

*Andrés González  
Sergio Ocampo  
Julián Pérez  
Diego Rodríguez*

## Brecha del producto y medidas de la tasa de interés neutral para Colombia

### **Resumen**

*En este documento se proponen tres medidas nuevas de la brecha del producto y de la tasa de interés real. En vez de basarnos exclusivamente en los filtros estadísticos, las medidas propuestas usan modelos*

---

Facultad de Economía, Universidad de los Andes; Departamento de Economía, Universidad de Minnesota; Departamento de Inflación y Programación, Banco de la República, Colombia; y Departamento de Modelos Macroeconómicos, Banco de la República. Se presentó una versión anterior de este artículo como tesis de maestría en economía de la Pontificia Universidad Javeriana. Son muchos los que han contribuido para mejorar el contenido del presente artículo con sus sugerencias y debates; agradecemos especialmente a dos árbitros anónimos, a Hernando Vargas, Carlos Huertas, Adolfo Cobo, Andrés Giraldo, Christian Bustamante y Ángel Gutiérrez, y también a Ramón Hernández por su asistencia en la investigación. Sin duda, cualquier error remanente es responsabilidad exclusiva de los autores. Los resultados y opiniones expresados en este documento no comprometen en modo alguno al Banco de la República, a su Junta Directiva o al Banco Interamericano de Desarrollo. <a.gonzalez78@uniandes.edu.co>; <ocampo20@umn.edu>; <jperezam@banrep.gov.co>; <drodugu@banrep.gov.co>.

*neokeynesianos semiestructurales, adaptados para una economía pequeña y abierta. Las medidas de la brecha del producto presentadas están en concordancia con trabajos anteriores para Colombia y registran todos los puntos de inflexión del ciclo económico de Colombia, siguiendo las mediciones de Alfonso et al., 2011. También están muy relacionadas con la inflación y preceden su movimiento en toda la muestra. La tasa de interés neutral computada indica que la postura de política monetaria ha sido en general anticíclica, pero no ha logrado anticipar los movimientos de la brecha del producto, o al menos no ha reaccionado con suficiente contundencia ante ellos.*

*Palabras clave: brecha del producto, modelo neokeynesiano, tasa de interés neutral.*

*Clasificación JEL: E23, E32, E43.*

## **Abstract**

Three new measures of the Colombian output gap and the real neutral interest rate are proposed. Instead of relying only on statistical filters, the proposed measures use semi-structural New Keynesian models, adapted for a small open economy. The output gap measures presented are in line with previous works for Colombia and capture all the turning points of the Colombian business cycle, as measured by Alfonso et al., 2011. They are also strongly correlated with inflation and precede its movements along the sample. The neutral interest rate computed indicates that the monetary policy stance has been overall countercyclical, but has failed to anticipate the output gap's movements, or at least react strongly enough to them.

Keywords: output gap, New Keynesian model, neutral interest rate.

JEL Classification: E23, E32, E43.

## 1. INTRODUCCIÓN

El comportamiento de la política monetaria requiere de información sobre el estado actual de la economía y de una medida de la postura monetaria. Esta información es fundamental para los responsables de políticas públicas aunque por su naturaleza es inobservable, y por lo tanto está sujeta a una gran incertidumbre, lo cual implica la necesidad de metodologías capaces de abordar ambas necesidades (Taylor, 1999, y Woodford, 2003a). Este documento emplea modelos neokeynesianos semiestructurales para obtener dicha información para la economía colombiana en el periodo 1994-2011.

Se resume el estado de la economía en la brecha del producto, definida como la diferencia entre el producto observado y el potencial, este último entendido como el nivel de actividad económica en ausencia de presiones inflacionarias. Por lo tanto la brecha del producto es un indicador de las presiones inflacionarias y de la dinámica de demanda agregada.

La postura de política monetaria se mide por la diferencia entre la tasa de interés real y la tasa de interés neutral (Blinder, 1999), definida como un nivel de la tasa de interés en el cual la autoridad monetaria no ejerce influencia alguna sobre el comportamiento de la demanda agregada, en otras palabras: “Cualquier tasa de interés real mayor constituye *restricción de dinero*, lo cual a la postre implicará una inflación en descenso; y cualquier tasa real inferior es *dinero abundante* y es una señal de un eventual aumento de la inflación” (Blinder, 1999, pp. 33). Cabe señalar que la tasa neutral no es igual a la tasa natural, ya que esta última es “la tasa real de interés requerida para mantener una demanda agregada igual en todo momento a la tasa natural del producto” (Woodford, 2003a, pp. 248). La tasa natural se interpreta como un nivel deseable de la tasa de interés real, mientras que la tasa neutral sólo indica el efecto de la tasa de interés real sobre la brecha del producto.

La brecha del producto y la tasa de interés neutral deben inferirse a partir de la información macroeconómica disponible. Las técnicas para inferir la brecha del producto dependen del

uso de herramientas estadísticas tales como filtros, VAR, modelos de factores, entre otros, que permiten la descomposición del producto en su componente de tendencia (asociado con el producto potencial) y en su componente cíclico (asociado con la brecha del producto).<sup>1</sup> La tasa de interés neutral es más difícil de extraer porque su valor no está necesariamente relacionado con una tendencia o con un componente suave de la tasa de interés real; además, esta última variable es también inobservable, ya que depende de las expectativas de inflación de los agentes.

A fin de estimar conjuntamente las variables deseables, es necesario abordar las relaciones estructurales entre ellas y las otras variables como la tasa de inflación, así como las variables que afectan a una economía pequeña y abierta, como el tipo de cambio real, la tasa de interés en el exterior, etcétera. Debido a esto, expandimos un modelo estadístico, el modelo de tendencia local lineal, con un modelo nekeynesiano adaptado para una economía pequeña y abierta. Se consideran tres especificaciones alternativas del modelo, las cuales difieren en la manera en la cual se forman las expectativas. Esto se hace para presentar medidas diferentes de la brecha del producto y de la postura monetaria y al mismo tiempo para reconocer la falta de consenso en la bibliografía sobre la manera en la cual deberían moldearse las expectativas.<sup>2</sup> Cabe señalar que, si bien el uso de distintos modelos ayuda a dar cuenta de la variabilidad en la medición debido a la especificación del modelo, no hay intenciones de abordar (ni de resolver) la incertidumbre inherente del modelo a la cual está sujeta la medición de estas variables (Orphanides y Williams, 2002).

---

<sup>1</sup> La mayoría de estas técnicas implican resultados indeseados sobre las relaciones del componente permanente con el transitorio del producto, convirtiéndolos en completamente correlacionados u ortogonales, dependiendo del método (Canova, 2007, cap. 3).

<sup>2</sup> Por ejemplo Rudebusch y Svensson (1999) argumentan a favor del uso de expectativas retrospectivas, Woodford (2003b) a favor de las expectativas prospectivas y Galí y Gertler (1999) a favor de las expectativas híbridas.

En la primera especificación del modelo, se supone que al formar expectativas los agentes siguen reglas predeterminadas. Estas reglas son una función de los valores actuales y rezagados de la variable sobre la cual se forma la expectativa. De esta manera, el modelo tiene una representación directa del espacio de estados y la brecha del producto puede extraerse mediante el filtro de Kalman. En la segunda y tercera especificaciones, se supone que los agentes tienen expectativas racionales con respecto al futuro, tomando en cuenta toda la información disponible. A fin de extraer la brecha del producto, es necesario computar la solución para el equilibrio de las expectativas racionales de los modelos y así poder posteriormente formular la representación de espacio de estados.

El enfoque adoptado aquí es similar al de un trabajo anterior de Echavarría *et al.* (2007) y al de Berg *et al.* (2006), y busca complementar la bibliografía ya existente para Colombia, destacando los trabajos de González *et al.* (2011), Torres (2007), Rodríguez *et al.* (2006), Gómez y Julio (1998) y Cobo (2004), entre muchos otros. También está estrechamente ligado a distintos artículos que buscan estimar de manera conjunta la dinámica de la brecha del producto y de la tasa de interés natural. Es el caso de los trabajos de Laubach y Williams (2003), Garnier y Wilhelmsen (2009), Mesonnier y Renne (2007) y Castillo *et al.* (2006).

La sección 2 aborda la descripción de los modelos. Los mismos se estimaron con datos de Colombia y estos son descritos en las secciones 3 y 4. Posteriormente son empleados para extraer medidas de brecha del producto para Colombia; este tema se aborda en la sección 5. Finalmente, los resultados para los cálculos de la tasa de interés neutral se presentan en la sección 6.

## 2. MODELOS

Se emplean tres modelos para extraer información sobre la brecha del producto y la tasa de interés neutral para Colombia en el periodo 1994-2011. Todos los modelos se construyeron sobre

un modelo de tendencia lineal local, introduciendo la tasa de interés neutral, y una definición más elaborada de la brecha del producto, usando un modelo neokeynesiano semiestructural para una economía abierta y pequeña. Los modelos difieren en la manera en la cual se definen las expectativas. Uno de los modelos tiene expectativas retrospectivas, otro tiene expectativas prospectivas y en el último las expectativas se forman de manera híbrida, tomando en cuenta los valores retrospectivos y prospectivos de las variables.

La motivación para estos modelos es dual. En primer lugar, dan estructura económica a la brecha del producto e introducen la noción de una tasa de interés neutral, en contraste con el uso de un modelo puramente estadístico. Esto permite extraer información de otras series, además del PIB, al computar la brecha del producto e inferir la dinámica de la tasa neutral. La misma estrategia fue empleada por González *et al.* (2011) para computar una medida de la tasa de interés natural colombiana, mostrando las diferencias entre los modelos puramente estadísticos y los macroeconómicos. Segundo, como hay cierto grado de incertidumbre en torno a los mecanismos por los cuales los agentes forman sus expectativas inflacionarias, consideramos necesario presentar distintas medidas de la brecha del producto y de la tasa natural de interés usando distintos enfoques con respecto a las expectativas de los agentes, en línea con la bibliografía previa sobre los modelos neokeynesianos.

El resto de esta sección presenta las características principales de cada modelo; el apéndice A contiene el conjunto completo de ecuaciones.

## 2.1 Modelo de tendencia lineal local

Se usará el modelo lineal local como base para los modelos macroeconómicos más elaborados que se muestran a continuación. Es un modelo puramente estadístico que descompone el producto ( $y$ ) en un componente de tendencia con una deriva estocástica ( $\bar{y}_t$ ) y en la brecha del producto ( $\tilde{y}_t$ ).

La brecha del producto está dada por:

$$1 \quad \tilde{y}_t = y_t - \bar{y}_t.$$

Se supone que el componente de tendencia del producto sigue un paseo aleatorio con una deriva estocástica:

$$2 \quad \bar{y}_t = \bar{y}_{t-1} + g_t + \varepsilon_t^y.$$

La deriva ( $g_t$ ) es la tasa de crecimiento del componente de tendencia del producto y está dada por:

$$3 \quad g_t = (1 - \tau)\bar{g}_{ss} + \tau g_{t-1} + \varepsilon_t^g,$$

tanto  $\varepsilon_t^y$  como  $\varepsilon_t^g$  son perturbaciones gaussianas i.i.d. Las varianzas de choques ( $\sigma_y^2, \sigma_g^2$ ) y  $\tau$  son parámetros por estimar.

Cabe destacar que  $\varepsilon_t^y$  y  $\varepsilon_t^g$  representan los choques permanentes a nivel del producto potencial, ofreciendo una explicación para los movimientos en estas variables. Esta característica permite el uso de datos a nivel del PIB cuando se estima la brecha del producto. Sin embargo, el modelo lineal local no ofrece estructura económica para la brecha del producto, y no incluye a otras variables, también relevantes para la política monetaria. Debido a esto, este modelo se complementa con relaciones económicas estructurales tal como se describe en los modelos siguientes.

## 2.1 Modelo semiestructural retrospectivo

El modelo consiste en las ecuaciones 1, 2 y 3, una curva de IS, una curva de Phillips, una condición de paridad de intereses sin cobertura (PDI), y ecuaciones para la dinámica de la tasa de interés real y del tipo de cambio real.

La curva de IS está dada por:

$$4 \quad \tilde{y}_t = \beta_1 \tilde{y}_{t-1} - \beta_2 (r_{t-1} - \bar{r}_{t-1}) + \beta_3 \tilde{q}_{t-1} + z_t^y.$$

Según esta representación, la brecha del producto depende

de su valor pasado, de la brecha de la tasa de interés real (siendo  $\bar{r}_t$  la tasa neutral de interés), de la brecha del tipo de cambio real ( $\tilde{q}_t$ ) y de una variable exógena  $z_t^y$  que representa los efectos de los choques de demanda ( $\varepsilon_t^y$ ) en la curva de IS. Se supone que  $z_t^y$  sigue un proceso AR(1):

$$5 \quad z_t^y = \rho_y z_{t-1}^y + \varepsilon_t^y.$$

Cabe señalar que cuando la tasa de interés real  $r_t$  es igual a  $\bar{r}_t$  se cancela el término de la curva de IS que incluye a la tasa de interés; de este modo se elimina el efecto de la tasa de interés real sobre la brecha del producto. Es por esto que la variable  $\bar{r}_t$  se toma como la tasa de interés neutral.

La curva de Phillips para la tasa de inflación trimestral anualizada está dada por:

$$6 \quad \pi_t = \pi_{t+1|t}^e + \lambda_2 \tilde{y}_{t-1} + \lambda_3 (q_t - q_{t-1}) + z_t^\pi,$$

donde  $\pi_{t+1|t}^e$  denota el periodo de expectativas  $t$  sobre el periodo de inflación  $t+1$ ,  $q_t$  es el nivel real del tipo de cambio, y  $z_t^\pi$  es una variable exógena que representa los efectos de los choques de oferta ( $\varepsilon_t^\pi$ ) sobre la curva de Phillips. Como anteriormente, se supone que  $z_t^\pi$  sigue un proceso AR(1):

$$7 \quad z_t^\pi = \rho_\pi z_{t-1}^\pi + \varepsilon_t^\pi.$$

Las expectativas inflacionarias se definen como un promedio entre la meta de inflación ( $\bar{\pi}$ ) y la inflación anual rezagada ( $\pi_{4,t-1}$ ), esto es:

$$8 \quad \pi_{t+1|t}^e = \lambda_1 \bar{\pi} + (1 - \lambda_1) \pi_{4,t-1},$$

En cuanto a la inflación anual ( $\pi_{4,t}$ ), se desprende de la definición de  $\pi_t$  que:

$$9 \quad \pi_{4,t} = \frac{1}{4} (\pi_t + \pi_{t-1} + \pi_{t-2} + \pi_{t-3}),$$

donde  $\pi_t$  es el cambio de precios de un periodo a otro periodo.

El modelo se complementa con tres conjuntos de ecuaciones que caracterizan la dinámica de la tasa de interés real, la tasa de interés real externa y el tipo de cambio real.

La tasa de interés real debe satisfacer dos ecuaciones. La ecuación 10 de Fisher, y una condición de paridad sin cobertura de intereses 11:

$$10 \quad r_t = i_t - \pi_{t+1}^e,$$

$$11 \quad r_t - r_t^* = (\bar{r}_t - \bar{r}_t^*) + 4(q_{t+1}^e - q_t) + \varepsilon_t^r,$$

donde  $r_t^*$  es la tasa de interés real en el exterior,  $\bar{r}_t^*$  su valor neutral en un periodo  $t$ , y  $q_{t+1}^e$  es el valor esperado en un periodo siguiente del tipo de cambio real.  $\varepsilon_t^r$  es un choque que afecta la PDI.

Se supone que la tasa de interés neutral sigue un proceso AR(1); esto significa que es un factor exógeno para el modelo; sin embargo, su valor puede extraerse a partir del modelo, ya que la relación entre la tasa neutral y otras variables está definida por la curva de IS 4, y la condición PDI 11. Ya que todas las ecuaciones operan de manera simultánea en el equilibrio, el valor de la tasa neutral depende implícitamente de la tasa de interés externa, del tipo de cambio real y del estado general de la economía.<sup>3</sup>

$$12 \quad \bar{r}_t = \rho_r \bar{r}_{t-1} + (1 - \rho_r) \bar{r}_{ss} + \varepsilon_t^{\bar{r}}.$$

La brecha del tipo de cambio real se define entre su valor

---

<sup>3</sup> No se incluye explícitamente la relación entre la tasa de interés neutral y la tasa de crecimiento del producto potencial ( $g_t$ ) como lo hacen Laubach y Williams (2003), Mesonnier y Renne (2007) y Echavarría *et al.* (2007). Sin embargo, se realizó un ejercicio adicional modificando la definición de la tasa de interés neutral. La tasa de crecimiento del producto potencial recuperado fue muy estable e implicó pequeños cambios sobre la tasa neutral con respecto a los resultados presentados en la sección 5.

realizable y su valor de tendencia:

$$13 \quad \tilde{q}_t = q_t - \bar{q}_t,$$

se supone que su tendencia sigue un paseo aleatorio:

$$14 \quad \bar{q}_t = \bar{q}_{t-1} + \varepsilon_t^q$$

y se supone que el tipo de cambio real esperado será un promedio entre la tendencia y el valor rezagado del tipo de cambio:

$$15 \quad q_{t+1|t}^e = \varphi \bar{q}_t + (1 - \varphi) q_{t-1}.$$

Finalmente, la tasa de interés nominal responde a una regla de Taylor contemporánea<sup>4</sup> y el intercepto de la regla está dado por la tasa de interés neutral más la meta de inflación, siguiendo a Taylor (1993) y a Woodford (2003a), y se supone que la tasa de interés neutral externa y la brecha de la tasa de interés externa evolucionan exógenamente siguiendo los procesos AR(1):

$$16 \quad i_t = \gamma_1 i_{t-1} + (1 - \gamma_1) \left( (\bar{r}_t + \bar{\pi}) + \gamma_2 (\pi_{4,t} - \bar{\pi}) + \gamma_3 \tilde{y}_t \right) + \varepsilon_t^i,$$

$$17 \quad \bar{r}_t^* = \rho_{r^*} \bar{r}_{t-1}^* + (1 - \rho_{r^*}) \bar{r}_{ss}^* + \varepsilon_t^{r^*},$$

$$18 \quad r_t^* - \bar{r}_t^* = \kappa (r_{t-1}^* - \bar{r}_{t-1}^*) + \varepsilon_t^{r^*}.$$

Todas las variables  $\varepsilon^j$ , con  $j \in \{y, \pi, r, q, \bar{r}, \bar{r}^*, r^*\}$ , se supone que son perturbaciones gaussianas i.i.d. con media cero y variancia constante.

---

<sup>4</sup> Como en Laubach y Williams (2003) y en Mesonnier y Renne (2007), el equilibrio se define en ausencia de la regla de Taylor, y la tasa de interés nominal puede considerarse como una variable exógena. La regla de Taylor se incluye para su comparación con los modelos de expectativas racionales, donde desempeña un papel fundamental para la determinación del equilibrio (ver Taylor, 1999, y Woodford, 2003a).

## 2.3 Modelo semiestructural híbrido

El segundo modelo se construye sobre el modelo de expectativas adaptativas y difiere del mismo en la manera en la cual se forman las expectativas de inflación y de tipo de cambio real, como así también en la dinámica de la tasa de interés nominal, para la cual es ahora posible asumir una regla de Taylor prospectiva. Además, se introduce un componente prospectivo a la curva de IS.

La curva de IS 4 se modifica y está dada por:

$$19 \quad \tilde{y}_t = \beta_1 \tilde{y}_{t-1} - \beta_2 (r_{t-1} - \bar{r}_{t-1}) + \beta_3 \tilde{q}_{t-1} + \beta_4 E_t \{ \tilde{y}_{t+1} \} + z_t^y .$$

También se modifican las expectativas de inflación 8 y ahora están dadas por el promedio entre la inflación anual esperada y rezagada:

$$20 \quad \pi_{t+1|t}^e = \lambda_1 E_t \{ \pi_{4,t+4} \} + (1 - \lambda_1) \pi_{4,t-1} .$$

También se modifica la formulación de las expectativas del tipo de cambio, y es el promedio entre el tipo de cambio esperado y rezagado. La importancia relativa de cada componente está dada por el parámetro  $\varphi$ . La ecuación que caracteriza a estas expectativas es:

$$21 \quad q_{t|t+1}^e = \varphi E_t \{ q_{t+1} \} + (1 - \varphi) q_{t-1} .$$

La ecuación de Fisher 10 se define en términos de la inflación esperada correspondiente a las expectativas racionales:

$$22 \quad r_t = i_t - E_t \{ \pi_{t+1} \} .$$

Finalmente, la regla de Taylor se modifica para incluir el valor de la inflación esperado para los cuatro periodos, teniendo en cuenta el efecto rezagado de la política monetaria:

$$23 \quad i_t = \gamma_1 i_{t-1} + (1 - \gamma_1) \left( (\bar{r}_t + \bar{\pi}) + \gamma_2 E_t (\pi_{4,t+4} - \bar{\pi}) + \gamma_3 \tilde{y}_t \right) + \varepsilon_t^i .$$

## 2.4 Modelo semiestructural prospectivo

El último modelo puede representarse como un caso especial del modelo híbrido, restringido para que la curva de IS (ecuación 19), las expectativas de inflación (ecuación 20) y las expectativas del tipo de cambio (ecuación 21) sean sólo prospectivas. Esto implica restringir los parámetros para que  $\beta_1 = 0$ ,  $\lambda_1 = 1$  y  $\varphi = 1$ .

## 3. DATOS

Se usa un conjunto de variables macroeconómicas para el proceso de estimación y filtrado. Todas las variables se emplean en frecuencia trimestral con una muestra que abarca desde el primer trimestre de 1994 al último de 2011; así, la muestra tiene 72 observaciones.

Las series usadas son el logaritmo natural del PIB ajustado estacionalmente, la inflación total (ajustada estacionalmente) del IPC, y la tasa de interés nominal, tomada como la tasa promedio de los certificados de depósito a plazo de 90 días (CDT). En cuanto a las variables externas, la tasa de interés real se toma como la tasa de depósito a plazo de 90 días de Estados Unidos,<sup>5</sup> y el tipo de cambio real corresponde al tipo de cambio bilateral entre Colombia y Estados Unidos, computado con el tipo de cambio bilateral nominal y los índices IPC para ambos países (incluidos todos los rubros).

Cabe destacar dos aspectos. El primero es que, como en Mesonnier y Renne (2007), la tasa de interés real se computa dentro del modelo, de una manera congruente con las expectativas de inflación de los modelos. La segunda es que la economía colombiana experimentó un periodo de desinflación en la primera década del milenio, con una meta de inflación decreciente. Ya que estos modelos toman las series nominales como estacionarias, debemos trabajar con la inflación interna

---

<sup>5</sup> La tasa real se computa *ex post* con la inflación del IPC de Estados Unidos, el IPC ajustado estacionalmente y con todos los rubros incluidos.

y las series de tasa de interés nominal relativas a la meta de inflación; esto elimina la tendencia a partir de las series y las hace compatibles con las definiciones de los modelos. Se realizaron dos ejercicios paralelos que incorporaron un meta de inflación variable con el tiempo, asumiendo AR(1) y una dinámica de paseo aleatorio; los resultados son robustos con estos cambios.

## 4. PARAMETRIZACIÓN

Los parámetros se dividen en dos conjuntos. Uno es fijo y está compuesto principalmente por aquellos parámetros en estado estacionario, mientras que el otro debe ser estimado. La estimación se realiza mediante técnicas bayesianas.

### 4.1 Parámetros fijos

Los parámetros que determinan los valores a largo plazo en los modelos son fijos según las características de los datos colombianos. La tasa a largo plazo de crecimiento del producto se fija a un 4% en términos anuales ( $\bar{g}_{ss} = 0.04$ ). La meta de inflación se fija en un 3% ( $\bar{\pi} = 0.03$ ) en concordancia con el punto medio de la banda meta de inflación a largo plazo del Banco de la República. Como Colombia es una economía pequeña y abierta, su tasa de interés real está dada por la tasa de interés externa, y por lo tanto la tasa real de interés nacional y externa se fija en un 2.5% en el estado estacionario ( $\bar{r}_{ss} = \bar{r}_{ss}^* = 0.025$ ). Este hecho junto con la falta de deriva en el proceso de tipo de cambio de equilibrio implica que no hay depreciación en el estado estacionario.

### 4.2 Estimación

Los parámetros que no son fijos se estiman por medio de técnicas bayesianas, combinando información previa con la función de verosimilitud del modelo (computada con el filtro de Kalman). Estas técnicas han sido aplicadas con gran éxito para la estimación de modelos de equilibrio general dinámico

estocástico en la bibliografía (por ejemplo, en Smets y Wouters, 2007), y, como señalan An y Schorfheide (2007), tienen muchas ventajas al abordar series cortas de tiempo y asuntos de identificación (comunes en los modelos semiestructurales); también proporcionan un parámetro natural de comparación para cotejar modelos (la verosimilitud marginal del modelo).

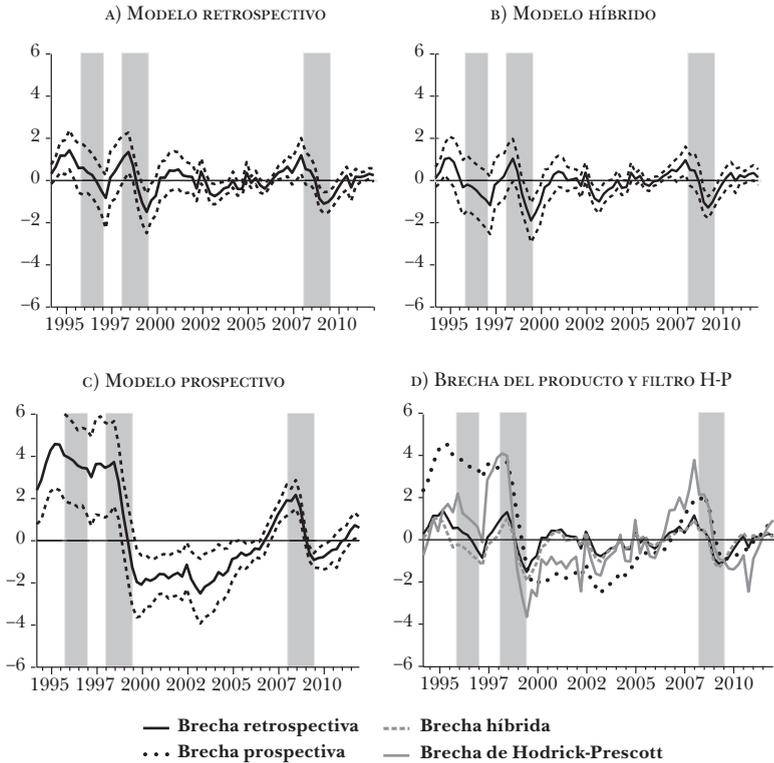
Se usan dos cadenas de 100,000 muestreos cuando se computan las distribuciones posteriores de los parámetros. Hay tres tipos de distribuciones previas usadas. Para los parámetros limitados (entre cero y uno), se usa una distribución beta; la media se fija en el punto medio del intervalo. Para los parámetros ilimitados, se usa una distribución gamma, y la media se fija en 0.3 de acuerdo con las estimaciones previas de los modelos semiestructurales. Finalmente las varianzas de choques están asociadas con una distribución previa gamma inversa. El apéndice B resume las distribuciones previas usadas por la estimación de los modelos.

Los resultados del proceso de estimación se presentan en los apéndices C, D y E respectivamente. La estimación se realizó usando el software Dynare (Adjemian *et al.*, 2011).

## 5. LA BRECHA DEL PRODUCTO

Luego de la estimación, los parámetros se fijan en sus valores de modo posterior. Entonces cada modelo se usa para extraer la brecha del producto a partir de los datos. La medida de brecha del producto que se propone, se obtiene con el moderador de Kalman para la variable  $\tilde{y}$  en cada modelo. Ya que el filtro de Hodrick-Prescott (de aquí en adelante el filtro HP) puede representarse como un caso especial del modelo de tendencia lineal local, se usa como un parámetro comparativo para los resultados (ver Harvey y Jaeger, 1993, y Canova, 2007). La gráfica 1d presenta los resultados para este ejercicio. Los paneles 1a, 1b y 1c muestran la brecha del producto obtenida a partir de cada modelo con su respectiva región de densidad posterior superior (HPD) al 90%. Esta región representa la incertidumbre en las estimaciones de parámetros. Las áreas grises

## MEDIDAS DE LA BRECHA DEL PRODUCTO



Brecha del producto dada por los modelos retrospectivo, híbrido y prospectivo (regiones HPD al 90%), y el componente cíclico del producto obtenido a partir del filtro de Hodrick-Prescott con  $\lambda = 1,600$ . Las zonas grises corresponden a los periodos del punto máximo al mínimo del ciclo económico colombiano, según Alfonso *et al.* (2011). Las series son trimestrales para el periodo 1994-2011. Los cálculos se realizaron utilizando Dynare.

corresponden a los periodos desde un pico hasta la reanudación del crecimiento en el ciclo económico de Colombia según Alfonso *et al.* (2011).

Existe una diferencia clara entre la habilidad del modelo prospectivo (panel 1c) para registrar la dinámica de la brecha del producto, y los otros dos modelos. Aun con la HPD al 90%,

el modelo prospectivo es capaz de consignar el auge experimentado en Colombia en los años noventa, la recesión posterior y que esto afectó a gran parte de la primera década del siglo y el último ciclo (el auge 2006-2007 y la crisis financiera internacional de 2008).

El panel Id presenta las medidas de la brecha del producto y el filtro de Hodrick-Prescott para el PIB colombiano. Cabe señalar que, si bien las tres medidas se mueven de manera correlacionada, no son iguales, lo cual demuestra que los modelos económicos tienen información adicional cuando se los compara con el filtro estadístico.

Las diferencias más notorias están en los periodos 1994-1996, 2000-2004 y 2006-2009. En el primer periodo, el modelo prospectivo presenta una brecha del producto más alta (positiva) que la de los otros modelos (uniendo el filtro HP sólo hasta 1997). En el segundo periodo, los modelos retrospectivo e híbrido identifican una brecha del producto cerrada mientras que el filtro HP y el modelo prospectivo siguen mostrando un componente cíclico negativo. En el segundo periodo, estos modelos, en especial el retrospectivo, no logran reconocer un gran incremento en la brecha del producto, en contraste con el modelo prospectivo y con el filtro HP que identifican un fuerte ciclo positivo.

Además de las diferencias entre las medidas propuestas para la brecha del producto y las dadas para el filtro HP, existen también diferencias entre estas medidas y el consenso entre los expertos. Según ellos, la brecha debería haber sido positiva al comienzo de la muestra (como en el modelo prospectivo) y más negativa en la recesión 1998-1999. El modelo no logró reproducir estos hechos por dos razones. Primero, el filtro de Kalman se inicia en un punto arbitrario, el cual no refleja necesariamente el valor real de los estados. En el ejercicio previo, el filtro se inició como si la brecha fuera igual a cero –su valor de estado estacionario– en 1994t1.<sup>6</sup> Segundo, el modelo

---

<sup>6</sup> En la gráfica 1 la brecha del producto no es igual a cero en el primer periodo porque la medida de brecha está dada por el moderador

Cuadro 1

INFORMACIÓN PREVIA A LA BRECHA DEL PRODUCTO									
(porcentaje)									
<i>Periodo</i>	<i>Valor</i>	<i>Periodo</i>	<i>Valor</i>	<i>Periodo</i>	<i>Valor</i>	<i>Periodo</i>	<i>Valor</i>	<i>Periodo</i>	<i>Valor</i>
1994t1	1.35	1994t2	1.62	1994t3	2.03	1994t4	2.38	1999t4	-5.72

de tendencia lineal local, sobre el cual se construyen los modelos propuestos, entiende los datos en el periodo 1998-1999 como un cambio en la tendencia del producto; esto significa que el modelo está atribuyendo parte de la recesión a una caída en el producto potencial, generando así una brecha del producto menos negativa. Es importante señalar que la mayoría de los modelos diseñados para extraer el componente cíclico del producto no logran reconocer una brecha del producto muy negativa en el periodo 1998-1999,<sup>7</sup> pero, a diferencia de la mayoría de ellos, el uso del filtro de Kalman nos permite incorporar información adicional sobre la brecha del producto para el proceso de estimación y filtrado.<sup>8</sup>

Debido a lo que se ha expuesto, se llevó a cabo un segundo ejercicio. Ahora los modelos se estiman usando la misma base de datos y distribuciones previas para los parámetros, mientras se permite observar el nivel de brecha del producto dado por los expertos para las primeras cuatro observaciones de la muestra y el cuarto trimestre de 1999 (cuadro 1). Esta información está sujeta a errores de medición, cuya varianza se estima junto con todos los otros parámetros. Los resultados de las estimación se resumen en los apéndices C.2, D.2 and E.2. Todos

---

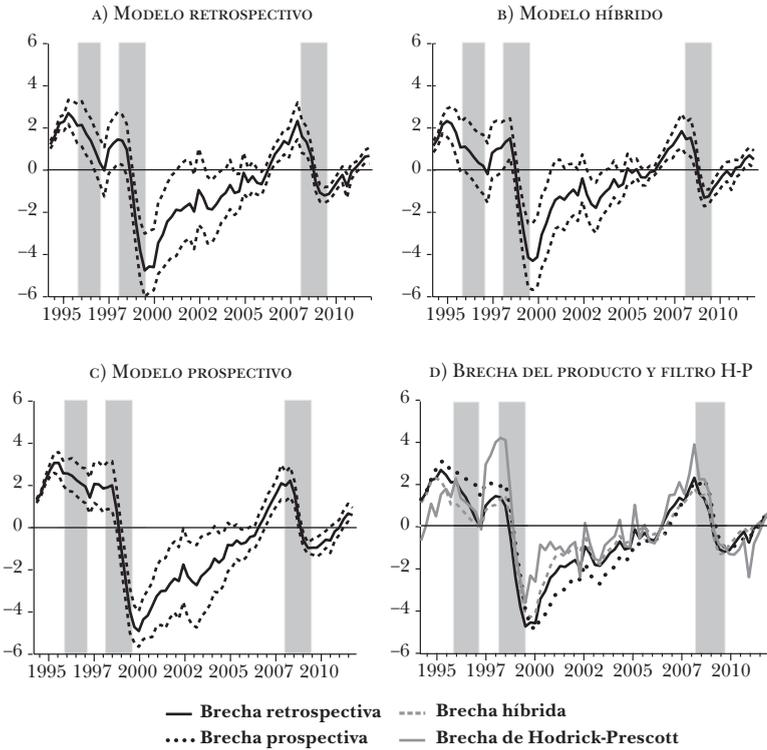
del filtro de Kalman, que toma en cuenta a toda la muestra para determinar el valor de la brecha en cada periodo. Sólo el modelo prospectivo interpretaba los datos como para obtener una brecha del producto positiva al principio de la muestra.

<sup>7</sup> La medición propuesta por Cobo (2004), con base en el enfoque de función de producción, es una excepción a esto.

<sup>8</sup> La metodología presentada en Julio (2011) representa una excepción a esto, permitiendo la introducción de distribuciones previas como restricciones lineales en el filtro de Hodrick-Prescott.

## Gráfica 2

### MEDIDAS DE LA BRECHA DEL PRODUCTO: CON INFORMACIÓN PRECEDENTE



Brecha del producto dada por los modelos retrospectivo, híbrido y prospectivo con información precedente sobre el nivel de la brecha del producto en 1994 y 1999t4 (regiones HPD al 90%), y el componente cíclico del producto obtenido a partir del filtro de Hodrick-Prescott con  $\lambda = 1,600$ . Las zonas grises corresponden a los períodos del punto máximo al mínimo del ciclo económico colombiano, según Alfonso *et al.* (2011). Las series son trimestrales para el período 1994-2011. Los cálculos se realizaron utilizando Dynare.

los modelos asignaron poca varianza al error de medición de la información adicional de la brecha del producto, como se refleja en la medida de brecha del producto recuperada (gráfica 1) y en el modo de la posterior del parámetro (cuadros 6, 8 y 10).

Las mediciones de la brecha recuperada con este ejercicio son capaces de reconocer tanto una brecha positiva entre 1994

y 1998, así como una brecha más negativa y persistente posterior a la recesión 1998-1999, hasta mediados de los dos mil (si bien las regiones HPD en los paneles 2a y 2b incluyen cero después de 2001). También representan una brecha relativamente mayor al final de la muestra y en el periodo 2007-2008. Como antes, no hay comovimiento entre estas tres medidas, con diferencias en el momento y la magnitud de los ciclos; debido a la información adicional dada a los modelos, las diferencias en la brecha del producto recuperada son ahora menores. A fin de evaluar la bondad de ajuste de los modelos, usamos un valor de verosimilitud marginal. Se determina que entre la estimación condicionada, el modelo prospectivo es el que tiene mayor verosimilitud marginal y el modelo híbrido es el que tiene menos. En el caso de la estimación no condicionada, el modelo retrospectivo es el que tiene mayor verosimilitud marginal y el modelo híbrido es el que tiene menor verosimilitud. Los valores se presentan en el apéndice.

Las brechas presentadas también concuerdan con los hallazgos previos sobre el ciclo económico de Colombia. Como queda demostrado en la gráfica 3, todas las medidas identifican todos los altibajos presentados por Alfonso *et al.* (2011), quienes usan un índice de difusión acumulado, computado con las 24 series colombianas,<sup>9</sup> para obtener una cronología del ciclo económico. Antes de que se introdujera la información adicional, sólo el modelo prospectivo coincidió con estos puntos de inflexión (panel 1c).

La gráfica 3 deja también en claro la fuerte correlación entre las medidas de brecha del producto y la inflación subyacente, definida como el IPC menos la inflación de los rubros de alimentos.<sup>10</sup> Además, la brecha del producto precede hasta cierto punto los movimientos de la inflación subyacente. Nótese, por ejemplo, los picos de inflación después de los picos

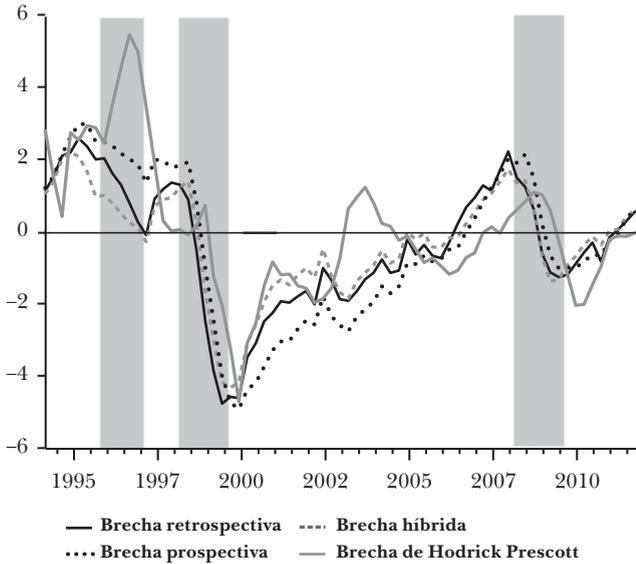
---

<sup>9</sup> La única variable en común entre este ejercicio y el de Alfonso *et al.* (2011) es la tasa de interés nominal.

<sup>10</sup> La brecha de inflación subyacente se define como el nivel actual de inflación menos la meta.

Gráfica 3

**MEDIDAS DE LA BRECHA DEL PRODUCTO CONTRA LA INFLACIÓN SUBYACENTE DEL IPC**



Brecha del producto dada por los modelos retrospectivo, híbrido y prospectivo con información precedente sobre el nivel de la brecha del producto en 1994 y 1999t4, y la inflación del IPC menos los rubros de alimentos en relación con la inflación objetivo. Las zonas grises corresponden a los periodos del punto máximo al mínimo del ciclo económico colombiano, según Alfonso *et al.* (2011). Las series son trimestrales para el periodo 1994-2011. Los cálculos se realizaron utilizando Dynare.

en 1995, 1997 y 2007 de la brecha del producto, como así también las caídas de la inflación luego de las caídas de la brecha del producto en 1998 y 2009. Esto puede también observarse al computar la correlación entre la inflación subyacente y los valores actuales y rezagados en la brecha del producto (cuadro 2); la correlación es siempre más de la mitad y es mayor para los primeros y segundos valores rezagados que para los valores contemporáneos (excepto en el modelo prospectivo).

Finalmente, la brecha del producto puede descomponerse en los efectos de los choques usando la representación del espacio de estados del modelo (Canova, 2007). La descomposición histórica de las medidas de brecha del producto se computa y

Cuadro 2

## CORRELACIÓN ENTRE LA BRECHA DEL PRODUCTO Y LA BRECHA DE INFLACIÓN SUBYACENTE

<i>Modelo</i>	$corr(\tilde{y}_t, \pi_t)$	$corr(\tilde{y}_{t-1}, \pi_t)$	$corr(\tilde{y}_{t-2}, \pi_t)$	$corr(\tilde{y}_{t-4}, \pi_t)$	$corr(\tilde{y}_{t-5}, \pi_t)$
Retrospectivo	0.660	0.727	0.764	0.749	0.676
Híbrido	0.603	0.667	0.694	0.667	0.590
Prospectivo	0.745	0.753	0.724	0.659	0.566

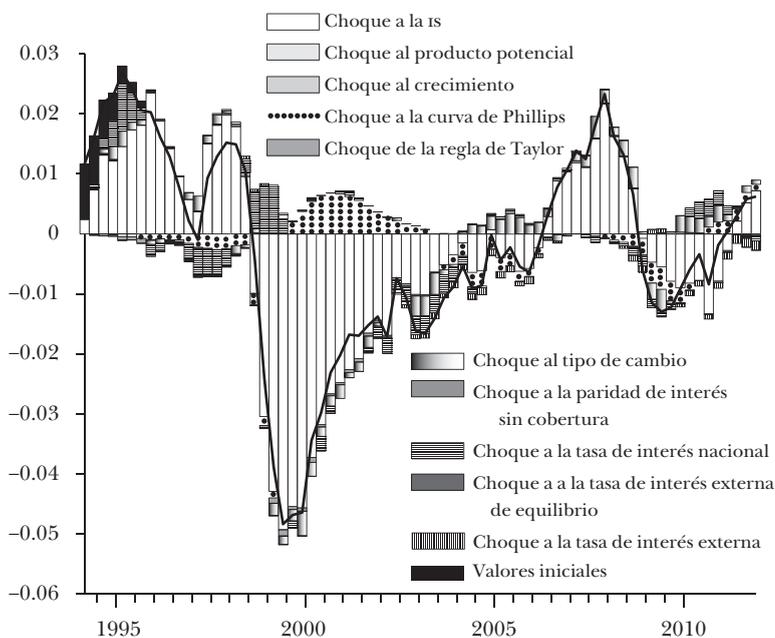
presenta en la gráfica 4. Este ejercicio consiste en identificar cuáles son los choques que afectaron a la economía en el mismo periodo usando las series macroeconómicas observadas, junto con la estructura económica de los modelos. Después de identificar los choques, es posible computar su efecto individual sobre la brecha del producto.

Como la identificación y el efecto dependen de la estructura del modelo, la descomposición es diferente en los modelos retrospectivo, prospectivo e híbrido. Sin embargo, hay características comunes entre ellos. La más importante es que la brecha del producto se explica principalmente a partir del

Gráfica 4a

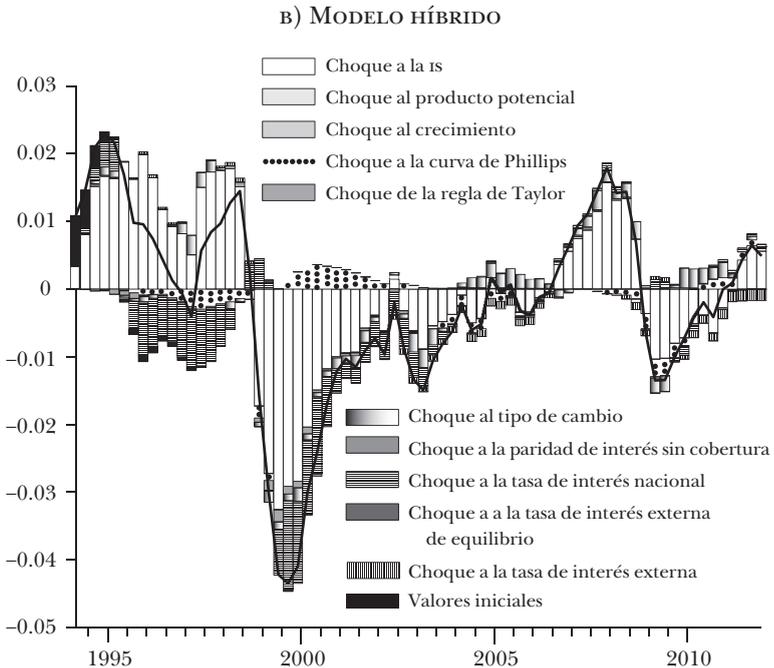
DESCOMPOSICIÓN HISTÓRICA DE LA BRECHA DEL PRODUCTO

A) MODELO RETROSPECTIVO



Descomposición histórica de la brecha del producto en choques dados por los modelos de expectativas adaptativas y racionales con información precedente sobre el nivel de la brecha del producto en 1994 y 1999t4. Las series son trimestrales para el periodo 1994-2011. Los cálculos se realizaron utilizando Dynare.

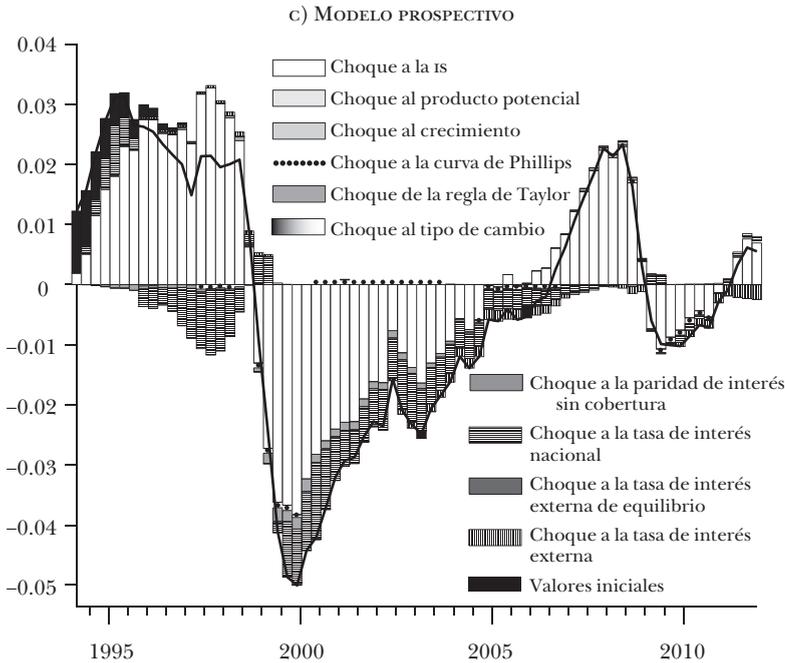
## DESCOMPOSICIÓN HISTÓRICA DE LA BRECHA DEL PRODUCTO



Descomposición histórica de la brecha del producto en choques dados por los modelos de expectativas adaptativas y racionales con información precedente sobre el nivel de la brecha del producto en 1994 y 1999t4. Las series son trimestrales para el periodo 1994-2011. Los cálculos se realizaron utilizando Dynare.

efecto de choques en la curva de IS (choques de demanda). Esto es muy útil si se quiere interpretar la brecha del producto como una medida de presiones de demanda en la economía. Otra característica común es el efecto bajo y de corta vida de los valores iniciales del filtro sobre la brecha del producto. Puede observarse que este efecto sólo es determinante en el primer periodo, y que sólo dura aproximadamente 12 periodos. Otra característica común es el efecto del choque de la curva de Phillips (choques de oferta) luego de la recesión de 1999. Debido a la gran caída de la inflación en los primeros trimestres de 1999, los modelos identifican un choque en la

## DESCOMPOSICIÓN HISTÓRICA DE LA BRECHA DEL PRODUCTO



Descomposición histórica de la brecha del producto en choques dados por los modelos de expectativas adaptativas y racionales con información precedente sobre el nivel de la brecha del producto en 1994 y 1999<sup>4</sup>. Las series son trimestrales para el periodo 1994-2011. Los cálculos se realizaron utilizando Dynare.

curva de Phillips que ayuda a explicar dicha caída; como consecuencia de esto, se generaron presiones positivas sobre la brecha del producto.

Hay tres choques que parecen significativos en la descomposición histórica. El primero es sobre la tasa de interés externa; este choque es más relevante en los paneles 4b y 4c y tiene un efecto negativo sobre la brecha del producto para el periodo de los dos mil. Durante este, la tasa de interés externa fue baja y los modelos identificaron esto como un choque negativo, asociado con una apreciación real del tipo de cambio. Sin embargo, hay que ser cautelosos con respecto a este resultado, ya que los modelos tienen una propensión

hacia los efectos negativos del choque, al no tener en cuenta los efectos positivos de la apreciación y la deuda más barata sobre la demanda agregada.

El segundo choque es sobre la tendencia del tipo de cambio; es expansiva en 2004 y 2010, ambos periodos de apreciación del tipo de cambio real. La razón para esto es que los modelos interpretan estas apreciaciones como cambios en la tendencia del tipo de cambio real. Cuando la tendencia se baja, la brecha del tipo de cambio se torna positiva, y de este modo se incrementa la brecha del producto. Sin embargo, este efecto no es de gran magnitud con respecto al efecto de otros choques.

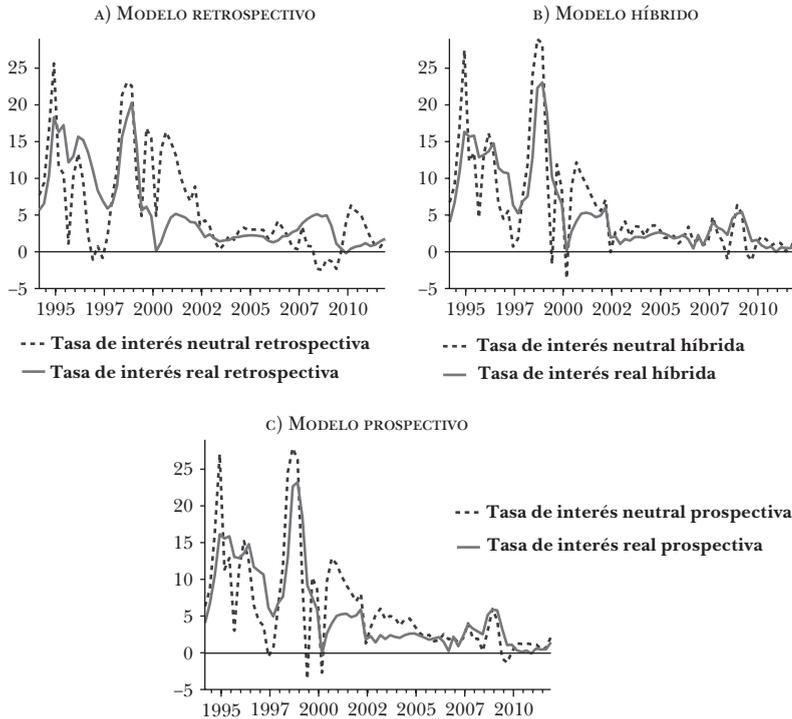
El tercer choque es sobre la tasa de interés neutral. Cabe señalar que para los modelos esta variable es completamente exógena y sólo influida por este choque. Como los modelos son capaces de extraer tanto el nivel de la tasa de interés real como el de la brecha de la tasa de interés, puede computarse la tasa de interés neutral. El efecto negativo sobre la brecha del producto del choque de la tasa de interés neutral a principio de los dos mil se explica por una disminución de la tasa neutral con respecto a los altos niveles de fines de los años noventa, lo cual bajó la brecha de la tasa de interés. En la próxima sección se debate más sobre la tasa neutral.

## 6. TASA DE INTERÉS NEUTRAL

Antes de debatir las implicaciones de los modelos sobre la tasa de interés neutral, es importante examinar el comportamiento de la tasa de interés real. Cabe recordar que esta variable se computa dentro del modelo, dadas la tasa de interés nominal y las expectativas de inflación; sin embargo, los tres modelos generan medidas similares (gráfica 5) que también están en línea con los movimientos y con los niveles de la tasa de interés real *ex post*. El periodo en consideración se caracteriza por niveles altos y volátiles de la tasa de interés real antes del año 2000, seguido de un periodo más estable con menor nivel de la tasa de interés. Esto queda claro a partir

## Gráfica 5

### TASA DE INTERÉS NEUTRAL



Medidas de las tasas de interés neutral y real dadas por los modelos retrospectivo, híbrido y prospectivo con información precedente sobre el nivel de la brecha del producto en 1994 y 1999t4 (regiones HPD al 90%). Las series son trimestrales para el periodo 1994-2011. Los cálculos se realizaron utilizando Dynare.

de la media y de la desviación estándar de la variable del interés real en todos los modelos, expuestas en las dos primeras columnas del cuadro 3.

La volatilidad, y la posterior estabilización, de la tasa de interés real probablemente se explique por los cambios en la política monetaria colombiana; nos remitimos a Giraldo *et al.* (2011) y a las referencias en ese artículo sobre una revisión de la reciente historia monetaria de Colombia. En general, no hay cambios drásticos en la tasa de interés real, salvo por un gran aumento que coincide con la recesión de 1998-1999, el

Cuadro 3

## MOMENTOS DE LA TASA DE INTERÉS

	Tasa de interés real		Interés neutral		Brecha de la tasa de interés		
	Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar	$corr(\tilde{y}_t, \tilde{r}_t)$
1994-2011	7.961	5.299	8.413	6.526	-0.451	5.293	0.484
1994-2000	14.056	4.889	13.000	7.792	1.056	6.696	0.343
2000-2011	4.914	1.505	6.119	4.303	-1.205	4.318	0.630
				Modelo retrospectivo			
1994-2011	8.103	5.507	8.548	6.609	-0.445	4.234	0.232
1994-2000	14.307	5.227	13.425	8.614	0.882	6.299	-0.106
2000-2011	5.001	1.720	6.110	3.386	-1.109	2.513	0.644
				Modelo híbrido			
1994-2011	8.086	5.486	8.433	6.859	-0.348	3.883	-0.077
1994-2000	14.352	5.114	14.304	8.475	0.047	6.024	-0.286
2000-2011	4.953	1.611	5.498	3.085	-0.545	2.213	0.399
				Modelo prospectivo			

cual se explica por la gran caída de la inflación posterior a la crisis (ver gráfica 4).

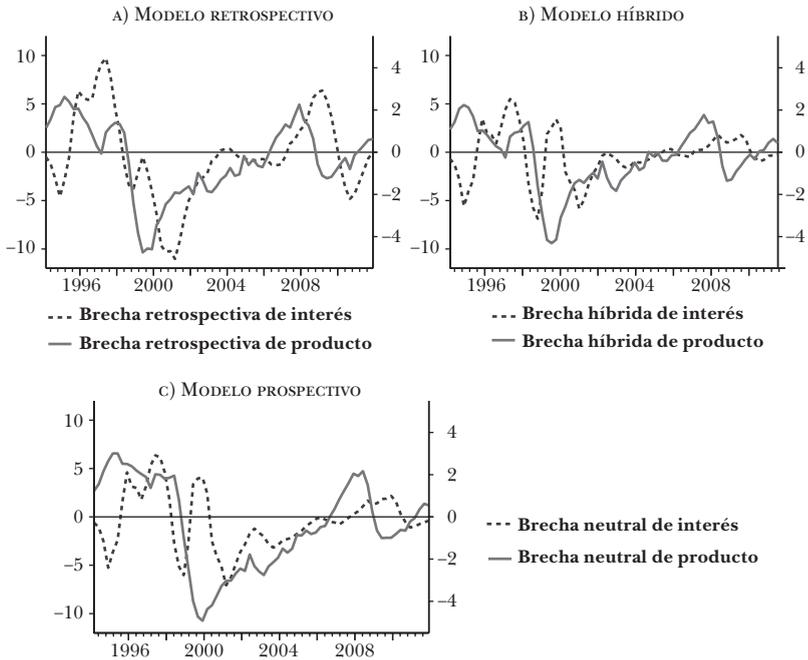
Volviendo a la tasa de interés neutral, la gráfica 5 presenta la tasa de interés real y neutral que cada modelo recuperó a partir de los datos. Cabe señalar que todas las mediciones de la tasa de interés neutral son aún más volátiles que las mediciones de las tasas de interés real (comparemos las desviaciones estándar de ambas variables en la segunda y cuarta columnas del cuadro 3). La volatilidad de la tasa de interés real, si bien está presente sólo antes del año 2000, influye en la tasa de interés neutral en toda la muestra, generando una medición cambiante de la neutralidad durante la última década.

Todos los modelos implican que había una brecha de tasa de interés positiva antes de la recesión de 1999 y posteriormente una brecha negativa, con una lenta convergencia de la tasa neutral a los niveles que ha presentado la tasa de interés real después de la crisis. Luego, la brecha de la tasa de interés se vuelve positiva en el periodo 2007-2008, si bien considerablemente más positiva (y más rápido) en el modelo retrospectivo. Al final de la muestra, la brecha de la tasa de interés se vuelve negativa, nuevamente en mayor proporción en el modelo retrospectivo.

Es evidente, a partir de la gráfica 6, que la conducta de la brecha de la tasa de interés es anticíclica prácticamente en todas partes. Ejerce una presión negativa sobre la brecha del producto mientras es positiva en el periodo anterior a 1999, y posteriormente tiene efectos expansivos, hasta el periodo 2007-2008, en el cual la brecha del producto es nuevamente positiva. Finalmente, la brecha de la tasa de interés tiene efectos positivos después de 2008, cuando hay una caída de la brecha del producto, asociada con la turbulencia internacional luego de la reciente crisis financiera de Estados Unidos. El carácter anticíclico de la brecha de la tasa de interés se ve claramente interrumpido en los modelos híbrido y prospectivo entre 1999 y 2001 (paneles 6b y 6c). En este periodo, la brecha de la tasa de interés se vuelve positiva mientras que la brecha del producto sigue siendo negativa. Esto se atribuye a una caída en la tasa de interés neutral (ver paneles 5b y 5c), ya que esta variable es exógena para el modelo;

## Gráfica 6

### BRECHA DE LA TASA DE INTERÉS VERSUS LA BRECHA DEL PRODUCTO



Brecha de la tasa de interés real y brecha del producto suavizadas dadas por los modelos retrospectivo, híbrido y prospectivo con información precedente sobre el nivel de la brecha del producto en 1994 y 1999t4. La brecha de la tasa de interés real está suavizada con un promedio móvil de cuarto orden. Las series son trimestrales para el periodo 1994-2011. Los cálculos se realizaron utilizando Dynare.

lo anterior significa que el modelo identifica la necesidad de una brecha positiva para explicar la caída en la brecha del producto en estos periodos; esto se refleja en la correlación negativa entre la brecha del producto y la brecha de la tasa de interés en el periodo 1994-2000 para los modelos híbrido y prospectivo (cuadro 3).

Sin embargo, debe destacarse que la reacción de la brecha de interés está rezagada con respecto a los movimientos de la brecha del producto,<sup>11</sup> lo cual queda más claro en el panel 6a

<sup>11</sup> Tengamos en cuenta que la brecha del tipo de interés presentada

para el modelo retrospectivo y en el periodo posterior a 2006 en los paneles 6b y 6c, donde la brecha de tasa de interés se vuelve positiva un año antes que la brecha del producto y después permanece positiva mientras cae la brecha del producto en la crisis financiera de 2008. En otras palabras, dado que la autoridad monetaria puede influir en la tasa de interés real, la política monetaria, si bien es anticíclica, no ha logrado anticipar los cambios de la brecha del producto, o al menos no ha podido reaccionar a ellos con suficiente fuerza.

## 7. COMENTARIOS FINALES

Este documento presenta tres nuevas mediciones de la brecha del producto y de la tasa de interés neutral colombiana. Ambas variables son fundamentales para el comportamiento de la política monetaria y su medición está sujeta a un alto grado de incertidumbre. Debido a esto, los resultados presentados aquí no deben tomarse como finales, sino como un aporte adicional, útil para la evaluación de políticas y para la investigación académica.

Los modelos ofrecen una brecha del producto coherente con los trabajos anteriores para Colombia, como Echavarría *et al.* (2007), y es capaz de identificar todos los puntos de inflexión del ciclo de negocios colombiano, de acuerdo con la medición de Alfonso *et al.* (2011). La brecha del producto de Colombia comienza con un nivel positivo, si bien variable, de 1994 a 1997, cuando se produce una gran caída que comienza con la crisis de 1998-1999; luego de esta caída, la brecha del producto permanece negativa hasta 2006. La brecha se vuelve positiva en el periodo 2006-2008 y cae en 2009, luego de la debacle internacional que siguió a la crisis financiera de Estados Unidos de 2008. Ambos modelos implican que la brecha se ha recuperado de su última caída y es positiva desde 2011, si bien sigue cercana a cero.

---

en la gráfica 5 está moderada con un promedio móvil de cuarto orden. Esto se realiza en busca de claridad ya que las mediciones de la tasa neutral son demasiado volátiles y no afectan los hallazgos.

Con respecto a la tasa de interés neutral, los modelos son más heterogéneos en los resultados, pero todos implican un comportamiento en cierto modo anticíclico de la política monetaria durante gran parte del periodo de muestra, excepto en la época de la recesión de 1999. También señalan una demora entre los movimientos de la brecha del producto y los de la brecha de la tasa de interés, especialmente en el modelo híbrido y prospectivo. Esto podría deberse a una falta de anticipación de la autoridad monetaria o a la necesidad de una reacción más fuerte de la condición de la economía.

Finalmente, es importante expandir la metodología para abarcar la incertidumbre en el modelo a la cual está sometida la medición del producto y de la tasa de interés neutral; esto implica el uso de técnicas más avanzadas que van más allá del alcance del presente artículo. También cabe señalar que la metodología presentada se basa en modelos semiestructurales para tener en cuenta las relaciones entre varios agregados macroeconómicos; todavía debe trabajarse para poder computar una medida fundamentada en la microeconomía de la brecha del producto y de la tasa de interés natural, siguiendo las ideas de Woodford (2003a) y Christiano *et al.* (2010a,b). Estas nuevas mediciones pueden mejorar potencialmente nuestro entendimiento de los choques que afectan a la economía y la elaboración de la política monetaria.

## Apéndice

### A. Ecuaciones

#### A.1 Modelo de expectativas adaptativas

$$\text{A.1} \quad y_t = \tilde{y}_t + \bar{y}_t$$

$$\text{A.2} \quad \bar{y}_t = \bar{y}_{t-1} + g_t + \varepsilon_t^y$$

$$\text{A.3} \quad g_t = (1 - \tau) \bar{g}_{ss} + \tau g_{t-1} + \varepsilon_t^g$$

$$\text{A.4} \quad \tilde{y}_t = \beta_1 \tilde{y}_{t-1} - \beta_2 (r_{t-1} - \bar{r}_{t-1}) + \beta_3 \tilde{q}_{t-1} + z_t^y$$

**A.5** 
$$\pi_t = \pi_{t+1|t}^e + \lambda_2 \tilde{y}_{t-1} + \lambda_3 (q_t - q_{t-1}) + z_t^\pi$$

**A.6** 
$$\pi_{t+1|t}^e = \lambda_1 \bar{\pi}_t + (1 - \lambda_1) \pi_{4,t-1}$$

**A.7** 
$$\pi_{4,t} = \frac{1}{4} (\pi_t + \pi_{t-1} + \pi_{t-2} + \pi_{t-3})$$

**A.8** 
$$i_t = \gamma_1 i_{t-1} + (1 - \gamma_1) \left( (\bar{r}_t + \bar{\pi}) + \gamma_2 (\pi_{4,t} - \bar{\pi}) + \gamma_3 \tilde{y}_t \right) + \varepsilon_t^i$$

**A.9** 
$$r_t = i_t - \pi_{t+1|t}^e$$

**A.10** 
$$r_t - r_t^* = 4 (q_{t+1|t}^e - q_t) + (\bar{r}_t - \bar{r}_t^*) + \varepsilon_t^r$$

**A.11** 
$$\bar{r}_t = \rho_r \bar{r}_{t-1} + (1 - \rho_r) \bar{r}_{ss} + \varepsilon_t^{\bar{r}}$$

**A.12** 
$$r_t^* = \bar{r}_t^* + \kappa (r_{t-1}^* - \bar{r}_{t-1}^*) + \varepsilon_t^{r^*}$$

**A.13** 
$$\bar{r}_t^* = \rho_{r^*} \bar{r}_{t-1}^* + (1 - \rho_{r^*}) \bar{r}_{ss}^* + \varepsilon_t^{\bar{r}^*}$$

**A.14** 
$$q_t = \tilde{q}_t + \bar{q}_t$$

**A.15** 
$$\bar{q}_t = \bar{q}_{t-1} + \varepsilon_t^{\bar{q}}$$

**A.16** 
$$q_{t+1|t}^e = \varphi \bar{q}_t + (1 - \varphi) q_{t-1}$$

**A.17** 
$$z_t^y = \rho_y z_{t-1}^y + \varepsilon_t^y$$

**A.18** 
$$z_t^\pi = \rho_\pi z_{t-1}^\pi + \varepsilon_t^\pi$$

## A.2 Modelo semiestructural de expectativas racionales

**A.19** 
$$y_t = \tilde{y}_t + \bar{y}_t$$

**A.20** 
$$\bar{y}_t = \bar{y}_{t-1} + g_t + \varepsilon_t^{\bar{y}}$$

**A.21** 
$$g_t = (1 - \tau) \bar{g}_{ss} + \tau g_{t-1} + \varepsilon_t^g$$

**A.22** 
$$\tilde{y}_t = \beta_1 \tilde{y}_{t-1} - \beta_2 (r_{t-1} - \bar{r}_{t-1}) + \beta_3 \tilde{q}_{t-1} + \beta_4 E_t \{ \tilde{y}_{t+1} \} + z_t^y$$

**A.23** 
$$\pi_t = \pi_{t+1|t}^e + \lambda_2 \tilde{y}_{t-1} + \lambda_3 (q_t - q_{t-1}) + z_t^\pi$$

**A.24** 
$$\pi_{t+1|t}^e = \lambda_1 E_t \{ \pi_{4,t+4} \} + (1 - \lambda_1) \pi_{4,t-1}$$

**A.25** 
$$\pi_{4,t} = \frac{1}{4} (\pi_t + \pi_{t-1} + \pi_{t-2} + \pi_{t-3})$$

$$\text{A.26} \quad i_t = \gamma_1 i_{t-1} + (1 - \gamma_1) \left( (\bar{r}_t + \bar{\pi}) + \gamma_2 E_t (\pi_{4,t+4} - \bar{\pi}) + \gamma_3 \tilde{y}_t \right) + \varepsilon_t^i$$

$$\text{A.27} \quad r_t = i_t - E_t \{ \pi_{t+1} \}$$

$$\text{A.28} \quad r_t - r_t^* = 4 \left( q_{t+1t}^e - q_t \right) + (\bar{r}_t - \bar{r}_t^*) + \varepsilon_t^r$$

$$\text{A.29} \quad \bar{r}_t = \rho_r \bar{r}_{t-1} + (1 - \rho_r) \bar{r}_{ss} + \varepsilon_t^{\bar{r}}$$

$$\text{A.30} \quad r_t^* = \bar{r}_t^* + \kappa (r_{t-1}^* - \bar{r}_{t-1}^*) + \varepsilon_t^{r^*}$$

$$\text{A.31} \quad \bar{r}_t^* = \rho_r^* \bar{r}_{t-1}^* + (1 - \rho_r^*) \bar{r}_{ss}^* + \varepsilon_t^{\bar{r}^*}$$

$$\text{A.32} \quad q_t = \tilde{q}_t + \bar{q}_t$$

$$\text{A.33} \quad \bar{q}_t = \bar{q}_{t-1} + \varepsilon_t^q$$

$$\text{A.34} \quad q_t^e = \varphi E_t \{ q_{t+1} \} + (1 - \varphi) q_{t-1}$$

$$\text{A.35} \quad z_t^y = \rho_y z_{t-1}^y + \varepsilon_t^y$$

$$\text{A.36} \quad z_t^\pi = \rho_\pi z_{t-1}^\pi + \varepsilon_t^\pi$$

## B. Distribuciones previas

Cuadro A.1

DISTRIBUCIONES PREVIAS				
<i>Parámetro</i>	<i>Descripción</i>	<i>Distribución</i>	<i>Media</i>	<i>Desviación estándar</i>
$\sigma_i$	Desviación estándar del choque $i$	Gamma inversa	0.0125	$\infty$
$\tau$	Persistencia del proceso de crecimiento	Beta (0,1)	0.5	0.15
$\lambda_1$	Expectativas de inflación	Beta (0,1)	0.5	0.15
$\lambda_2$	Elasticidad de la inflación respecto a la brecha del producto	Gamma	0.30	0.25
$\lambda_3$	Elasticidad de la inflación respecto a la depreciación	Gamma	0.30	0.25
$\beta_1$	Elasticidad de la brecha del producto respecto a su rezago	Beta (0,1)	0.5	0.15
$\beta_2$	Elasticidad de la brecha del producto respecto a la brecha de interés	Gamma	0.30	0.25
$\beta_3$	Elasticidad de la brecha del producto respecto a la brecha de tipo de cambio	Gamma	0.30	0.25
$\beta_4$	Elasticidad de la brecha del producto respecto a las expectativas	Gamma	0.30	0.25
$\varphi$	Expectativas del tipo de cambio	Beta (0,1)	0.5	0.15
$\kappa$	Persistencia de la brecha de tipo de cambio	Beta (0,1)	0.5	0.15
$\rho_r$	Persistencia de la tasa de interés natural	Beta (0,1)	0.5	0.15
$\rho_r^*$	Persistencia de la tasa de interés externa natural	Beta (0,1)	0.5	0.15
$\rho_y$	Persistencia del choque de IS	Beta (0,1)	0.5	0.15
$\rho_\pi$	Persistencia de choques de la curva de Phillips	Beta (0,1)	0.5	0.15

**C Resultados de la estimación–Modelo retrospectivo**  
**C.1 Estimación no condicionada**

Cuadro A.2

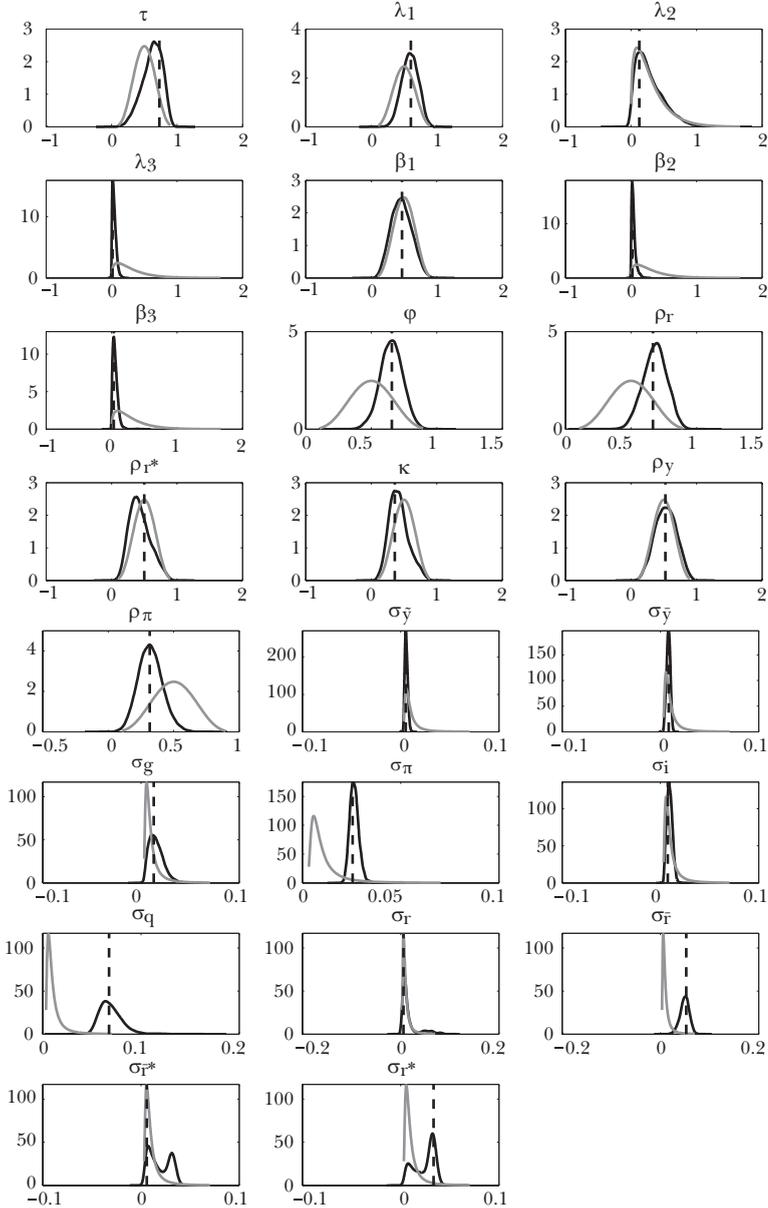
## RESULTADOS DE LA ESTIMACIÓN: MODELO RETROSPECTIVO

Parámetro	Anterior		Posterior			HPD 90%	
	Media	DE	Media	Modo	DE	Inferior	Superior
Persistencia del proceso de crecimiento	0.50	0.15	0.62	0.73	0.13	0.37	0.86
Expectativas de inflación	0.50	0.15	0.59	0.60	0.13	0.38	0.79
Elasticidad de la inflación respecto a la brecha del producto	0.30	0.25	0.29	0.13	0.19	0.00	0.59
Elasticidad de la inflación respecto a la depreciación	0.30	0.25	0.04	0.01	0.02	0.00	0.08
Elasticidad de la brecha del producto respecto a su rezago	0.50	0.15	0.46	0.47	0.19	0.20	0.71
Elasticidad de la brecha del producto respecto a la brecha de interés real	0.30	0.25	0.04	0.02	0.03	0.00	0.08
Elasticidad de la brecha del producto respecto a la brecha de tipo de cambio	0.30	0.25	0.06	0.03	0.04	0.00	0.11
Expectativas del tipo de cambio	0.50	0.15	0.65	0.66	0.08	0.52	0.80
Persistencia de la tasa de interés natural	0.50	0.15	0.68	0.67	0.09	0.54	0.84
Persistencia de la tasa de interés externa natural	0.50	0.15	0.43	0.50	0.18	0.18	0.69
Persistencia de la brecha de la tasa de interés externa	0.50	0.15	0.42	0.36	0.09	0.19	0.67

Persistencia del choque de IS	$\rho_y$	0.50	0.15	0.53	0.52	0.19	0.28	0.80
Persistencia del choque de la curva de Phillips	$\rho_\pi$	0.50	0.15	0.32	0.32	0.09	0.16	0.47
Desviación estándar del choque de la curva de IS	$\sigma_y$	0.013	$\infty$	0.006	0.005	0.002	0.003	0.008
Desviación estándar del choque del producto potencial	$\sigma_y^-$	0.013	$\infty$	0.008	0.008	0.002	0.005	0.011
Desviación estándar del choque de crecimiento	$\sigma_g$	0.013	$\infty$	0.016	0.013	0.006	0.004	0.026
Desviación estándar del choque de la curva de Phillips	$\sigma_\pi$	0.013	$\infty$	0.026	0.026	0.002	0.023	0.030
Desviación estándar del choque de la tasa de interés nominal	$\sigma_i$	0.013	$\infty$	0.009	0.008	0.003	0.005	0.014
Desviación estándar del choque del tipo de cambio potencial	$\sigma_q$	0.013	$\infty$	0.069	0.068	0.010	0.052	0.086
Desviación estándar del choque UIP	$\sigma_r$	0.013	$\infty$	0.016	0.006	0.002	0.003	0.047
Desviación estándar del choque de la tasa de interés real natural	$\sigma_r^-$	0.013	$\infty$	0.049	0.053	0.008	0.034	0.064
Desviación estándar del choque de la tasa de interés natural extranjera	$\sigma_r^*$	0.013	$\infty$	0.019	0.006	0.003	0.004	0.034
Desviación estándar del choque de tasa de interés externa	$\sigma_r^*$	0.013	$\infty$	0.024	0.034	0.003	0.006	0.037
Verosimilitud marginal								
								784.9973

## Gráfica 7

### PREVIAS Y POSTERIORES: MODELO RETROSPECTIVO



Funciones de densidad previas y posteriores para los parámetros estimados. Las funciones previas están en gris y las posteriores en negro. La línea discontinua vertical señala el promedio del parámetro posterior. Los cálculos se realizaron utilizando Dynare.

## **C.2 Estimación condicionada**

Cuadro A.3

RESULTADOS DE LA ESTIMACIÓN: MODELO RESTROSPESCTIVO

Parámetro	Previa		Posterior			HPD 90 %		
	Media	DE	Media	Modo	DE	Inferior	Superior	
Persistencia del proceso de crecimiento	$\tau$	0.5	0.15	0.57	0.53	0.20	0.32	0.84
Expectativas de inflación	$\lambda_1$	0.5	0.15	0.64	0.68	0.13	0.46	0.85
Elasticidad de la inflación respecto a la brecha del producto	$\lambda_2$	0.3	0.25	0.35	0.30	0.20	0.03	0.65
Elasticidad de la inflación respecto a la depreciación	$\lambda_3$	0.3	0.25	0.04	0.01	0.02	0.00	0.07
Elasticidad de la brecha del producto respecto a su rezago	$\beta_1$	0.5	0.15	0.61	0.71	0.14	0.37	0.86
Elasticidad de la brecha del producto respecto a la brecha de interés real	$\beta_2$	0.3	0.25	0.03	0.01	0.01	0.00	0.05
Elasticidad de la brecha del producto respecto a la brecha de tipo de cambio	$\beta_3$	0.3	0.25	0.05	0.03	0.03	0.00	0.10
Expectativas del tipo de cambio	$\varphi$	0.5	0.15	0.66	0.65	0.08	0.53	0.79
Persistencia de la tasa de interés natural	$\rho_r$	0.5	0.15	0.70	0.70	0.08	0.56	0.83
Persistencia de la tasa de interés externa natural	$\rho_r^*$	0.5	0.15	0.45	0.50	0.18	0.18	0.70
Persistencia de la brecha de la tasa de interés externa	$\kappa$	0.5	0.15	0.42	0.36	0.09	0.19	0.66

Persistencia del choque de IS	$\rho_y$	0.5	0.15	0.68	0.75	0.12	0.47	0.89
Persistencia del choque de la curva de Phillips	$\rho_\pi$	0.5	0.15	0.29	0.28	0.09	0.15	0.43
Desviación estándar del choque de la curva de IS	$\sigma_y$	0.013	$\infty$	0.007	0.006	0.001	0.005	0.009
Desviación estándar del choque del producto potencial	$\sigma_y^-$	0.013	$\infty$	0.008	0.009	0.001	0.005	0.011
Desviación estándar del choque de crecimiento	$\sigma_g$	0.013	$\infty$	0.012	0.006	0.003	0.003	0.021
Desviación estándar del choque de la curva de Phillips	$\sigma_\pi$	0.013	$\infty$	0.026	0.025	0.002	0.022	0.029
Desviación estándar del choque de la tasa de interés nominal	$\sigma_i$	0.013	$\infty$	0.009	0.007	0.003	0.004	0.013
Desviación estándar del choque del tipo de cambio potencial	$\sigma_q$	0.013	$\infty$	0.069	0.068	0.011	0.052	0.086
Desviación estándar del choque de UIP	$\sigma_r$	0.013	$\infty$	0.009	0.006	0.002	0.003	0.017
Desviación estándar del choque de la tasa de interés real natural	$\sigma_r^-$	0.013	$\infty$	0.051	0.054	0.008	0.037	0.065
Desviación estándar del choque de tasa de interés natural externa	$\sigma_r^*$	0.013	$\infty$	0.019	0.006	0.003	0.004	0.035
Desviación estándar del choque de la tasa de interés externa	$\sigma_r^*$	0.013	$\infty$	0.025	0.034	0.003	0.005	0.037
Desviación estándar de la medición de error	$\sigma$	0.013	$\infty$	0.009	0.005	0.002	0.003	0.017
Verosimilitud marginal								
								796.8164



## **D. Resultados de la estimación: modelo híbrido**

### **D.1 Estimación no condicionada**

Cuadro A.4

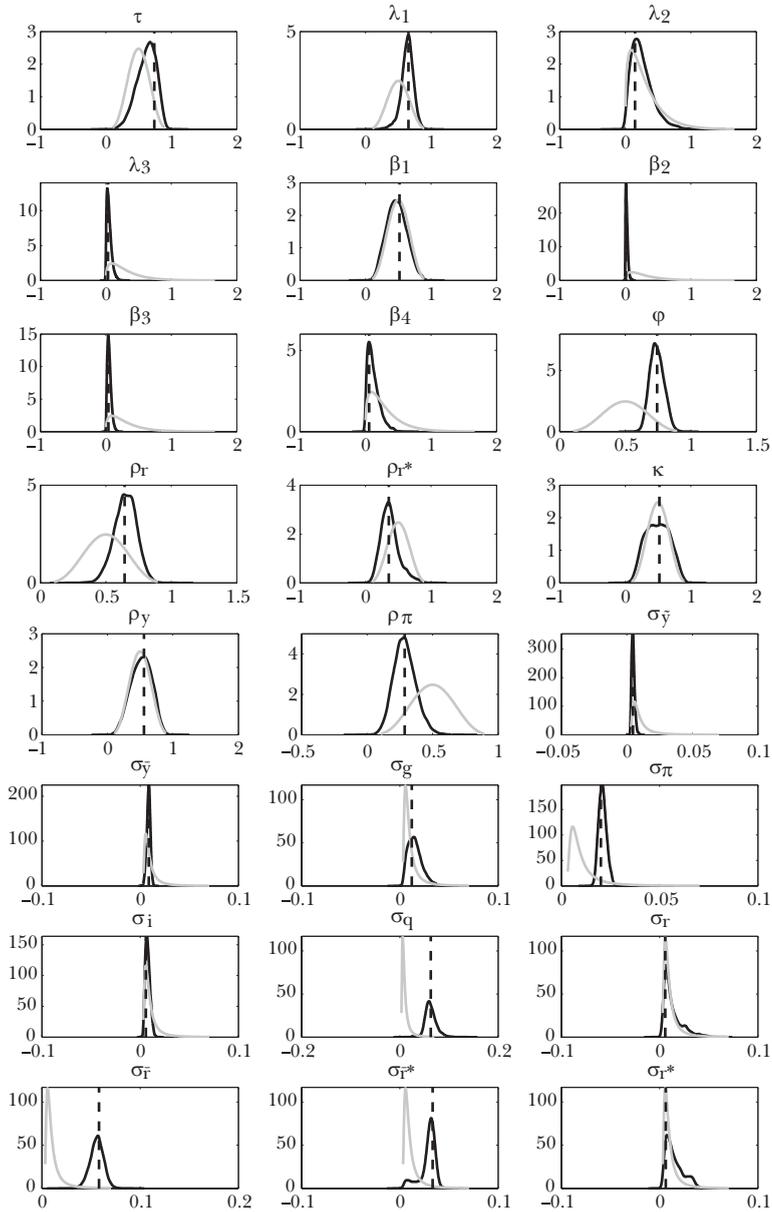
## RESULTADOS DE LA ESTIMACIÓN: MODELO HÍBRIDO

Parámetro	Prior		Posterior		HPD 90%	
	Media	DE	Media	Modo	Inferior	Superior
Persistencia del proceso de crecimiento	0.5	0.15	0.62	0.74	0.39	0.85
Expectativas de inflación	0.5	0.15	0.64	0.66	0.49	0.78
Elasticidad de la inflación respecto a la brecha del producto	0.3	0.25	0.26	0.15	0.01	0.48
Elasticidad de la inflación respecto a la depreciación	0.3	0.25	0.05	0.03	0.00	0.10
Elasticidad de la brecha del producto respecto a su rezago	0.5	0.15	0.47	0.52	0.22	0.71
Elasticidad de la brecha del producto respecto a la brecha de interés real	0.3	0.25	0.12	0.05	0.00	0.25
Elasticidad de la brecha del producto respecto a la brecha de tipo de cambio	0.3	0.25	0.02	0.01	0.00	0.05
Elasticidad de la brecha del producto respecto a las expectativas	0.3	0.25	0.05	0.04	0.01	0.10
Expectativas del tipo de cambio	0.5	0.15	0.74	0.74	0.65	0.83
Persistencia de la tasa de interés natural	0.5	0.15	0.65	0.64	0.51	0.79
Persistencia de la tasa de interés externa natural	0.5	0.15	0.37	0.36	0.14	0.58

Persistencia de la brecha de la tasa de interés externa	$\kappa$	0.5	0.15	0.49	0.52	0.19	0.20	0.78
Persistencia del choque de IS	$\rho_y$	0.5	0.15	0.52	0.56	0.22	0.26	0.77
Persistencia del choque de la curva de Phillips	$\rho_\pi$	0.5	0.15	0.29	0.29	0.09	0.15	0.42
Desviación estándar del choque de la curva IS	$\sigma_y$	0.013	$\infty$	0.005	0.005	0.001	0.003	0.007
Desviación estándar del choque del producto potencial	$\sigma_{\bar{y}}$	0.013	$\infty$	0.009	0.009	0.002	0.005	0.011
Desviación estándar del choque de crecimiento	$\sigma_g$	0.013	$\infty$	0.015	0.012	0.006	0.004	0.026
Desviación estándar del choque de la curva de Phillips	$\sigma_\pi$	0.013	$\infty$	0.021	0.020	0.002	0.018	0.024
Desviación estándar del choque de la tasa de interés nominal		0.013	$\infty$	0.008	0.006	0.002	0.004	0.011
Desviación estándar del choque del tipo de cambio potencial	$\sigma_q$	0.013	$\infty$	0.063	0.063	0.010	0.046	0.080
Desviación estándar del choque de UIP	$\sigma_r$	0.013	$\infty$	0.013	0.006	0.002	0.003	0.027
Desviación estándar del choque de la tasa de interés real natural	$\sigma_r^*$	0.013	$\infty$	0.056	0.058	0.006	0.044	0.067
Desviación estándar del choque de la tasa de interés natural externa	$\sigma_r^*$	0.013	$\infty$	0.029	0.033	0.003	0.014	0.040
Desviación estándar del choque de la tasa de interés externa	$\sigma_r^*$	0.013	$\infty$	0.015	0.006	0.003	0.003	0.030
Verosimilitud marginal		782.029						

Gráfica 9

PREVIAS Y POSTERIORES: MODELO HÍBRIDO



Funciones de densidad previas y posteriores para los parámetros estimados. Las funciones previas están en gris y las posteriores en negro. La línea discontinua vertical señala el promedio del parámetro posterior. Los cálculos se realizaron utilizando Dynare.

## **D.2 Estimación condicionada**

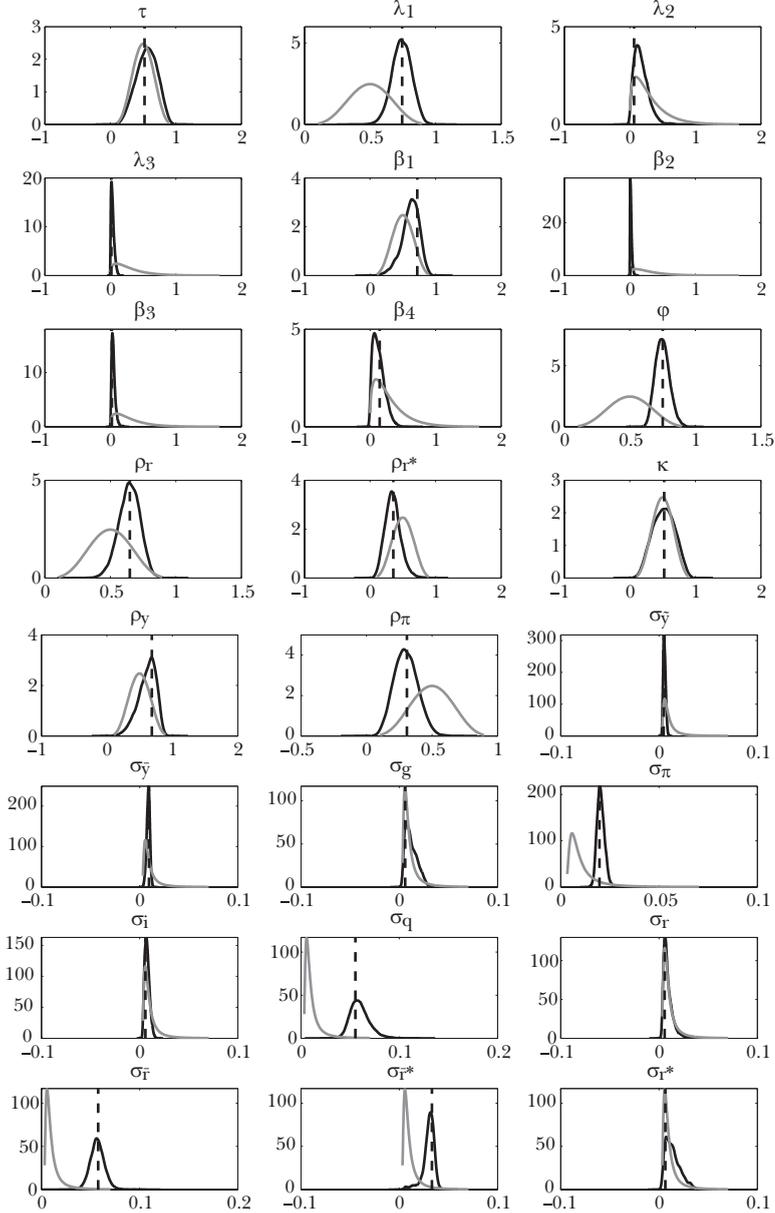
**RESULTADOS DE LA ESTIMACIÓN: MODELO HÍBRIDO**

Parámetro	Anterior		Posterior			HPD 90%	
	Media	DE	Media	Modo	DE	Inferior	Superior
Persistencia del proceso de crecimiento	0.5	0.15	0.55	0.52	0.19	0.3	0.81
Expectativas de inflación	0.5	0.15	0.74	0.75	0.07	0.62	0.86
Elasticidad de la inflación respecto a la brecha del producto	0.3	0.25	0.17	0.06	0.07	0.01	0.32
Elasticidad de la inflación respecto a la depreciación	0.3	0.25	0.03	0.01	0.02	0.00	0.07
Elasticidad de la brecha del producto respecto a su rezago	0.5	0.15	0.61	0.72	0.10	0.40	0.83
Elasticidad de la brecha del producto respecto a la brecha de interés	0.3	0.25	0.13	0.15	0.13	0.00	0.26
Elasticidad de la brecha del producto respecto a la brecha de tipo de cambio	0.3	0.25	0.02	0.01	0.01	0.00	0.04
Elasticidad de la brecha del producto respecto a las expectativas	0.3	0.25	0.05	0.02	0.02	0.01	0.09
Expectativas del tipo de cambio	0.5	0.15	0.75	0.75	0.05	0.66	0.83
Persistencia de la tasa de interés natural	0.5	0.15	0.64	0.65	0.08	0.51	0.77
Persistencia de la tasa de interés externa natural	0.5	0.15	0.35	0.35	0.09	0.15	0.53
Persistencia de la brecha de la tasa de interés externa	0.5	0.15	0.52	0.52	0.19	0.24	0.78

Persistencia del choque de IS	$\rho_y$	0.5	0.15	0.61	0.69	0.14	0.39	0.82
Persistencia del choque de la curva de Phillips	$\rho_\pi$	0.5	0.15	0.3	0.31	0.09	0.15	0.44
Desviación estándar del choque de la curva de IS	$\sigma_y$	0.013		0.006	0.005	0.001	0.003	0.008
Desviación estándar del choque del producto potencial	$\sigma_y^-$	0.013		0.009	0.010	0.001	0.006	0.011
Desviación estándar del choque de crecimiento	$\sigma_g$	0.013		0.012	0.006	0.003	0.004	0.022
Desviación estándar del choque de la curva de Phillips	$\sigma_\pi$	0.013		0.020	0.020	0.002	0.017	0.023
Desviación estándar del choque de la tasa de interés nominal	$\sigma_i$	0.013		0.008	0.006	0.002	0.004	0.011
Desviación estándar del choque del tipo de cambio potencial	$\sigma_q$	0.013		0.060	0.055	0.010	0.045	0.076
Desviación estándar del choque de UIP	$\sigma_r$	0.013		0.009	0.006	0.002	0.003	0.015
Desviación estándar del choque de la tasa de interés real natural	$\sigma_r^-$	0.013		0.057	0.058	0.006	0.045	0.068
Desviación estándar del choque de la tasa de interés natural externa	$\sigma_r^+$	0.013		0.030	0.033	0.003	0.022	0.038
Desviación estándar del choque de la tasa de interés externa	$\sigma_r^*$	0.013		0.014	0.006	0.003	0.004	0.025
Desviación estándar de error de medición	$\sigma$	0.013		0.010	0.005	0.002	0.003	0.018
Probabilidad marginal								
								793.8896

Gráfica 10

PREVIAS Y POSTERIORES: MODELO HÍBRIDO



Funciones de densidad previas y posteriores para los parámetros estimados. Las funciones previas están en gris y las posteriores en negro. La línea discontinua vertical señala el promedio del parámetro posterior. Los cálculos se realizaron utilizando Dynare.

## **E. Resultados de estimación: modelo prospectivo**

### **E.1 Estimación no condicionada**

Cuadro A.6

## RESULTADOS DE ESTIMACIÓN: MODELO PROSPECTIVO

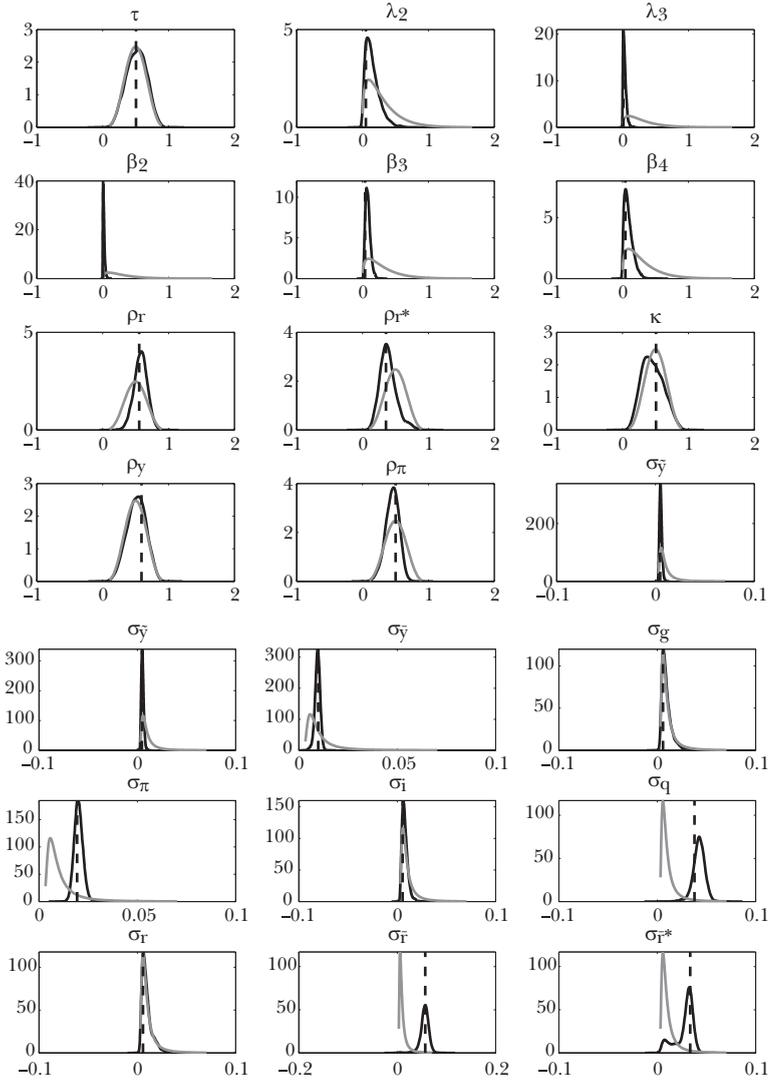
Parámetro	Anterior		Posterior		HPD 90%	
	Media	DE	Media	Modo	Inferior	Superior
Persistencia del proceso de crecimiento	0.5	0.15	0.51	0.51	0.25	0.75
Elasticidad de la inflación respecto a la brecha del producto	0.3	0.25	0.15	0.05	0.00	0.30
Elasticidad de la inflación respecto a la depreciación	0.3	0.25	0.03	0.01	0.00	0.06
Elasticidad de la brecha del producto respecto a la brecha de interés real	0.3	0.25	0.09	0.04	0.00	0.18
Elasticidad de la brecha del producto respecto a la brecha de tipo de cambio	0.3	0.25	0.02	0.01	0.00	0.04
Elasticidad de la brecha del producto respecto a las expectativas	0.3	0.25	0.08	0.04	0.02	0.14
Persistencia de la tasa de interés natural	0.5	0.15	0.57	0.55	0.41	0.73
Persistencia de la tasa de interés externa natural	0.5	0.15	0.39	0.36	0.17	0.57
Persistencia de la brecha de la tasa de interés externa	0.5	0.15	0.46	0.51	0.20	0.73
Persistencia del choque de IS	0.5	0.15	0.51	0.59	0.28	0.76

Persistencia del choque de la curva de Phillips	$\rho_{\pi}$	0.5	0.15	0.45	0.5	0.09	0.28	0.62
Desviación estándar del choque de la curva de IS	$\sigma_y$	0.013	$\infty$	0.005	0.005	0.001	0.003	0.007
Desviación estándar del choque del producto potencial	$\sigma_{\bar{y}}$	0.013	$\infty$	0.010	0.010	0.001	0.007	0.012
Desviación estándar del choque de crecimiento	$\sigma_g$	0.013	$\infty$	0.010	0.006	0.002	0.003	0.017
Desviación estándar del choque de la curva de Phillips	$\sigma_{\pi}$	0.013	$\infty$	0.020	0.019	0.002	0.016	0.024
Desviación estándar del choque de la tasa de interés nominal	$\sigma_i$	0.013	$\infty$	0.008	0.005	0.002	0.004	0.012
Desviación estándar del choque del tipo de cambio potencial	$\sigma_q$	0.013	$\infty$	0.042	0.038	0.007	0.033	0.052
Desviación estándar del choque de UIP	$\sigma_r$	0.013	$\infty$	0.010	0.006	0.002	0.003	0.017
Desviación estándar del choque de la tasa de interés real natural	$\sigma_{\bar{r}}$	0.013	$\infty$	0.056	0.057	0.006	0.043	0.069
Desviación estándar del choque de tasa de interés natural exterior	$\sigma_r^*$	0.013	$\infty$	0.028	0.033	0.003	0.008	0.039
Desviación estándar del choque de la tasa de interés externa	$\sigma_r^e$	0.013	$\infty$	0.016	0.006	0.003	0.004	0.032

782.7967

Figure 11

PREVIAS Y POSTERIORES: MODELO PROSPECTIVO



Funciones de densidad previas y posteriores para los parámetros estimados. Las funciones previas están en gris y las posteriores en negro. La línea discontinua vertical señala el promedio del parámetro posterior. Los cálculos se realizaron utilizando Dynare.

## **E.2 Estimación condicionada**

Cuadro A.7

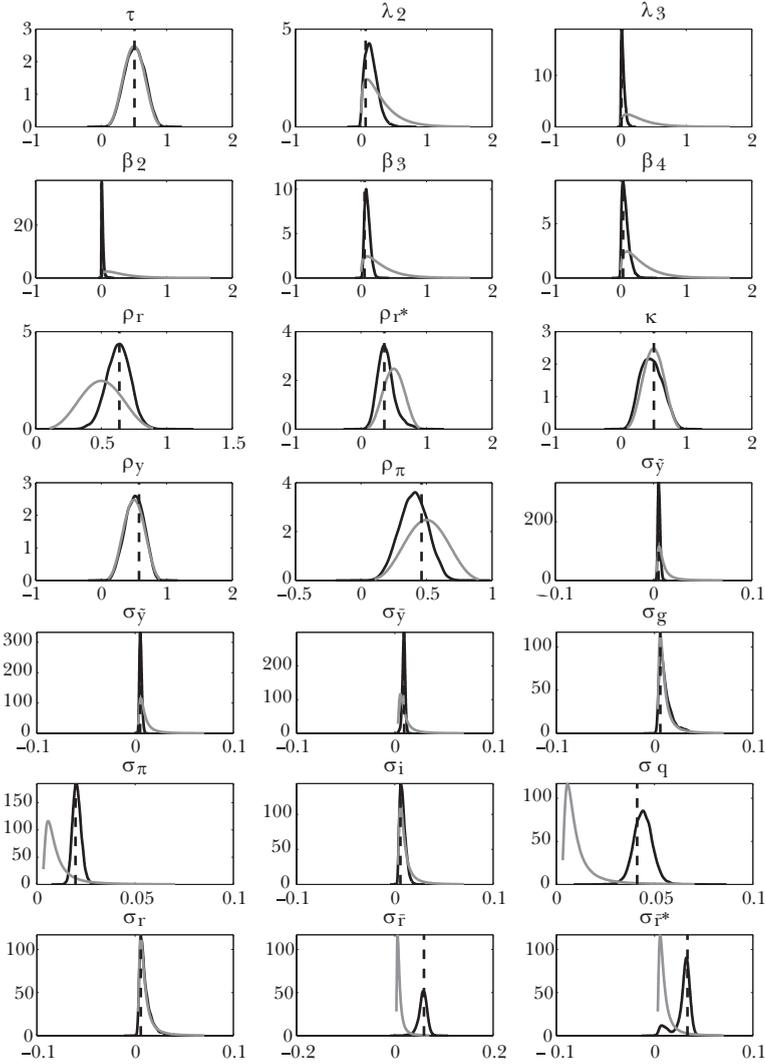
## RESULTADOS DE LA ESTIMACIÓN: MODELO PROSPECTIVO

Parámetro	Anterior		Posterior		HPD 90 %		
	Media	DE	Media	Modo	Inferior	Superior	
Persistencia del proceso de crecimiento	$\tau$	0.5	0.15	0.51	0.18	0.25	0.74
Elasticidad de la inflación respecto a la brecha del producto	$\lambda_2$	0.3	0.25	0.16	0.07	0.01	0.29
Elasticidad de la inflación respecto a la depreciación	$\lambda_3$	0.3	0.25	0.04	0.02	0.00	0.07
Elasticidad de la brecha del producto respecto a la brecha de interés real	$\beta_2$	0.3	0.25	0.07	0.05	0.00	0.15
Elasticidad de la brecha del producto respecto a la brecha del tipo de cambio	$\beta_3$	0.3	0.25	0.02	0.01	0.00	0.04
Elasticidad de la brecha del producto respecto a las expectativas	$\beta_4$	0.3	0.25	0.10	0.03	0.03	0.16
Persistencia de la tasa de interés natural	$\rho_r$	0.5	0.15	0.63	0.08	0.48	0.78
Persistencia de la tasa de interés externa natural	$\rho_r^*$	0.5	0.15	0.38	0.09	0.17	0.58
Persistencia de la brecha de la tasa de interés externa	$\kappa$	0.5	0.15	0.47	0.18	0.20	0.73
Persistencia del choque de IS	$\rho_y$	0.5	0.15	0.51	0.14	0.28	0.75



Gráfica 12

PREVIAS Y POSTERIORES: MODELO PROSPECTIVO



Funciones de densidad previas y posteriores para los parámetros estimados. Las funciones previas están en gris y las posteriores en negro. La línea discontinua vertical señala el promedio del parámetro posterior. Los cálculos se realizaron utilizando Dynare.

## Bibliografía

- Adjemian, S., H. Bastani, M. Juillard, F. Mihoubi, G. Perendia, M. Ratto y S. Villemot (2011), *Dynare: Reference Manual, versión 4*, Dynare Working Papers 1, Cepremap.
- Alfonso, V. A., L. E. Arango, F. Arias y J. D. Pulido (2011), *Ciclos de negocios en Colombia: 1980-2010*, Borradores de Economía, núm. 651, Banco de la República.
- An, S., y F. Schorfheide (2007), “Bayesian Analysis of DSGE Models”, *Econometric Reviews*, vol. 26, núms. 2-4, pp. 113-172.
- Berg, A., P. D. Kara y D. Laxton (2006), *Practical Model-based Monetary Policy Analysis – A How-to Guide*, IMF Working Papers, núm. 06/81, Fondo Monetario Internacional.
- Blinder, A. S. (1999), *Central Banking in Theory and Practice*, vol. 1, MIT Press Books, The MIT Press.
- Canova, F. (2007), *Methods for Applied Macroeconomic Research*, Princeton University Press.
- Castillo, P., C. Montoro y V. Tuesta (2006), “Estimación de la tasa natural de interés para la economía peruana”, *Monetaria*, vol. XXIX, núm. 3, pp. 261-298.
- Christiano, L. J., M. Trabandt y K. Walentin (2010a), “DSGE Models for Monetary Policy Analysis”, en B. M. Friedman y M. Woodford (eds.), *Handbook of Monetary Economics*, Elsevier, vol. 3, capítulo 7, pp. 285-367.
- Christiano, L. J., M. Trabandt y K. Walentin (2010b), *Involuntary Unemployment and the Business Cycle*, NBER Working Papers, núm. 15801, National Bureau of Economic Research.
- Cobo, A. (2004), *Output Gap in Colombia: An Eclectic Approach*, Borradores de Economía, núm. 327, Banco de la República.
- Echavarría, J. J., E. López, M. Misas, J. Téllez y J. C. Parra (2007), “La tasa de interés natural en Colombia”, *Ensayos sobre Política Económica*, vol. 25, núm. 54, pp. 44-89.
- Galí, J., y M. Gertler (1999), “Inflation Dynamics: A Structural Econometric Analysis”, *Journal of Monetary Economics*, vol. 44, núm. 2, pp. 195-222.
- Garnier, J., y B.R. Wilhelmsen (2009), “The Natural Rate of Interest and the Output Gap in the Euro Area: A Joint Estimation”, *Empirical Economics*, vol. 36, núm. 2, pp. 297-319.
- Giraldo, A., M. Misas y E. Villa (2011), “Reconstructing the Recent Monetary Policy History of Colombia from 1990 to 2010”, *Ensayos sobre Política Económica*, vol. 30, núm. 67, pp. 54-103.

- Gómez, J., y J. M. Julio (1998), "Output Gap Estimation, Estimation Uncertainty and its Effect on Policy Rules", *Ensayos sobre Política Económica*, 34, pp. 89-117.
- González, E., L. F. Melo, L. E. Rojas y B. R. Rojas (2011), "Estimations of the Natural Rate of Interest in Colombia", *Money Affairs*, vol. XXIV, núm. 1, pp. 33-75.
- Harvey, A. C., y A. Jaeger (1993), "Detrending, Stylized Facts and the Business Cycle", *Journal of Applied Econometrics*, vol. 8, núm. 3, pp. 231-47.
- Julio, J. M. (2011), *The Hodrick-Prescott Filter with Priors: Linear Restrictions on HP Filters*, MPRA Paper 34202, University Library of Munich.
- Laubach, T., y J. C. Williams (2003), "Measuring the Natural Rate of Interest", *The Review of Economics and Statistics*, vol. 85, núm. 4, pp. 1063-1070.
- Mesonnier, J. S., y J. P. Renne (2007), "A Time-varying Natural Rate of Interest for the Euro Area", *European Economic Review*, vol. 51, núm. 7, pp. 1768-1784.
- Orphanides, A., y J. C. Williams (2002), "Robust Monetary Policy Rules with Unknown Natural Rates", *Brookings Papers on Economic Activity*, vol. 33, núm. 2, pp. 63-146.
- Rodríguez, N., J. L. Torres y A. Velasco (2006), *Estimating an Output Gap Indicator Using Business Surveys and Real Data*, Borradores de Economía, núm. 392, Banco de la República.
- Rudebusch, G., y L. E. Svensson (1999), "Policy Rules for Inflation Targeting", en *Monetary Policy Rules*, University of Chicago Press, pp. 203-262.
- Smets, F., y R. Wouters (2007), "Shocks and Frictions in US Business Cycles: A Bayesian DSGE Approach", *American Economic Review*, vol. 97, núm. 3, pp. 586-606.
- Taylor, J. B. (1993), "Discretion versus Policy Rules in Practice", *Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy*, vol. 39, núm. 1, pp. 195-214.
- Taylor, J. B. (1999), *Monetary Policy Rules*, núm. tay199-1, NBER Books, National Bureau of Economic Research, Inc.
- Torres, J. L. (2007), *La estimación de la brecha del producto en Colombia*, Borradores de Economía, núm. 462, Banco de la República.
- Woodford, M. (2003a), *Interest and Prices: Foundations of a Theory of Monetary Policy*, Princeton University Press.
- Woodford, M. (2003b), "Optimal Interest-rate Smoothing", *Review of Economic Studies*, vol. 70, núm. 4, pp. 861-886.