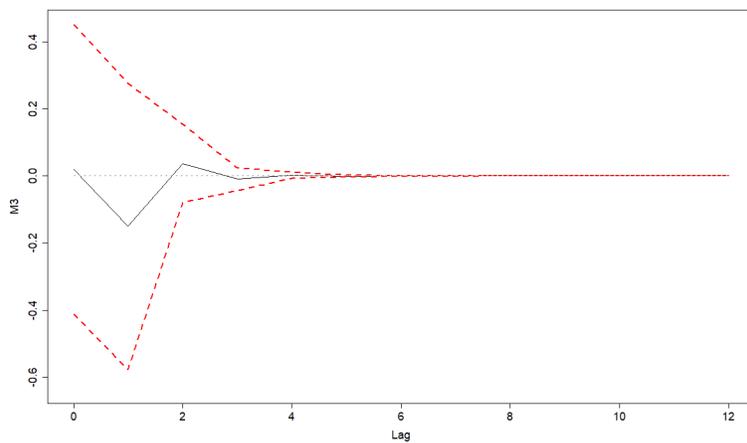
Impulsos Respuesta de M3 sobre el BEI.



IR sobre BEI a 1 año

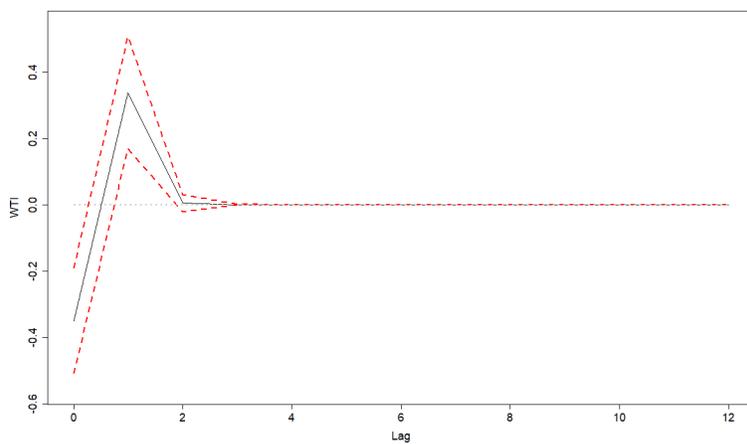


IR sobre BEI a 2 años

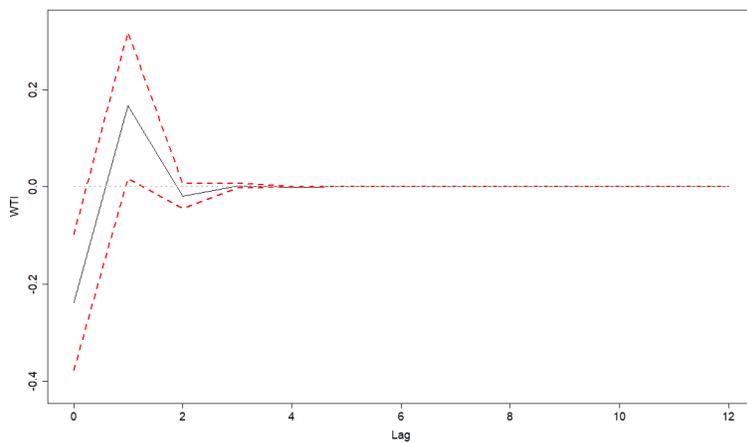


IR sobre BEI a 4 años

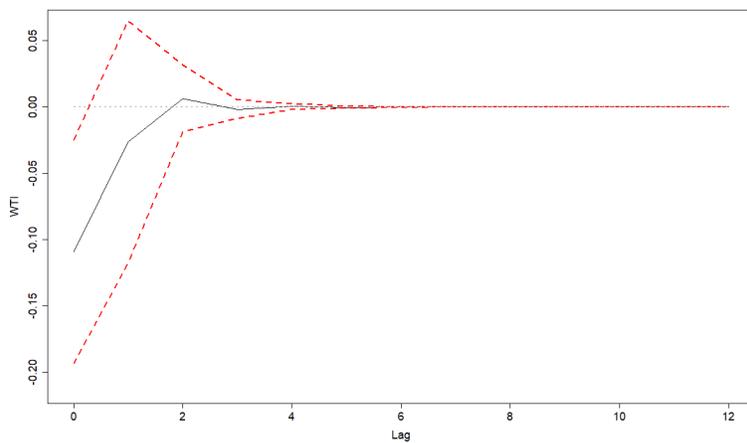
Impulsos Respuesta de WTI sobre el BEI.



IR sobre BEI a 1 año

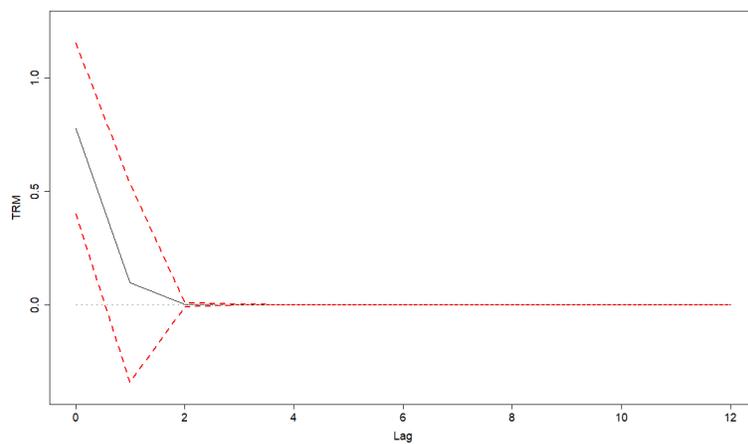


IR sobre BEI a 2 años

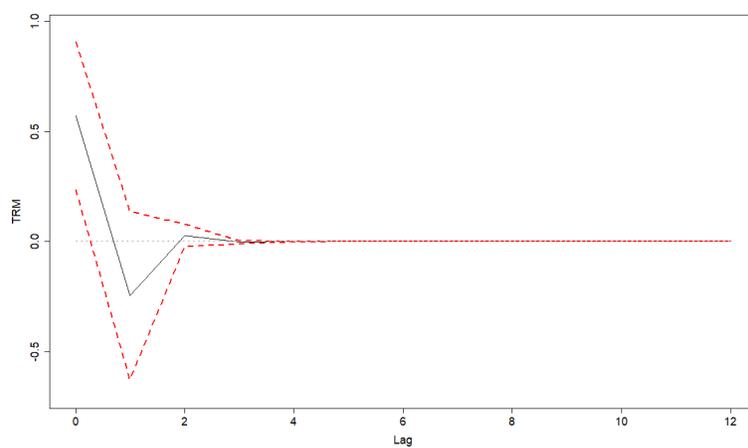


IR sobre BEI a 4 años

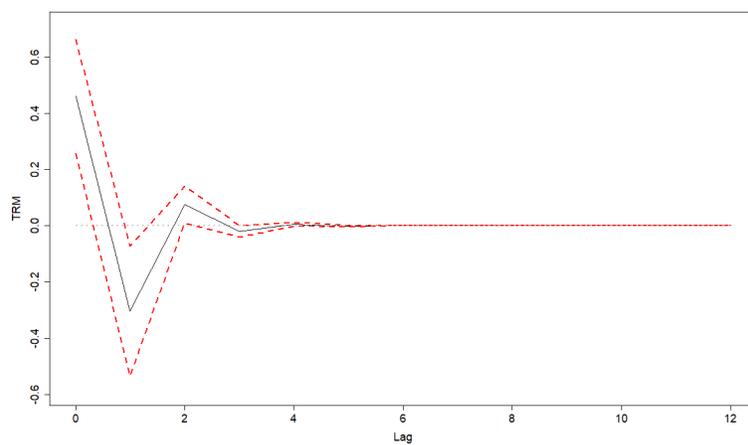
Impulsos Respuesta de TRM sobre el BEI.



IR sobre BEI a 1 año

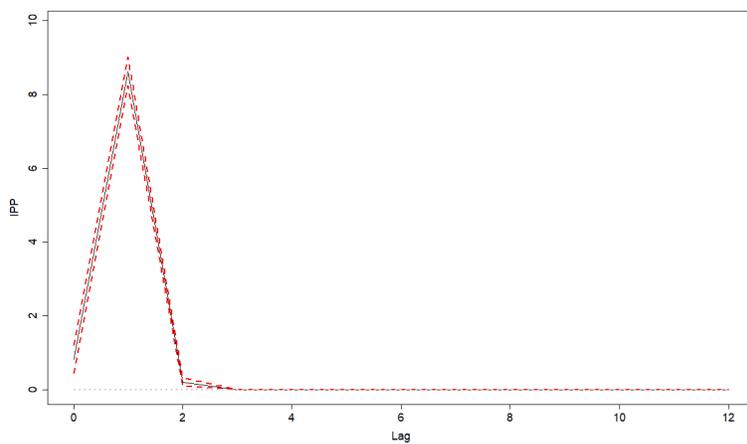


IR sobre BEI a 2 años

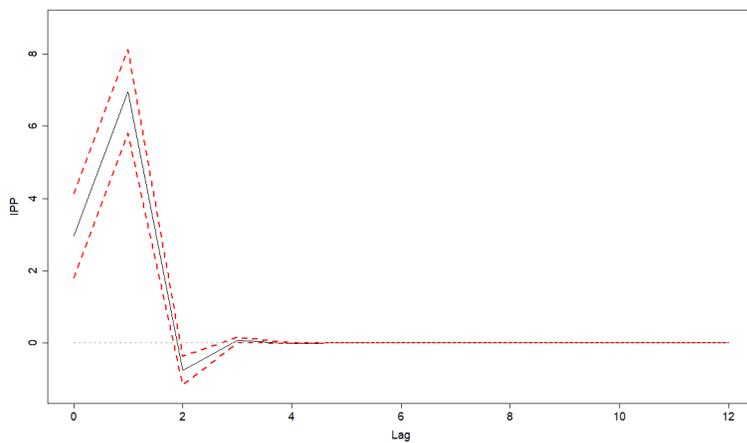


IR sobre BEI a 4 años

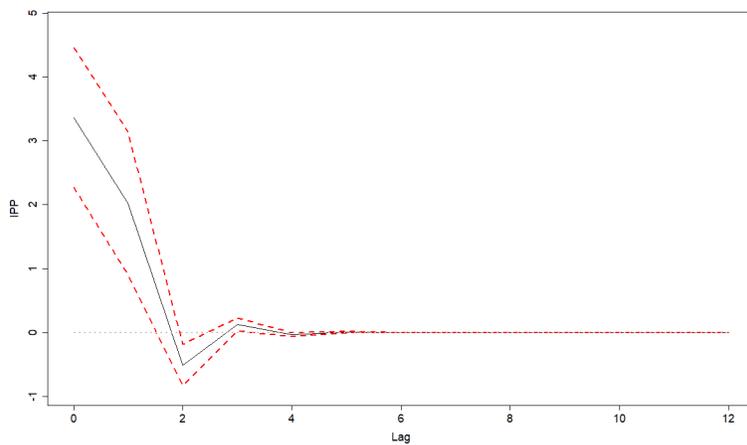
Impulsos Respuesta de IPP sobre el BEI.



IR sobre BEI a 1 año

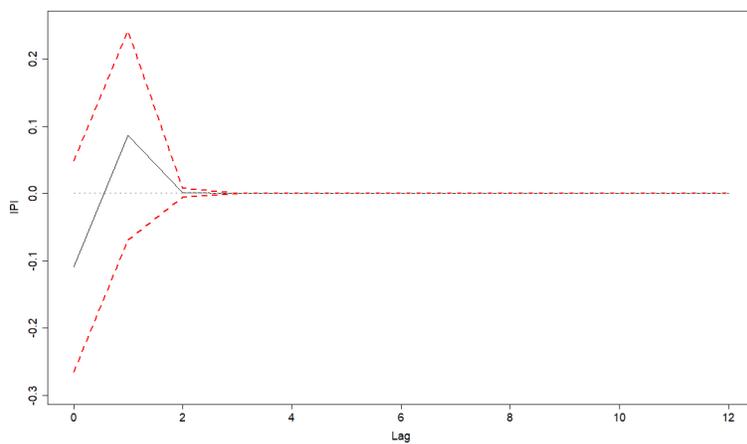


IR sobre BEI a 2 años

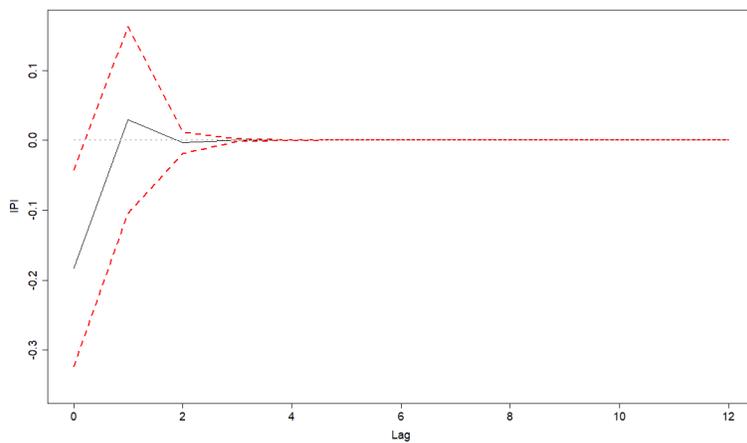


IR sobre BEI a 4 años

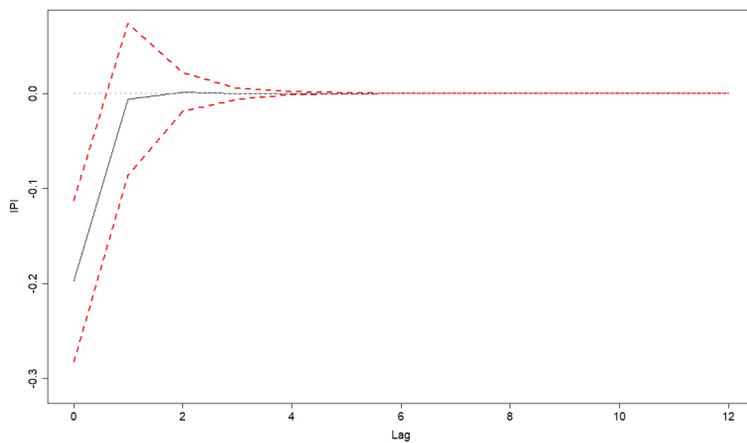
Impulsos Respuesta de IPI sobre el BEI.



IR sobre BEI a 1 año

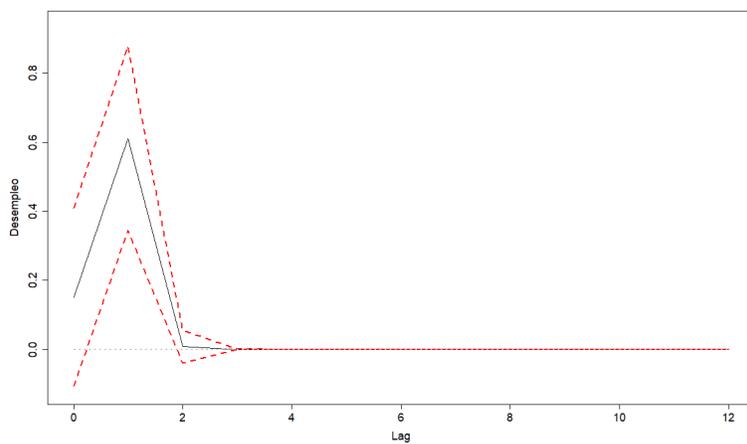


IR sobre BEI a 2 años

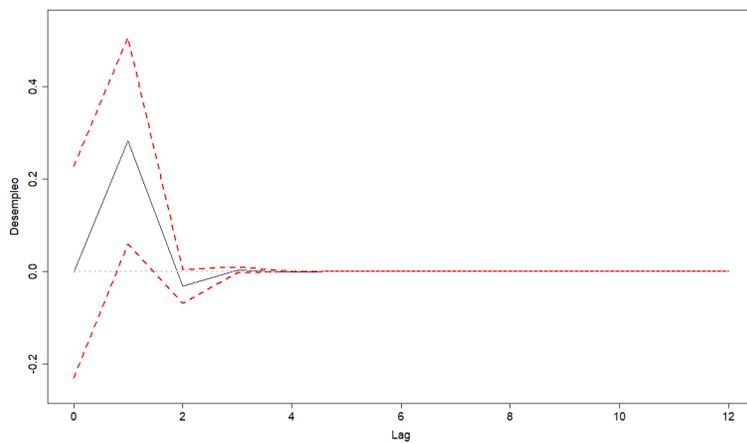


IR sobre BEI a 4 años

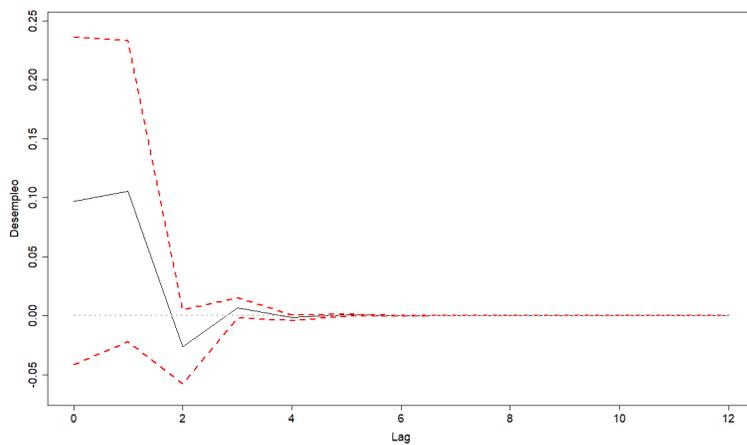
Impulsos Respuesta de la Tasa de Desempleo sobre el BEI.



IR sobre BEI a 1 año

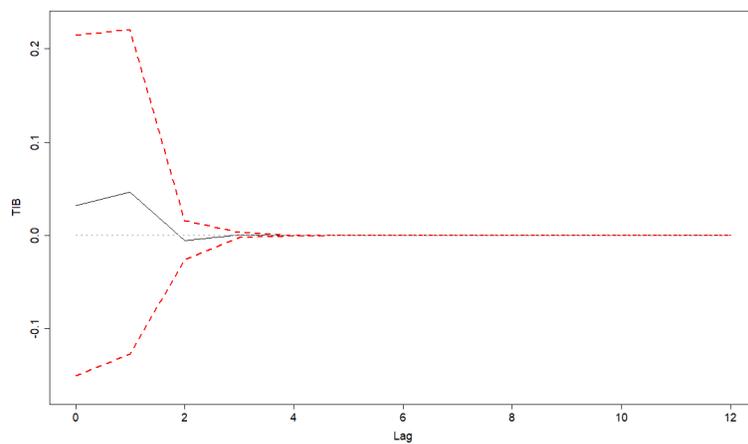


IR sobre BEI a 2 años

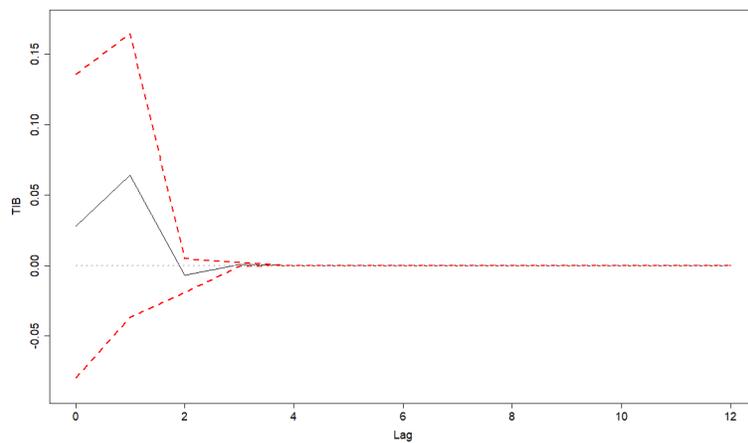


IR sobre BEI a 4 años

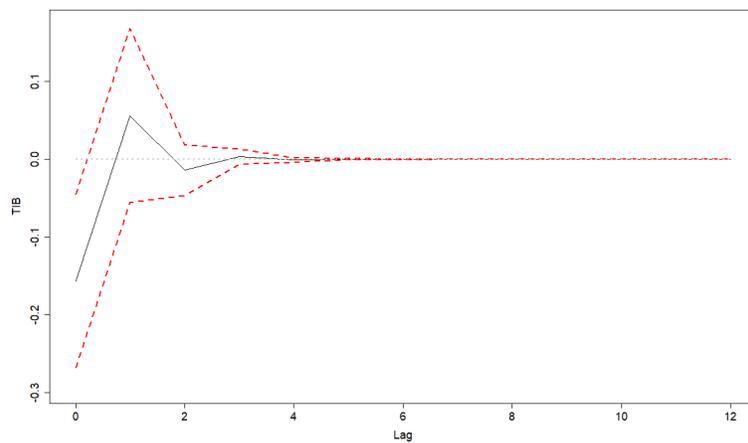
Impulsos Respuesta de TIB sobre el BEI.



IR sobre BEI a 1 año

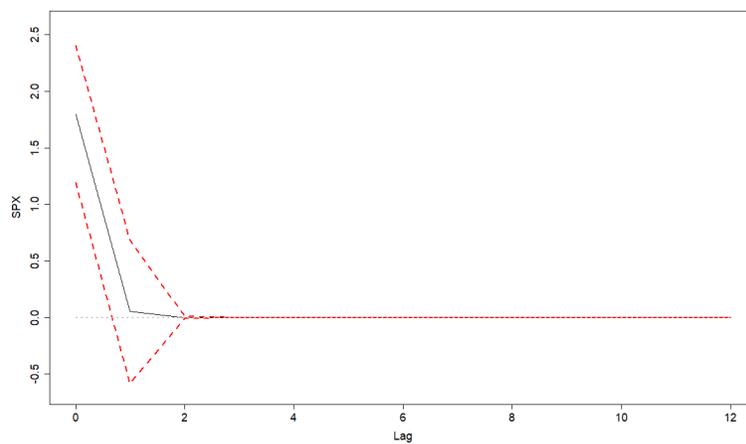


IR sobre BEI a 2 años

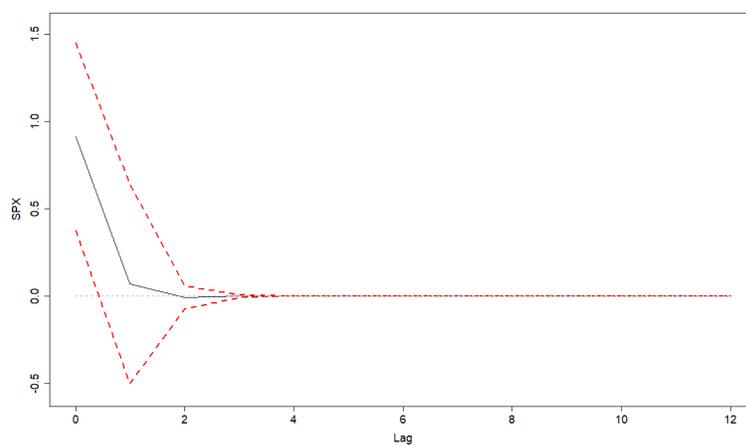


IR sobre BEI a 4 años

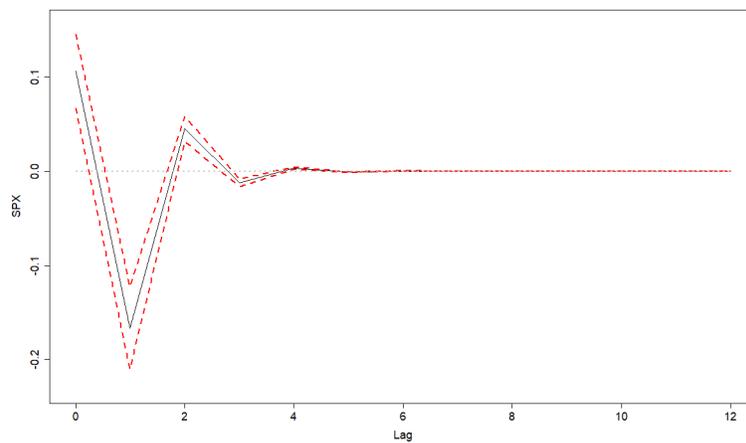
Impulsos Respuesta de S&P500 sobre el BEI.



IR sobre BEI a 1 año

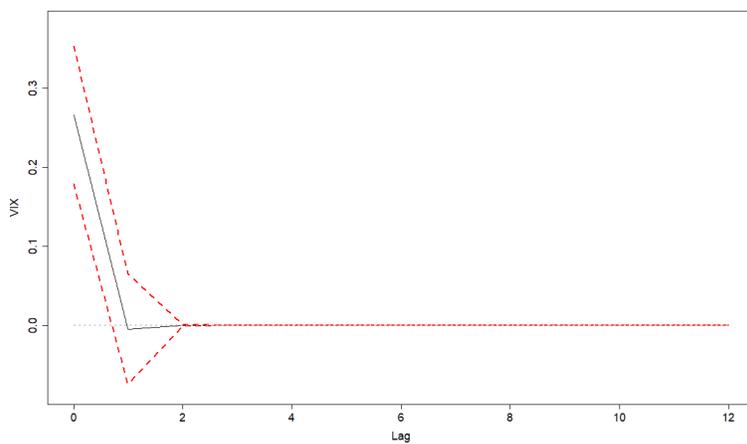


IR sobre BEI a 2 años

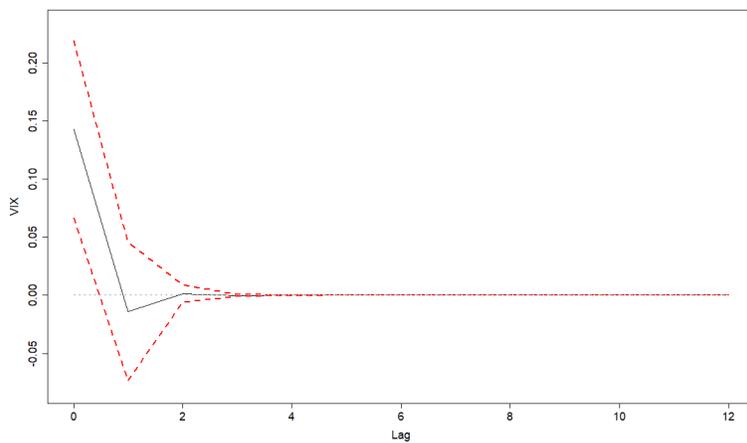


IR sobre BEI a 4 años

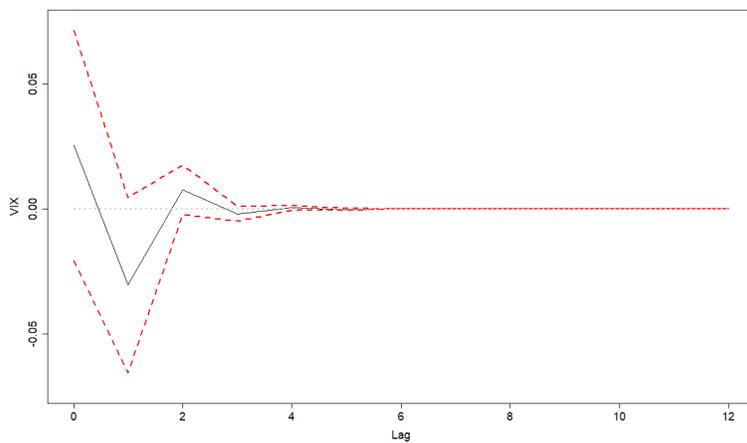
Impulsos Respuesta de VIX sobre el BEI.



IR sobre BEI a 1 año

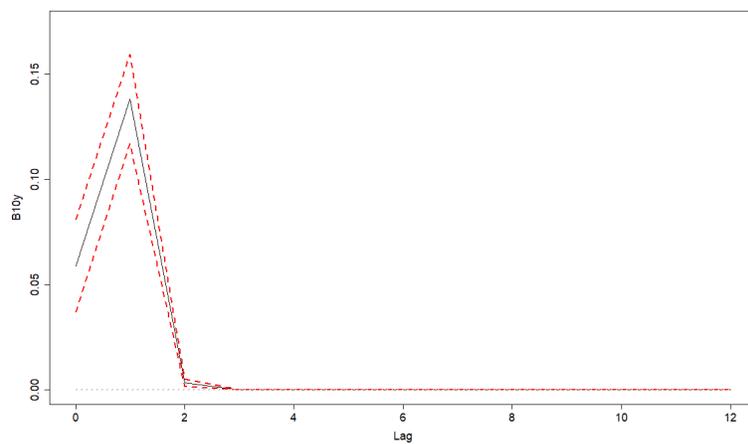


IR sobre BEI a 2 años

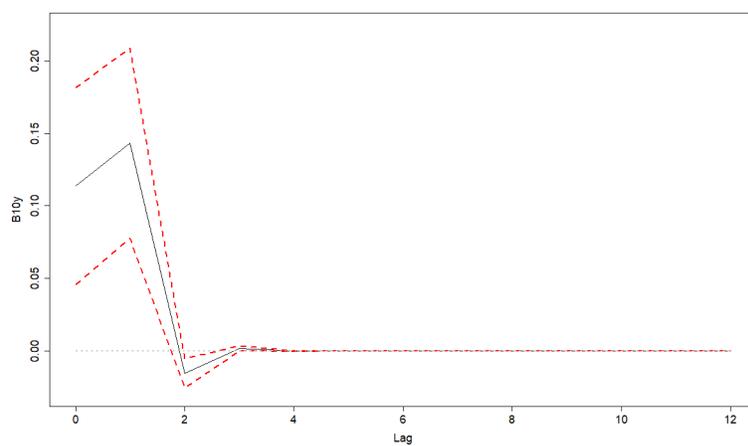


IR sobre BEI a 4 años

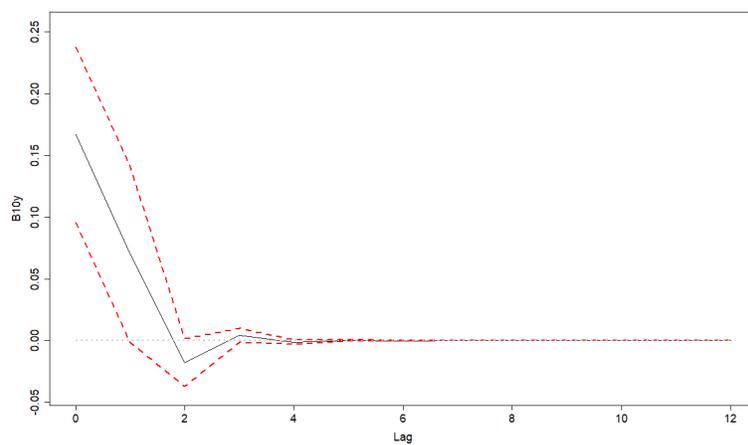
Impulsos Respuesta de los Bonos de 10 años de EE.UU. sobre el BEI.



IR sobre BEI a 1 año



IR sobre BEI a 2 años



IR sobre BEI a 4 años

6. Conclusiones y comentarios finales

Las expectativas de inflación son ampliamente estudiadas para los bancos centrales ya que ocupan un lugar importante a la hora del diseño de su política monetaria. Aunque en la literatura se encuentran medidas como encuestas realizadas a analistas del mercado financiero, existen otras calculadas a partir del rendimiento de títulos que tienen ventajas como mayor disponibilidad por negociación y son presentados para diversos horizontes de tiempo.

En el presente documento se estima un modelo *ARX* con el cual se desea estudiar el impacto de variables macroeconómicas y financieras sobre el Break Even Inflation, medida que resulta de la diferencia entre el rendimiento nominal tasa fija y el rendimiento real indexado a la inflación, con un vencimiento y calidad crediticia similar.

Luego de realizar la identificación, estimación y diagnóstico del modelo *ARX*, se procedió a calcular las gráficas que muestran el efecto de un choque en las variables exógenas sobre el BEI. Es interesante ver cada uno de los efectos de los choques realizados a las variables y comparar cada uno de estos en los diferentes horizontes de tiempo previamente planteados: 1, 2 y 4 años.

De acuerdo a los gráficos anteriores, se nota que los choques realizados a las variables estudiadas sobre el BEI tienen un impacto coherente en términos del horizonte de tiempo, donde un aumento de una desviación estándar en cada variable, impacta positivamente o negativamente el BEI. En términos de duración, se puede notar que la dilución del choque se da rápidamente a través del tiempo, como es lo esperado para el tipo de análisis. Sin embargo, al enfocarse en una misma variable y comparar el choque para los tres plazos (1, 2 y 4 años), se nota que el choque se diluye más rápido en el corto plazo y tiende a persistir por mayor tiempo cuando el horizonte es más amplio.

Los resultados obtenidos son coherentes con la intuición económica ya que reflejan el sentido lógico de la dirección en las expectativas de inflación cuando se choca otra variable en la economía.

Existen múltiples semejanzas entre los resultados obtenidos para Colombia y los de Ciccarelli y Angel García (2009) para Europa. Para ambas economías, la tasa de desempleo no es significativa, aunque para en el caso colombiano se cuenta con dos variables adicionales que no son significativas, M3 y el índice de producción industrial (IPI). Adicionalmente, se coincide con los autores en que choques sobre variables internacionales tienen fuertes impactos en las expectativas de inflación para las economías y más sobre expectativas de inflación de países emergentes como Colombia, donde un aumento en el VIX implicaría la posibilidad de una búsqueda de riesgos y de rentabilidad por parte de los inversionistas extranjeros, siendo los mercados emergentes los lugares más seguros de inversión y aumentaría el apetito por inversión, generando presiones inflacionarias y las expectativas de inflación. Finalmente, se coincide con el hecho de que el impacto de variables macro y financieras sobre el BEI guardan el mismo efecto a través del tiempo.

En cuanto a la duración del impacto, se puede determinar que en todas las variables estudiadas, la velocidad en la dilución del choque fue mayor para el BEI a 1 año (máximo dos meses), mientras que para los plazos de 2 y 4 años, la duración se prolongó hasta un mes más, teniendo sentido al tener un horizonte de tiempo más amplio.

Se puede concluir, al igual que Evans y Marshall (2007), que choques macroeconómicos y financieros generan efectos en las expectativas de inflación para Colombia.

Referencias

ARANGO, L. Y AROSEMENA, A. (2002): “Lecturas alternativas de la estructura a plazo: una breve revisión de la literatura”. Borradores de Economía, 223. Banco de la República.

BANCO DE LA REPÚBLICA (2013): Documento “Proceso de toma de decisiones de política monetaria, cambiaria y crediticia”. Política Monetaria: La estrategia de inflación objetivo en Colombia.

CICCARELLI, M. Y ANGEL GARCÍA, JUAN (2009): “What drives euro area Break-Even Inflation rates?” European Central Bank.

COOPER, D. M., Y WOOD, E. F. (1982): “Identifying multivariate time series models”. Journal of Time Series Analysis, 3(3), 153-164.

CULTBERSON J. (1957): “The term structure of interest rates”, Quarterly Journal of Economics Vol. 71, p. 485–517.

DICKEY, D., Y W. FULLER (1979): “Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root”. Journal of the American Statistical Association 74, 426–431.

ESPINOSA, J. A., MELO, L. F., Y MORENO, 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. Revista Desarrollo y Sociedad, (78), 315-365.

EVANS, C. L., Y D. A. MARSHALL (2007): “Economic Determinants of the Nominal Treasury Yield Curve,” Journal of Monetary Economics, 54(7), 1986–2000.

FISHER I. (1896): “Appreciation and interest”, AEA Publications 3(11), p. 331 – 442.

FRAVOLINI, M. L., FICOLA, A., LA CAVA, M. (2003): “Optimal operation

of the leavening process for a bread-making industrial plant”, *Journal of Food Engineering*, 60: 289-299.

HUERTAS, C., E. GONZALEZ, Y C. RUIZ (2015): “La formación de expectativas de inflación en Colombia,” *Borradores de Economía* 880, Banco de la República.

JONSSON, T., Y OSTERHOLM, P. (2012): “The properties of survey-based inflation expectations in Sweden”, *Empirical Economics*, Springer, vol. 42(1), páginas 79-94.

LIU, Y., BIRCH, A.A., ALLEN, R. (2003): “Dynamic cerebral autoregulation assessment using an ARX model: comparative study using step response and phase shift analysis”, *Medical Engineering Physics*, 25: 647-653.

LUTKEPOHL, H. (2005): “New Introduction to Multiple Time Series Analysis”, European University Institute.

MELO, L. F., Y G. A. CASTRO (2010): “Relación entre variables macro y la curva de rendimientos”, *Borradores de Economía* 605, Banco de La Republica.

MELO, L. F., Y J. F. MORENO (2010): “Actualización de la descomposición del BEI cuando se dispone de nueva información”, *Borradores de Economía* 620, Banco de La Republica.

MELO, L. F., Y J. C. GRANADOS (2010): “Expectativas y prima por riesgo inflacionario bajo una medida de compensación a la inflación”, *Borradores de Economía* 589, Banco de La República.

MELO, L. F., F. H. NIETO, Y M. RAMOS (2003): “A leading index for the colombian economic activity”, *Borradores de Economía* 243, Banco de La República.

NEWHEY, W. K., & WEST, K. D. (1987): “A simple, positive semi-definite, heteroskedasticity and autocorrelationconsistent covariance matrix”. *Econometrica* 55 (3): 703-708.

RÍOS, O. A., Y L. E. GIRÓN (2013): “Prima de riesgo por inflación calculada con el Break-Even Inflation y el modelo dinámico Nelson-Siegel,” Cuadernos de Administración, 29(49), 28–36.

RIVERA, D.E., GAIKWAD, S.V. (1995): “Systematic techniques for determining modeling requirements for SISO and MIMO feedback control problems”, J. Process Control, 5: 213-224.

STOCK, J.H., Y M W. WATSON (1999): “Forecasting inflation”, Journal of Monetary Economics, 44, p293-335.

YOSHIDA, H., KUMAR, S. (2001): “Development of ARX model based off-line FDD technique for energy efficient buildings”, Renewable Energy, 22: 53-59.

ZIVOT, E. Y ANDREWS W.K. (1992): “Further Evidence on the Great Cash, the Oil-Price Shock, and the Unit Root Hypothesis”, Journal of Business & Economic Statistics. Julio. Vol. 10 No. 3.