



BANCO CENTRAL DE RESERVA DEL PERÚ

## **Estimación de la Tasa Natural de Interés para la Economía Peruana**

**Paul Castillo<sup>\*</sup>, Carlos Montoro<sup>\*</sup> y Vicente Tuesta<sup>\*</sup>**

<sup>\*</sup> Banco Central de Reserva del Perú  
Subgerencia de Investigación Económica  
Gerencia de Estudios Económicos

DT. N°. 2006-03  
Serie de Documentos de Trabajo  
Working Paper series  
Junio 2006

Los puntos de vista expresados en este documento de trabajo corresponden a los de los autores y no reflejan necesariamente la posición del Banco Central de Reserva del Perú.

The views expressed in this paper are those of the authors and do not reflect necessarily the position of the Central Reserve Bank of Peru.

# Estimación de la Tasa Natural de Interés para la Economía Peruana\*

Paul Castillo,<sup>\*</sup> Carlos Montoro y Vicente Tuesta  
Banco Central de Reserva del Perú

Primera versión: octubre 2005, esta versión: junio 2006

## Resumen

Con la adopción del esquema de Metas Explícitas de Inflación por un gran grupo de bancos centrales, la estimación de una métrica de la posición de la política monetaria se ha convertido en un tema de interés permanente para académicos, analistas económicos y para los propios bancos centrales. Al respecto, la brecha entre la tasa de interés de corto plazo, que sirve de instrumento de política monetaria y la Tasa Natural de Interés estimada (TNI) -definida esta última como aquella tasa de interés real consistente con la estabilidad de precios en ausencia de fricciones nominales-, se utiliza como indicador de la posición de la política monetaria. En este documento se estima la TNI para la economía peruana. Para ello se implementa la metodología basada en la aplicación del Filtro de Kalman a un modelo semi-estructural de economía abierta y pequeña con data para el Perú correspondiente al periodo 1994-2005. Los resultados muestran una reducción persistente de la TNI en el Perú a partir de 1999, asociada a una mejora de los términos de intercambio y a una reducción de la tasa de interés internacional. Asimismo, la estimación muestra que el impulso monetario habría sido positivo entre 1994 y 1997, negativo entre 1998 y el 2001, y ligeramente positivo para el periodo 2002-2005. Finalmente, el ejercicio de descomposición de varianza de la fluctuación del indicador de la posición de la política monetaria indica que el 24 por ciento de las fluctuaciones en ésta, se explicarían por variaciones en la TNI. Así, de no considerarse una TNI cambiante en el tiempo, la medición de la posición de política monetaria sería menos precisa.

Clasificación JEL: E43, E47, E52, F41

Palabras Clave: Tasa Natural de Interés, Filtro de Kalman, Política Monetaria, Perú.

---

\*Agradecemos a Adrián Armas, Alberto Humala, Gonzalo Llosa, Shirley Miller y a los participantes del Seminario de Investigación Económica del Banco Central de Reserva del Perú y de la X Reunión del CEMLA por sus sugerencias y comentarios. Agradecemos también a Sandra Blossiers y a Pedro Villegas por su colaboración como asistentes de investigación. Los puntos de vista expresados en el presente documento corresponden a los autores y no reflejan necesariamente la posición del Banco Central de Reserva del Perú.

\*\*Comentarios y sugerencias dirigirlas a: paul.castillo@bcrp.gob.pe

## 1. Introducción

En el año 2002 el Banco Central de Reserva del Perú adoptó como estrategia de política monetaria el esquema de Metas Explícitas de Inflación (MEI) y con ello también diversos mecanismos operativos propios de este esquema<sup>1</sup>. En particular, el banco reemplazó el control de agregados monetarios, que caracterizó su política monetaria durante los 90's, por el control de una tasa de interés de corto plazo. El uso de una tasa de interés como instrumento de política monetaria ofrece ventajas frente al control de agregados, especialmente en economías con baja inflación, porque facilita la comunicación de la posición de la política monetaria al mercado. Así, cuando el instrumento operativo del banco central es la tasa de interés de corto plazo, incrementos en la misma son interpretados como señal de una posición de política monetaria más restrictiva. En contraste, cuando la meta operativa es un agregado monetario, no necesariamente este es el caso, debido a que, por ejemplo, un incremento en la tasa de interés de corto plazo puede reflejar también cambios exógenos en la demanda por dinero.

Sin embargo, aún cuando el banco central utiliza la tasa de interés de corto plazo como meta operativa, los cambios que se observan en ésta no necesariamente reflejan modificaciones en su posición de política monetaria. Con el fin de medir adecuadamente la posición de política monetaria, se requiere comparar la tasa de interés que controla el banco central con la Tasa Natural de Interés (TNI). La TNI se define como aquella tasa de interés real no observable que es consistente con un nivel del producto igual al producto potencial, y por lo tanto con una situación en la que no existen presiones de demanda. Wicksell (1898) fue el primero en definir la TNI usando tres conceptos alternativos: (1) tasa de interés que iguala el ahorro y la inversión; (2) la productividad marginal del capital; (3) la tasa de interés que es consistente con la estabilidad de precios agregada. Por su parte, Alan Greenspan (1993) define la TNI como aquella tasa de interés real que hace que la economía se mantenga en su nivel potencial a largo del tiempo. Recientemente, Woodford (2003) define la TNI como la tasa de interés real en un modelo de equilibrio general con precios flexibles, es decir, un modelo en un entorno sin fricciones nominales. La definición de Greenspan es la más cercana con la que se utilizará en este trabajo, no obstante, tanto la tercera definición de Wicksell como la de Woodford (2003) son consistentes con la definición propuesta por Greenspan. Es de señalar, que las definiciones anteriores se refieren a una TNI que cambia en el tiempo en respuesta a los choques reales que afectan la economía.

Si la tasa de interés está por encima (debajo) de la TNI, la política implementada por el banco central puede ser interpretada como una política contractiva (expansiva). Es importante

---

<sup>1</sup> Como la implementación de un sistema de proyección de la inflación, y la elaboración de un reporte periódico con el fin de comunicar sus acciones de política en una forma más frecuente y transparente (Reporte Inflación). Para una descripción más detallada de la implementación del esquema MEI en el Perú, ver Armas y otros (2001).

señalar que el término expansivo (contractivo) se refiere a una situación en la que el banco central busca, a través de la expansión (contracción) de la demanda agregada, acercar el nivel de actividad económica a su nivel potencial, y por tanto inducir un aumento (disminución) gradual de la tasa de inflación.

Una adecuada estimación de la TNI permite no sólo comunicar adecuadamente la posición de la política monetaria, sino también guiar mejor las decisiones de política monetaria del banco central. En ese sentido, este trabajo busca contribuir al debate sobre la posición de política monetaria en el Perú, estimando la TNI para el periodo 1994-2005. Para ello, se aplica el Filtro de Kalman a un modelo semi-estructural de una economía pequeña y abierta, similar al modelo usado por el Banco Central de Reserva del Perú para realizar proyecciones y simulaciones de política monetaria<sup>2</sup>. Es importante señalar, que aún cuando se trata de un modelo semi-estructural, éste contiene los principales ingredientes de un modelo microfundamentado. La estructura central del modelo incluye ecuaciones dinámicas tanto para la demanda así como para la oferta agregada. Asimismo, se incluye un conjunto de ecuaciones que describen la dinámica de la TNI en función de sus determinantes fundamentales. Estos determinantes son consistentes con aquellos que se obtendrían a partir de un modelo de equilibrio general dinámico para una economía pequeña y abierta con mercados incompletos donde los precios son flexibles<sup>3</sup>. En particular, en el modelo la TNI depende positivamente de la tasa natural de interés internacional y del tipo de cambio real de equilibrio, variables que son tratadas como no observables. A su vez, el tipo de cambio real de equilibrio depende negativamente de los términos de intercambio y positivamente de la posición neta de activos externos. En un trabajo reciente, Salas y Ferreyra (2006) encuentran una relación importante entre la posición neta de activos, los términos de intercambio y el precio relativo transables/notransables y el tipo de cambio real equilibrio para la economía peruana.

Dado que la TNI es una variable no observable, ésta se estima utilizando el algoritmo de suavizamiento del Filtro de Kalman. Este filtro permite obtener la TNI como una proyección lineal sobre toda la información muestral y la estructura de la economía. Esta estrategia de estimación es similar a la utilizada por Laubach y Williams (2003). En dicho trabajo se utiliza el filtro de Kalman para estimar la TNI para los Estados Unidos en un modelo semi-estructural

---

<sup>2</sup>El modelo principal de proyecciones y simulaciones del Banco Central de Reserva del Perú, denominado MPT (Modelo de Proyección Trimestral), es un modelo semi-estructural, calibrado para capturar la dinámica de la inflación en el Perú. Para mayores detalles ver Luque y Vega (2003). Una versión actualizada del MPT ha sido presentada recientemente en el Encuentro de Economistas del BCRP 2006. Ver [http://www.bcrp.gob.pe/Espanol/WPublicaciones/seminarios/Conf\\_0603/Conf\\_0603\\_Vega\\_Modelo\\_de\\_Proyeccion.pdf](http://www.bcrp.gob.pe/Espanol/WPublicaciones/seminarios/Conf_0603/Conf_0603_Vega_Modelo_de_Proyeccion.pdf)

<sup>3</sup>Gali y Monacelli (2005) desarrollan un modelo de equilibrio general de una economía pequeña y abierta con mercados completos y muestran como obtener la TNI. En el caso particular de Gali y Monacelli la TNI depende de las productividades relativas entre la economía pequeña y el resto del mundo. Los resultados están condicionados a la estructura simple asumida por los autores.

de pequeña escala para una economía cerrada, donde la TNI esta determinada únicamente por la productividad. También para Estados Unidos, Orphanides y Williams (2002) estiman la TNI pero asumiendo que ésta se comporta un paseo aleatorio<sup>4</sup>.

Si bien es cierto el presente trabajo utiliza la metodología del filtro de Kalman al igual que los citados anteriormente, éste difiere de los mismos porque utiliza un modelo de economía pequeña y abierta calibrado para el Perú. Así esta investigación intenta contribuir también a la discusión sobre la práctica e implementación de la política monetaria en el Perú al utilizar para la estimación de la TNI un modelo similar, en estructura, al utilizado por el Banco Central de Reserva del Perú para realizar proyecciones<sup>5</sup>.

Los resultados más importantes de esta investigación se resumen a continuación. Primero, para todo el periodo muestral (1994-2005) la TNI estimada se encuentra alrededor de 4,8 por ciento anualizada. Segundo, la TNI ha fluctuado de manera importante por sub-periodos en respuesta a los movimientos de sus determinantes fundamentales: la depreciación del tipo de cambio real y la tasa natural internacional. Tercero, se observa una reducción progresiva de la TNI en el Perú a partir de 1999, asociada a una mejora de los términos de intercambio y a una reducción de las tasas de interés internacionales. Asimismo, la posición de la política monetaria consistente con la evolución de la TNI habría sido positiva entre 1994 y 1997, negativa entre 1998 y el 2001, y ligeramente positiva para el periodo 2002-2005. Por su parte, el ejercicio de descomposición de varianza de la fluctuación del indicador de la posición de la política monetaria muestra que el 24 por ciento de las fluctuaciones en éste, se explicaría por variaciones en la TNI. Así, de no considerarse una TNI que fluctúa, la medición del indicador de la posición de política monetaria sería menos preciso.

Seguidamente, con el propósito de evaluar la calidad de la estimación de la TNI, se compara el estimado de la TNI con aquella que se obtiene aplicando el filtro Hodrick-Prescott (HP) a la tasa de interés real observada<sup>6</sup>. Los resultados muestran que la TNI estimada resulta ser más informativa acerca de la posición de la política monetaria con relación a la obtenida mediante el filtro HP. En particular, se verifica que la brecha de tasas obtenida a partir de la estimación de la TNI exhibe una correlación negativa y significativa con los valores futuros de la brecha del producto y la inflación, siendo esta correlación mayor a la que se obtiene con la

---

<sup>4</sup>Por su parte, Clark y Kozicki (2004) estiman la tasa de interés real de equilibrio en tiempo real para los EE.UU usando especificaciones alternativas a las de los autores antes mencionados

<sup>5</sup>Entre aquellos trabajos que utilizan modelos para economías pequeñas y abiertas y el Filtro de Kalman para estimar variables no observables, se encuentran Lindblad y Sellin (2003) que lo utilizan para estimar la tasa natural de desempleo y el tipo de cambio real de equilibrio para Suecia. Por su parte, Crespo-Cuaresma y otros (2003), estima la TNI para la zona del Euro. Mientras que Brzoza-Brzezina (2003,2004) usa la metodología estado-espacio con un modelo VAR estructural para estimar la TNI en los EE.UU. y Polonia.

<sup>6</sup>A diferencia la metodología utilizada en este documento, que toma en cuenta la estructura de la economía al estimar la TNI, la estimación a través del filtro HP usa sólo un criterio de suavizamiento.

estimación generada con el filtro HP. Asimismo, la respuesta tanto de la brecha producto como de la inflación a un cambio en la posición de la política monetaria resulta consistente con los mecanismos de transmisión estimados para la economía peruana. Así, un choque contractivo de 1 por ciento en la posición de la política monetaria reduce la brecha producto y la inflación en -0,3 y -0,2 por ciento, luego de 7 y 5 trimestres, respectivamente.

El resto del documento está organizado de la siguiente manera: en la sección 2, se discute las implicancias de cambios en la TNI en la implementación de la política monetaria. La sección 3 detalla tanto la especificación del modelo que se utiliza para la estimación de la TNI así como los determinantes de la misma. En la sección 4 se describen los datos y se explica brevemente la estrategia econométrica. En la sección 5 se presentan los principales resultados de la estimación, los ejercicios de robustez y evidencia que valida tanto la calibración de los parámetros así como la estructura del modelo. Finalmente, en la última sección se concluye.

## 2. La TNI y la Posición de la Política Monetaria

La mayoría de bancos centrales implementan su política monetaria mediante el control de la tasa de interés nominal de corto plazo. Cambios en la posición de política monetaria se reflejan primero como cambios en esta tasa de interés, luego éstos se transmiten a la demanda agregada, y a través de este canal, finalmente se afecta la inflación. Este mecanismo de transmisión sencillo, se puede ilustrar a partir de dos ecuaciones que resumen el comportamiento de la brecha producto y la inflación en un modelo microfundamentado de equilibrio general para una economía cerrada con fricciones nominales, similar al modelo desarrollado por Clarida, Galí y Gertler (2000)<sup>7</sup>:

$$\tilde{y}_t = E\tilde{y}_{t+1} - (i_t - E_t\pi_{t+1} - \bar{r}_t) \quad (2.1)$$

$$\pi_t = \kappa\tilde{y}_t + \beta E_t\pi_{t+1} \quad (2.2)$$

La primera ecuación (2.1) es una ecuación de demanda agregada estándar. Donde  $\tilde{y}_t$  representa la brecha del producto,  $i_t$  corresponde a la tasa de interés nominal de corto plazo que controla el Banco Central,  $\bar{r}_t$  la tasa natural de interés y  $E_t\pi_{t+1}$  la inflación esperada. La curva de oferta agregada es descrita por la ecuación (2.2), donde la inflación ( $\pi_t$ ) esta determinada por la brecha producto, ( $\tilde{y}_t$ ) y por expectativas futuras de inflación,  $E_t\pi_{t+1}$ . De esta última ecuación es fácil deducir que para estabilizar la inflación es necesario estabilizar la brecha del producto ( $\tilde{y}_t$ ).

Así, en esta economía, como se infiere de la ecuación (2.2), un aumento en la brecha del

---

<sup>7</sup>Es importante señalar que bajo ciertos supuestos, este modelo para una economía cerrada, es válido también para el caso de una economía abierta, ver Galí y Monacelli (2005). Para versiones de economías abiertas con dolarización, ver Felices y Tuesta (2005) y Castillo (2006).

producto ( $\uparrow \tilde{y}_t$ )<sup>8</sup>, lo cual puede ser interpretado como presiones de demanda en la economía, induciría un aumento en la inflación ( $\uparrow \pi_t$ ). Por lo tanto, ¿qué debe hacer el banco central para estabilizar la brecha del producto y eliminar las presiones inflacionarias?. Suponga por simplicidad que las expectativas de inflación son constantes, esto es  $E_t\pi_{t+1} = \pi$ . La ecuación (2.1) muestra cómo la dinámica de la brecha del producto está ligada al accionar del banco central a través de la tasa de interés de política,  $i_t$ . Así, para contrarrestar las presiones de demanda el banco central debería subir la tasa de interés que controla ( $\uparrow i_t$ ) de tal forma que induzca una caída en la brecha del producto ( $\downarrow \tilde{y}_t$ ) y seguidamente a través de la ecuación (2.1) una caída en la inflación.

Pero, ¿cuánto debe aumentar el banco central la tasa de interés de política?, ¿qué sucede si simultáneamente al aumento en la tasa de política ( $\uparrow i_t$ ), se observa un aumento en la tasa natural de interés ( $\uparrow \bar{r}_t$ )?. En este caso la decisión de política monetaria de subir la tasa de interés puede no ser suficiente para estabilizar la brecha del producto y, consecuentemente, no sería efectiva para contrarrestar las presiones inflacionarias gatilladas por el aumento en la demanda agregada. Dado que el banco central no observa la TNI, su estimación, así como el de las variables no observables o fundamentales que la determinan, resulta crucial para una adecuada implementación de la política monetaria. En resumen, los cambios en la tasa de interés de corto plazo que maneja el banco central no necesariamente indican la posición de política monetaria del banco, es el diferencial de esta tasa neta de la inflación esperada ( $i_t - \pi$ ) con la tasa natural de interés ( $\bar{r}_t$ ), el indicador que mide la posición de la política monetaria. Dada la importancia de esta variable, esta investigación se centrará en estimar la TNI ( $\bar{r}_t$ ).

De esta forma, se define  $\tilde{r}_t$  como el indicador de la posición de política monetaria del banco central:

$$\tilde{r}_t = i_t - E_t\pi_{t+1} - \bar{r}_t \quad (2.3)$$

$\tilde{r}_t$  es la brecha entre la tasa de interés real de corto plazo ( $i_t - E_t\pi_{t+1}$ ) y la TNI ( $\bar{r}_t$ ). Conceptualmente la TNI es aquella consistente con la estabilidad de precios, es decir, aquella que garantiza una inflación igual a la meta del banco central<sup>9</sup>. Así, la brecha de tasa de interés  $\tilde{r}_t$  es un indicador de la posición de la política monetaria porque es la variable que finalmente afecta la demanda agregada ( $\tilde{y}_t$ ) y consecuentemente la inflación ( $\pi_t$ ). Cuando  $\tilde{r}_t$  es positiva (negativa), se dice que el banco central mantiene una posición contractiva (expansiva) puesto que la tasa de interés de política monetaria neta de la inflación esperada ( $i_t - E_t\pi_{t+1}$ ) es mayor (menor) a la tasa natural ( $\bar{r}_t$ ).

---

<sup>8</sup>Este cambio en la brecha del producto puede ser generado por un cambio en el componente cíclico del producto o por un cambio en el componente permanente del mismo. Las características subyacentes en los choques son las que finalmente explicarán el cambio en la brecha del producto.

<sup>9</sup>En los modelos de equilibrio general microfundamentados, la tasa natural de interés depende de choques reales de la economía.

Otra forma de analizar el concepto de la tasa natural de interés es a través de la función de reacción de los bancos centrales. Usualmente, los bancos centrales fijan su posición de política monetaria en función de la evolución esperada de la economía, que por lo general se resume en las proyecciones que este tenga sobre la inflación y la brecha producto. Una forma sencilla de implementar este tipo de función de reacción es utilizando una regla de tasas de interés, como la que se muestra en la ecuación (2.4). Este tipo de reglas se conocen en la literatura como reglas tipo Taylor<sup>10</sup>,

$$i_t = \bar{r}_t + \phi_\pi (E_t \pi_{t+h} - \bar{\pi}) + \phi_y \tilde{y}_t + v_t \quad (2.4)$$

donde,  $\bar{\pi}$ ,  $E_t \pi_{t+h}$ ,  $\tilde{y}_t$  y  $v_t$  representan la meta de inflación que mantiene el banco central, la inflación esperada  $h$  periodos en el futuro, la brecha producto en el periodo  $t$ , y un choque de política monetaria exógeno, respectivamente. Así, cuando la inflación esperada se ubica por encima de la meta, el banco central reaccionará subiendo su tasa de interés y por tanto adoptará una posición de política monetaria más contractiva. De manera similar, cuando  $\tilde{y}_t$  sea mayor que cero el banco central implementará una política monetaria contractiva.

Sin embargo, tal como se discutió anteriormente, si el banco central no observa las fluctuaciones en la TNI ( $\bar{r}_t$ ), aún cuando no existan desvíos esperados en la inflación o en la brecha producto, la posición de política monetaria del banco central puede cambiar. Para ilustrar este caso, supongamos que la TNI baja ( $\downarrow \bar{r}_t$ ) por un choque fundamental no observado por el banco central<sup>11</sup>. Bajo estas condiciones, si el banco central mantiene inalterada su tasa de interés, induciría una posición de política monetaria contractiva ( $\tilde{r}_t > 0$ ), que no necesariamente reflejaría un cambio intencional en la posición de la política monetaria. Por el contrario, si el banco central observara el choque que afecta la TNI ( $\bar{r}_t$ ) podría mantener su posición de política monetaria inalterada, ajustando adecuadamente,  $i_t$ . Por ello es importante, para la implementación adecuada de la política monetaria, que el banco central tenga una estimación precisa no sólo de la inflación esperada y la brecha producto, sino también de la TNI.

En la siguiente sección se presenta un modelo sencillo de una economía pequeña y abierta, que contiene dos sub-grupos de ecuaciones, el primero muestra cómo la posición de política monetaria afecta la brecha producto y la inflación, y el segundo describe la dinámica de los determinantes de la TNI. Este modelo se utilizará para la estimación de la TNI.

---

<sup>10</sup>Taylor (1993) ha mostrado evidencia empírica que una regla de este tipo puede explicar el comportamiento histórico de la política monetaria en los Estados Unidos.

<sup>11</sup>Por ejemplo debido a una reducción de la tasa de interés externa. Este mecanismo se discute de manera extensa en la siguiente sección.



### 3. El modelo

El modelo estilizado es similar a los modelos semi-estructurales utilizados por Llosa y Miller (2005) y por el Banco Central de Reserva del Perú<sup>12</sup>. Cabe señalar que aún cuando el modelo es semi-estructural, todas las ecuaciones pueden ser fácilmente racionalizadas a partir de un modelo microfundamentado. A diferencia de los trabajos antes mencionados, en este trabajo se añaden al modelo un conjunto de ecuaciones que capturan la dinámica de la TNI.

Las ecuaciones del modelo pueden agruparse en dos conjuntos de ecuaciones: el primero contiene aquellas ecuaciones que muestran cómo la posición de la política monetaria afecta la brecha producto e inflación, mientras que el segundo describe los determinantes de la TNI.

Sea una variable  $x$ , en adelante se denota  $\tilde{x}$  a la brecha de las variables respecto a sus valores naturales, y  $\bar{x}$  a los valores naturales de los mismos, respectivamente, tal que  $x = \tilde{x} + \bar{x}$ .

#### 3.1. Dinámica de Corto Plazo y Mecanismos de Transmisión

Los mecanismos de transmisión de la posición de política monetaria se capturan a través de dos ecuaciones principales que son consistentes con la versión log-linearizada de un modelo Neo Keynesiano para una economía pequeña y abierta y similares a las empleadas por el MPT<sup>13</sup>. Las ecuaciones son las siguientes:

$$\tilde{y}_t = \alpha_1 \tilde{y}_{t-1} + \alpha_2 \tilde{r}_{t-1} + \alpha_3 \tilde{q}_{t-1} + \alpha_4 \tilde{T}_t + \eta_t^{\tilde{y}} \quad (3.1)$$

$$\pi_t^{core} = \beta_1 \pi_{t-1}^{core} + \beta_2 \pi_t^m + \beta_3 \tilde{y}_{t-1} + (1 - \beta_1 - \beta_2) E_t \pi_{t+1} + \eta_t^{\pi^c} \quad (3.2)$$

La primera ecuación (3.1) constituye la ecuación de demanda agregada, donde  $\tilde{y}_t$  es la brecha del producto y  $\tilde{r}_{t-1}$  es la brecha rezagada de la tasa de interés real respecto a la TNI que captura la posición de la política monetaria. Adicionalmente, se incluyen dos factores relevantes para economías abiertas,  $\tilde{q}_{t-1}$  y  $\tilde{T}_t$  que corresponden a las brechas del tipo de cambio real y los términos de intercambio, respectivamente. El nivel del tipo de cambio real  $q_t \equiv \left( \frac{S_t P_t^*}{P_t} \right)$  se define como el ratio entre los precios externos expresados en moneda doméstica ( $S_t P_t^*$ ) y los precios domésticos ( $P_t$ )<sup>14</sup>. Por su parte,  $T_t \equiv \frac{p_x}{p_m}$  representa los términos de intercambio. Este último captura, principalmente, el efecto de los cambios en los precios de exportación ( $p_x$ ) e importación ( $p_m$ ) sobre las exportaciones netas. Finalmente, se considera un elemento adicional,

<sup>12</sup>Llosa y Miller (2005) utilizan un modelo semi-estructural para la estimación de la brecha del producto, mientras que el BCRP utiliza un modelo semi-estructural, el MPT, para realizar proyecciones de inflación.

<sup>13</sup>Es un modelo neo-keynesiano en el sentido de que, presumiblemente, detrás de la determinación de la curva de oferta agregada subyacen los supuestos de competencia monopolística entre firmas así como alguna forma de fricción nominal en precios o salarios que permiten obtener una dinámica de inflación.

<sup>14</sup> $S_t$  corresponde al tipo de cambio nominal.

$\tilde{y}_t$  que corresponde a un choque a la demanda agregada, el cual puede ser interpretado, entre otros choques, como un cambio exógeno en el gasto del gobierno.

La segunda ecuación (3.2) describe la dinámica de la oferta agregada de la economía. Esta ecuación caracteriza la dinámica de la inflación subyacente ( $\pi_t^{core}$ ), la cual exhibe alguna forma de indexación de precios ( $\pi_{t-1}^{core}$ ), y además depende de las expectativas de inflación ( $E_t\pi_{t+1}$ ) y de un componente relacionado con la inflación importada ( $\pi_t^m$ ). Este último es importante para la determinación de la inflación en economías abiertas. Finalmente, el término  $\eta_t^{\pi^c}$ , puede ser interpretado como un choque de oferta<sup>15</sup>. A su vez, la inflación observada ( $\pi_t$ ) esta compuesta por la suma de la inflación subyacente ( $\pi_t^{core}$ ) y la no subyacente, ( $\varepsilon_t^\pi$ ) como se muestra en la ecuación (3.3). Es de señalar, que la inflación no subyacente captura fluctuaciones de muy corto plazo no atribuibles a la evolución de la demanda agregada.

$$\pi_t = \pi_t^{core} + \varepsilon_t^\pi \quad (3.3)$$

Además, con el objetivo de modelar la tendencia decreciente de la inflación que se observa durante el periodo muestral, se asume que las expectativas de inflación siguen un mecanismo de corrección de errores, similar al empleado en Llosa y Miller (2005)<sup>16</sup>.

$$E_t\pi_{t+1} = \bar{\pi}_{t+1} + (\pi_t^{core} - \bar{\pi}_t) = \pi_t^{core} + \Delta\bar{\pi}_{t+1} \quad (3.4)$$

Donde  $\bar{\pi}_t$  es la meta de inflación anunciada por el Banco Central . Este mecanismo permite que las expectativas de inflación evolucionen guiadas por el cambio en la meta de inflación del Banco Central. Reemplazando la ecuación (3.4) en la ecuación (3.2), se obtiene la siguiente expresión para la curva de oferta agregada:

$$\pi_t^{core} = \frac{\beta_1}{\beta_1 + \beta_2}\pi_{t-1}^{core} + \frac{\beta_2}{\beta_1 + \beta_2}\pi_t^m + \frac{\beta_3}{\beta_1 + \beta_2}\tilde{y}_{t-1} + \frac{1 - \beta_1 - \beta_2}{\beta_1 + \beta_2}\Delta\bar{\pi}_{t+1} + n_t^\pi \quad (3.5)$$

donde además se ha realizado la siguiente normalización  $n_t^\pi = n_t^{\pi^c} / (\beta_1 + \beta_2)$ .

Adicionalmente, se asume que la brecha del tipo de cambio real sigue un proceso autorregresivo de orden 1, y la brecha de tasas de interés ( $\tilde{r}_t$ ), se define como la diferencia entre la tasa de interés real observada ( $r_t$ ) y la TNI ( $\bar{r}_t$ ):

$$\tilde{q}_t = \rho_q\tilde{q}_{t-1} + \eta_t^{\tilde{q}} \quad (3.6)$$

$$\tilde{r}_t = r_t - \bar{r}_t \quad (3.7)$$

<sup>15</sup>Se debe notar que esta especificación de la Curva de Phillips verifica la neutralidad del dinero en el largo plazo  $\pi_t^{core} = E_t\pi_{t+1} = \bar{\pi}_{t+1}$ , que es equivalente a la inflación objetivo (2.5% para el caso peruano).

<sup>16</sup>Esta forma de modelar las expectativas es conveniente porque elimina todos los componentes previsores, "forward looking", de la dinámica de la inflación. Este supuesto facilita la estimación con el filtro de Kalman.

Por su parte, el componente cíclico de la posición neta de activos  $(\tilde{B}_t)$  depende de la brecha del producto  $\tilde{y}_t$  y de  $\eta_t^{\tilde{b}}$  que captura posibles errores de medida

$$\tilde{B}_t = \rho_{\tilde{b}} \tilde{y}_t + \eta_t^{\tilde{b}} \quad (3.8)$$

Finalmente, se asume que todos los choques son independientes y que están normalmente distribuidos, tal que:  $\eta_x \sim N(0, \sigma_x^2)$

### 3.2. Dinámica de la TNI

La dinámica de corto plazo descrita en la sección anterior es consistente con una economía en la cual choques monetarios tienen efectos sobre las variables reales y por lo tanto son útiles para determinar la dinámica de la inflación. Por el contrario, para determinar la TNI se requiere de un subsistema de ecuaciones en las que choques nominales no tengan efectos sobre las variables reales. En esta sección, se define este segundo subsistema que permite determinar la evolución de la TNI en función a variables exógenas y/o choques estructurales de la economía. De esta manera se obtendrá una TNI variable en el tiempo consistente con este subsistema (diferente a una tasa constante de largo plazo).

El subsistema considera las características de una economía pequeña y abierta con movilidad de capitales. En este tipo de economías las variables endógenas fundamentales son la TNI, el tipo de cambio real de equilibrio  $(\bar{q}_t)$ , la posición neta de activos  $(\bar{B}_t)$  y el producto potencial  $(\bar{y}_t)$ . Asimismo, el conjunto mínimo de variables exógenas estructurales que afectan este tipo economías son: productividad  $(\mu_t)$ , gasto de gobierno  $(\bar{g}_t)$ , términos de intercambio  $(\bar{T}_t)$  y una prima por riesgo  $(\rho_t)$ .

A continuación se detalla las ecuaciones que conforman este subsistema. La primera ecuación relaciona la TNI  $(\bar{r}_t)$  con la evolución de la tasa de interés internacional y el tipo de cambio real de equilibrio, a través de la condición de paridad descubierta de tasas de interés (PDI) en términos reales. Así la TNI esta determinada por:

$$\bar{r}_t = \gamma_1 \bar{r}_t^* + \Delta \bar{q}_t + \tau_t \quad (3.9)$$

Donde  $(\bar{r}_t^*)$  corresponde a la tasa natural externa,  $\Delta \bar{q}_t$ , la tasa de depreciación del tipo de cambio real, y  $(\tau_t)$  captura la prima por riesgo. A su vez, la prima por riesgo evoluciona de la siguiente manera:

$$\tau_t = \gamma_0 + \rho_{\bar{r}} \tau_{t-1} + \eta_t^{\bar{r}} \quad (3.10)$$

Por simplicidad asumimos  $\rho_{\bar{r}} = 0$  y  $\eta_t^{\bar{r}} \sim N(0, \sigma_{\bar{r}}^2)$ . De esta forma la TNI estaría influenciada por una prima cambiante en el tiempo que se refleja en  $\eta_t^{\bar{r}}$ .

Por su parte, la tasa de depreciación del tipo de cambio real está determinada por la tasa de crecimiento del PBI potencial ( $\Delta\bar{y}_t$ ), cambios en la posición neta de activos ( $\Delta\bar{B}_t$ ), cambios en el gasto público ( $\Delta\bar{g}_t$ ) y cambios en los términos de intercambio ( $\Delta\bar{T}_t$ )<sup>17</sup>, tal como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\Delta\bar{q}_t = \psi_0 + \psi_1\Delta\bar{y}_t + \psi_2\Delta\bar{B}_t + \psi_3\Delta\bar{g}_t + \psi_4\Delta\bar{T}_t + \eta_t^{\bar{q}} \quad (3.11)$$

donde  $\eta_t^{\bar{q}}$  corresponde a un choque a la paridad de poder de compra y se asume que se distribuye normalmente,  $\eta_t^{\bar{q}} \sim N(0, \sigma_{\bar{q}}^2)$

Es importante señalar que la ecuación (3.11) se expresa en tasas de crecimiento pues es consistente con la evidencia empírica de presencia de tendencias estocásticas en el PBI, los términos de intercambio, la posición neta de activos y los gastos de gobierno. Así, se asume que el PBI potencial ( $\bar{y}_t$ ) está determinado únicamente por choques permanentes de productividad ( $\bar{y}_t = \bar{A}_t$ ), donde  $\bar{A}_t$  representa el efecto permanente del choque de productividad. En las ecuaciones (3.12) y (3.13) se explícitan los supuestos antes descritos

$$\Delta\bar{y}_t = \mu_t \quad (3.12)$$

$$\mu_t = \phi\mu_{t-1} + (1 - \phi)\bar{\mu} + \eta_t^\mu \quad (3.13)$$

donde  $\bar{\mu}$  representa la tasa de crecimiento de la productividad de largo plazo y  $\eta_t^\mu$  captura los choques a la tasa de crecimiento de la productividad. Así, cuando  $\eta_t^\mu$  aumenta la tasa de crecimiento de la productividad ( $\mu_t$ ) aumenta temporalmente, en tanto que el nivel de productividad así como el nivel del producto potencial, aumentan de manera permanente.

Por su parte, la posición neta de activos, durante el periodo muestral, no es estacionaria. Por ello, para esta variable también se asume que los choques tienen efectos permanentes, es decir, sólomente sus tasas de crecimiento revierten a una media de largo plazo

$$\Delta\bar{B}_t = \rho_{\bar{b}}\Delta\bar{B}_{t-1} + \eta_t^{\bar{b}} \quad (3.14)$$

Finalmente, las variables exógenas, tanto el gasto de gobierno como los términos de intercambio, se modelan como procesos no estacionarios.

Este sistema, conjuntamente con el anterior, se utiliza para definir un sistema estado espacio (ver apéndice), que permite estimar la TNI aplicando el algoritmo de suavizamiento del Filtro

---

<sup>17</sup>  $B_t$ , es definido como el negativo de la posición de activos externos netos, la cual es igual al total de pasivos externos menos el total de activos externos. Incluimos los activos externos netos como un determinante del tipo de cambio de equilibrio, para ser consistentes con la evidencia empírica de Lane y Milesi-Ferreti (2005). Ellos resaltan la importancia de la composición de la posición de activos externos netos para explicar el ajuste de precios relativos.

de Kalman.

### 3.2.1. Mecanismos detrás de la dinámica de la TNI

Las ecuaciones anteriores se pueden racionalizar a partir de las condiciones de equilibrio de un modelo de equilibrio general en su forma reducida. Para ilustrar estos mecanismos, a continuación se presenta una discusión intuitiva -pero no formal- de los mismos.

Como muestra la ecuación (3.9) un incremento a la tasa natural de interés externa conlleva a un incremento proporcional en la TNI. Adicionalmente, una depreciación real ( $\uparrow \Delta \bar{q}_t$ ) induce a un aumento en la TNI ( $\uparrow \bar{r}_t$ ) de equilibrio. Finalmente, choques positivos a la prima por riesgo afectan positivamente a la TNI de equilibrio.

Además de los choques a la tasa natural internacional y a la prima por riesgo, otros choques pueden afectar la TNI a través de movimientos en el tipo de cambio real:

- Un incremento en la tasa de crecimiento de la productividad doméstica ( $\uparrow \mu_t$ ) puede generar una apreciación o depreciación del tipo de cambio real ( $\bar{q}_t$ ) a través de dos mecanismos:
  - Un efecto directo que induce a una caída en los precios relativos de los bienes domésticos respecto a los externos, ( $\downarrow \frac{P_t}{P_t^*}$ ), al reducirse el costo de producción doméstico por la ganancia de productividad. Dado el tipo de cambio nominal ( $S_t$ ) se generaría una depreciación del tipo de cambio real ( $\uparrow \bar{q}_t \equiv \frac{S_t P_t^*}{P_t} \uparrow$ ).
  - El segundo efecto, llamado efecto riqueza, actúa a través del aumento en el ingreso permanente de las familias de la economía doméstica. La mayor riqueza esperada induce a una mayor demanda agregada ( $\uparrow \bar{y}_t$ ) lo cual ejerce presión al alza sobre los precios relativos domésticos ( $\uparrow P_t/P_t^*$ ), y consecuentemente una apreciación en el tipo de cambio real de equilibrio ( $\downarrow \bar{q}_t \equiv \frac{S_t P_t^*}{P_t} \downarrow$ ).

Si el primer efecto domina, el parámetro  $\psi_1$  es positivo y la TNI aumentaría. En caso contrario, si el parámetro  $\psi_1$  es negativo la TNI disminuiría.

- Por otro lado, una reducción en la posición de activos externos netos, por ejemplo ocasionado por un aumento en la deuda ( $\uparrow \bar{B}_t$ ), deprecia el tipo de cambio real. La economía debe generar superávits comerciales futuros que permitan eventualmente reducir la posición deudora. El parámetro  $\psi_2$  sería positivo induciendo un aumento en la TNI ( $\uparrow \bar{r}_t$ ).
- Adicionalmente, un aumento en el gasto de gobierno ( $\uparrow \bar{g}_t$ ), el cual generalmente se destina al sector no transable, incrementaría la demanda de los bienes no transables lo cual

induciría un aumento en los precios relativos domésticos no transables ( $\uparrow P_t^{NT}/P_t^T$ ). Esto último se reflejaría en una apreciación en el tipo de cambio real de equilibrio ( $\downarrow \bar{q}_t \equiv \frac{S_t P_t^*}{P_t \uparrow}$ ). Así, el parámetro  $\psi_3$  sería positivo induciendo un aumento en la TNI ( $\uparrow \bar{r}_t$ ).

- Finalmente, una mejora en los términos de intercambio ( $\uparrow \bar{T}_t \equiv \frac{p_x}{p_m}$ ) origina una apreciación el tipo de cambio real ( $\downarrow \bar{q}_t$ ). Por ejemplo, mayores precios de exportación ( $\uparrow p_x$ ) incrementan el precio relativo de bienes domésticos respecto a bienes extranjeros lo cual se traduce en una apreciación real ( $\downarrow \bar{q}_t$ ). En este caso el parámetro  $\psi_4$  sería negativo y tendría un efecto negativo en la TNI ( $\downarrow \bar{r}_t$ ).

A continuación se presenta un ejemplo para ilustrar el efecto de uno de los determinantes de la TNI sobre la posición de política monetaria. Supongamos que la economía enfrenta un choque negativo de términos de intercambio ( $\downarrow \bar{T}_t$ ), que deprecia el tipo de cambio real de equilibrio ( $\uparrow \bar{q}_t$ ) y por tanto ocasiona un aumento en la TNI ( $\uparrow \bar{r}_t$ ). Si el banco central mantiene su tasa de interés ( $i_t$ ) inalterada, se estaría induciendo una posición de política monetaria expansiva ( $\tilde{r}_t < 0$ ), impulsando un aumento en la brecha de producto ( $\uparrow \tilde{y}_t$ ) y consecuentemente mayor inflación. Es importante señalar, que el resultado anterior se obtendría si el banco central no conoce los factores que afectan la TNI o si estima la misma inapropiadamente, y no necesariamente por una reacción endógena del banco central.

## 4. Datos y Estrategia Econométrica

En esta sección se describen los datos y la estrategia econométrica utilizada en la estimación de la tasa natural de interés. La descripción de la evolución reciente de los datos resulta útil para guiar al lector en la interpretación de los determinantes de la TNI.

### 4.1. Los datos

Se usa información trimestral para el período 1994-2005. Se escoge este periodo muestral con la finalidad de capturar las características más recientes de la economía peruana. La información para periodos previos presenta quiebres estructurales generados, por un lado, por el programa de estabilización y las reformas estructurales de comienzos de los noventas, y por otro lado, por el episodio de hiperinflación de finales de los ochentas. Si bien la muestra es relativamente corta, permite estimar, con un razonable nivel de confianza, el conjunto de parámetros que son más importantes para nuestros resultados, en particular, los asociados a las variables no observadas.

El grupo de series de tiempo usado para estimar el modelo está compuesto por: el PBI desestacionalizado,  $y_t$ , la tasa de inflación resultante del IPC,  $\pi_t$ , el tipo de cambio real bilateral,  $q_t \equiv \frac{S_t P_t^*}{P_t}$ , los términos de intercambio definidos como los precios de las exportaciones ( $p_x$ ) sobre los precios de las importaciones ( $p_m$ ),  $T_t \equiv \frac{p_x}{p_m}$ , el promedio trimestral de la tasa de interés real de los fondos de la Reserva Federal,  $r_t^*$ , y la posición externa neta de activos en dólares americanos,  $-B_t$ . Todas las variables, excepto las tasas de interés, están expresadas en logaritmos y luego multiplicadas por 100.

Dado que la tasa de interés interbancaria nominal es el instrumento operativo usado por el Banco Central del Perú desde la adopción del esquema de MEI, se ha escogido la tasa de interés real interbancaria promedio,  $r_t$ , como la tasa de interés doméstica. La tasa de interés real se mide en términos ex-ante, usando la inflación esperada estimada a partir de un proceso autorregresivo<sup>18</sup>.

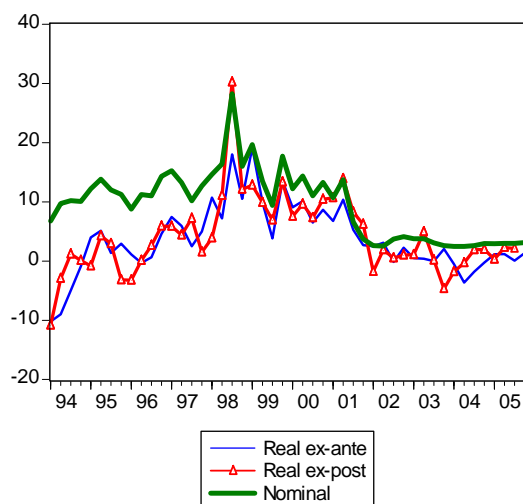


Figura 1: Tasa de Interés de Corto Plazo

En la figura 1 se grafican la tasa de interés real ex-ante ( $i_t - E_t \pi_{t+1}$ ), la tasa real ex-post ( $i_t - \pi_{t+1}$ ) y la tasa de interés nominal observada ( $i_t$ )<sup>19</sup>. Este gráfico muestra que hay diferencias marcadas por sub-periodos. En el primer sub-periodo, 1994-1997, se observa una diferencia importante entre la tasa de interés nominal y las tasas reales debido a que la inflación promedio en este periodo fue superior al 10 por ciento. Por otro lado, en el segundo sub-periodo, 1998-2001, las tres tasas se comportan de manera similar, no obstante, exhiben una dinámica

<sup>18</sup>En particular, para modelar la inflación esperada usamos un proceso AR(2) de la forma  $\pi_t = \rho_1 \pi_{t-1} + \rho_2 \pi_{t-2} + \epsilon_t$ . Se escoge este proceso porque es el que mejor se ajusta en la muestra.

<sup>19</sup>La tasa de interés real ex ante se define como la tasa de interés nominal descontada por la inflación esperada, mientras que la tasa ex post es descontada por inflación ejecutada

más volátil y un promedio más alto con relación al sub-periodo anterior. Finalmente, en el último sub-periodo, 2002 en adelante, se observa una caída persistente en las tasas nominales y reales y una mayor estabilidad de las mismas que coinciden con la adopción del régimen de MEI<sup>20</sup>. En la sección 5 se descompone la evolución descrita para la tasa de interés real entre variaciones entre la TNI y la posición de política.

Por otro lado, en la figura 2 se muestra la evolución de los determinantes de la TNI descritos en la sección anterior. Entre los años 1994-1997 los términos de intercambio y los flujos de capitales fueron favorables a la economía. El flujo de capitales extranjeros permitió financiar los persistentes déficits en cuenta corriente. Como consecuencia, durante este periodo el producto creció a tasas altas, mientras que el tipo de cambio real mostró una tendencia apreciatoria. De 1998 al 2001, por el contrario, las condiciones externas empeoraron, los términos de intercambio cayeron y se observó una salida de capitales, generando una reducción en la actividad económica, mayores tasas de interés reales y una fuerte depreciación del tipo de cambio real.

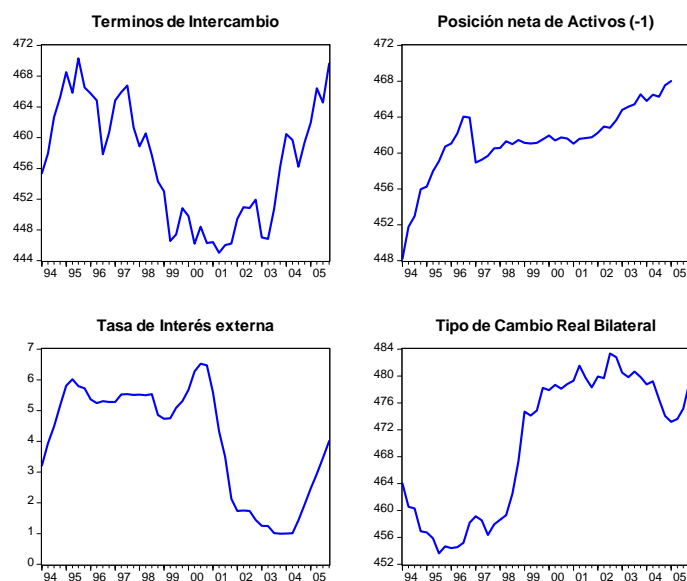


Figura 2: Variables Externas

<sup>20</sup>Como ha sido discutido en detalle en Llosa et. al. (2005), se observa un cambio en el comportamiento cíclico de los datos, tanto como consecuencia de la adopción de un esquema de MEI a partir del 2002, así como por la adopción de un nuevo instrumento de política monetaria, la tasa de interés. En particular, las media y varianzas tanto de la inflación como de la tasa de interés nominal han disminuido después de la adopción del régimen de MEI, mientras que las correlaciones del producto y la inflación con las tasas de interés de corto plazo se han incrementado.



Durante el periodo más reciente, 2002-2005, la evolución del producto y las tasas de interés han sido más estables. La inflación y el nivel de tasas de interés han caído, reflejando los efectos positivos de la adopción de un nuevo régimen monetario basado en el esquema de MEI. Se observa también que el tipo de cambio muestra una nueva tendencia apreciatoria, explicada principalmente por la mejora en los términos de intercambio.

La descripción anterior de los datos ayudará a explicar la dinámica de la TNI estimada a partir de la evolución de sus determinantes fundamentales.

## 4.2. Estrategia Econométrica

Para estimar la TNI se aplica el filtro de Kalman a la representación de estado espacio del modelo descrito anteriormente. Este filtro es un algoritmo recursivo que permite estimar variables no observables, como la TNI, a partir de un modelo lineal que relaciona variables no observables a un conjunto de variables observadas. Los parámetros del modelo relacionados a las ecuaciones que determinan las variables no observables son estimados por el método de máxima verosimilitud, mientras que los restantes son calibrados siguiendo la metodología que se utilizó para calibrar los valores de los parámetros del Modelo de Proyección Trimestral (MPT).

Para entender el funcionamiento del filtro de Kalman, a continuación, se resaltan algunos detalles adicionales de este filtro. Se denota al conjunto de variables observables por el vector  $X_t = [\Delta y_t, \pi_t, \Delta q_t, r_t, \Delta B_t]$ , que en este caso, incluye, la tasa de crecimiento del producto ( $\Delta y_t$ ), la tasa de inflación ( $\pi_t$ ), la tasa de depreciación del tipo de cambio real ( $\Delta q_t$ ), la tasa de interés real ( $r_t$ ), y la posición neta de activos ( $\Delta B_t$ ). Por su parte, se define  $S_t = [\bar{r}_t, \pi_t^{core}, \tilde{y}_t, \tilde{q}_t, \Delta \bar{q}_t, \mu_t, \tilde{B}_t]$  como el vector que contiene el conjunto de variables no observables, que incluye la TNI ( $\bar{r}_t$ ), la inflación subyacente ( $\pi_t^{core}$ ), la brecha del producto ( $\tilde{y}_t$ ), la brecha del tipo de cambio real ( $\tilde{q}_t$ ), la tasa de crecimiento de la productividad ( $\mu_t$ ), la depreciación del tipo de cambio real de equilibrio ( $\Delta \bar{q}_t$ ) y el componente cíclico de la posición neta de activos ( $\tilde{B}_t$ ). Finalmente,  $Z_t$  es el vector que contiene las variables exógenas del modelo, tales como el gasto público ( $\bar{g}_t$ ), los términos de intercambio ( $\bar{T}_t$ ) y la tasa de interés internacional ( $\bar{r}_t^*$ ).

La representación de estado espacio del modelo consiste en dos sistemas de ecuaciones: el sistema de las ecuaciones de transición que describe la dinámica de las variables no observables o de estado, ecuación (4.1) y el sistema de las ecuaciones de medida que relaciona las variables de estado con las variables observables, ecuación (4.2) ,

$$S_t = F_1 + F_2 S_{t-1} + F_3 Z_t + \eta_t \quad (4.1)$$

$$X_t = A_1 + A_2 S_t + A_3 Z_t + \varepsilon_t \quad (4.2)$$

Donde  $\eta_t$  y  $\varepsilon_t$  son vectores de errores serialmente no correlacionados con media cero y varianza-covarianza  $Q$  y  $R$ , respectivamente. Además,  $F_j$  y  $A_j$  representan matrices de los parámetros del modelo. El filtro de Kalman, permite estimar las variables de estado,  $\widehat{S}_t$  a través de un proceso recursivo de proyecciones lineales que se van actualizando periodo a periodo con información proveniente del error de predicción generado en el modelo para las variables observables,  $X_t$ . Así por ejemplo, para estimar la TNI, se requiere de un valor inicial  $\widehat{r}_0$ , y a partir de este valor, recursivamente, se obtiene los valores correspondientes a los siguientes periodos, de acuerdo con la siguiente recursión:

$$\widehat{r}_{t+1/t} = f_r \widehat{r}_{t/t-1} + K_{rt} \xi_t \quad (4.3)$$

donde,  $\widehat{r}_{t+1/t}$ , representa la proyección de la TNI para el periodo  $t + 1$ , condicionada en la información disponible hasta el periodo  $t$ ,  $K_{rt}$  es la fila correspondiente a la tasa de interés en la matrix  $K_t$  que representa la ganancia del Filtro de Kalman, donde,  $f_r$ , el elemento correspondiente a la TNI en la matriz  $F_2$  y  $\xi_t$  el error de predicción asociado a  $X_t$ , que se define como:  $\xi_t = X_t - A_1 - A_2 \widehat{S}_t - A_3 Z_t$ . La matriz de ganancia de información se define, en términos de los parámetros del modelo, como:

$$K_t = F_2 P_{t/t-1} A_2 (A_2' P_{t/t-1} A_2 + R)^{-1} \quad (4.4)$$

donde,  $P_t$  es la matriz de varianza-covarianza del error de predicción de las variables observadas:

$$P_t = E_t \left( \left( X_t - \widehat{X}_{t/t-1} \right) \left( X_t - \widehat{X}_{t/t-1} \right)' \right) \quad (4.5)$$

La ecuación (4.3) muestra el proceso de estimación de la TNI. Dado un valor inicial para la TNI, los valores sucesivos de la misma se obtienen actualizando este valor inicial con los errores de predicción generados al proyectar  $X_t$ ,  $\xi_t$ . La matriz de ganancia de información  $K_t$  determina cuanta información de este error de predicción se utiliza en la actualización de la proyección de  $\widehat{r}_{t+1/t}$ .<sup>21</sup>

Una vez estimada la secuencia de la TNI condicionada en el periodo  $t$ ,  $\widehat{r}_{t+1/t}$ , se utiliza el algoritmo de suavizamiento del filtro de Kalman para obtener la mejor proyección de la TNI, pero condicionada en información correspondiente a todo el periodo muestral,  $\widehat{r}_{t/I_T} = E(\widehat{r}_t/I_T)$ , donde  $I_T$  representa toda la información muestral disponible. Para implementar este algoritmo se procede también de manera recursiva, pero comenzando por el último periodo,  $\widehat{r}_{T/T}$ , y actualizando dicha proyección hacia atrás hasta el primer periodo, de acuerdo con,

$$\widehat{r}_{t/I_T} = \widehat{r}_{t/t} + P_t F_2 P_t' \left( \widehat{r}_{t+1/I_T} - \widehat{r}_{t+1/t} \right) \quad (4.6)$$

---

<sup>21</sup>Ver el capítulo 13 de Hamilton (1994), para una descripción detallada del Filtro de Kalman.

Para estimar  $\widehat{r}_{t/I_T}$  se requiere contar con los valores de los parámetros del modelo, contenidos en las matrices,  $F_j$  y  $A_j$ . Para ello se estima por el método de Máxima Verosimilitud un subgrupo de los mismos, principalmente, aquellos relacionados al tipo de cambio real en la economía sin fricciones ( $\psi_j$  for  $j = 0 : 2$ ) y aquellos relacionados a la tasa natural de interés ( $\gamma_j$  for  $j = 0 : 2$ ), mientras que el resto de parámetros se calibran usando como referencia los parámetros del MPT.

### 4.3. Calibración del Modelo y Estimación de Parámetros

Los parámetros son calibrados usando como referencia el MPT y el trabajo de Llosa y Miller (2005), los cuales se reportan en la tabla 1.

**Tabla 1 : Calibración de Parámetros**

$\alpha_1 =$	0,65	$\beta_1 =$	0,70
$\alpha_2 =$	-0,17	$\beta_2 =$	0,15
$\alpha_3 =$	0,04	$\beta_3 =$	0,20
$\alpha_4 =$	0,20	$\rho_q =$	0,60
$\varphi =$	0,95	$\bar{\mu} =$	4 %
$\rho_b =$	0,2		

Elaboración: Propia

Estos parámetros aseguran que las ecuaciones de la brecha producto y la inflación tengan un buen grado de ajuste de los datos.  $\bar{\mu}$  es la tasa de crecimiento de largo plazo del PBI, estimada en una valor anual del 4%.  $\rho_q$  es el coeficiente del proceso autorregresivo de la brecha del tipo de cambio real, estimado a partir de las brechas calculadas con el filtro HP.

Se estima la ecuación del tipo de cambio real (ecuación 3.11) a partir de una relación de cointegración usando el procedimiento de mínimos cuadrados dinámicos<sup>22</sup>. Los los parámetros estimados se detallan en la ecuación (4.7) y los estadísticos de la prueba-t figuran entre paréntesis:

$$q_t = 0,45 - 0,6T_t + 0,62B_t + \varpi_t \quad (4.7)$$

(30,0) (-3,50) (4,90)

Los parámetros estimados son estadísticamente significativos, y tienen el signo correcto según el marco teórico discutido en la sección 3.2 tanto para el caso de los términos de inter-

<sup>22</sup>Ver Ferreyra y Salas (2005) para una estimación similar.

cambio ( $\psi_4 < 0$ ) y para el de la posición neta de activos ( $\psi_2 > 0$ ). Los coeficientes asociados al producto doméstico y al gasto público no resultan ser estadísticamente significativos.

Finalmente, se estiman de manera conjunta los parámetros restantes a través del método de máxima verosimilitud, en particular, los asociados a la ecuación que determina la TNI (ecuación 3.9)

$$\bar{r} = 1,25 + 0,65\bar{r}^* + \Delta\bar{q} + \eta_t^{\bar{r}} \quad (4.8)$$

(1,94) (2,24)

A partir de la ecuación anterior se tiene que, si la tasa natural de interés para los EE.UU es de 1% y se espera que el tipo de cambio de equilibrio se aprecie en 1%, la TNI debería ser del orden del 2,9%. Adicionalmente, si consideramos que el objetivo de inflación para la economía peruana es del 2,5%, la tasa natural de interés expresada nominalmente debe ser aproximadamente del 5,4%, y por lo tanto, una tasa de política menor (mayor) a este valor significaría que la política monetaria es contractiva (expansiva).

## 5. La Tasa Natural de Interés y la Posición de Política Monetaria

### 5.1. La Tasa Natural de Interés

En esta sección se reporta la estimación de la TNI con el filtro de Kalman (TNI-FK) y se la compara con la obtenida al aplicar el filtro de Hodrick-Prescott (TNI-HP). Para facilitar la exposición de los resultados se divide el periodo muestral en tres submuestras: 1994-1997, 1998-2001 y 2002-2005. La primera sub-muestra corresponde al periodo post-estabilización y previo a la crisis Rusa, la segunda incluye el periodo de la crisis Rusa y la tercera considera el periodo desde la adopción del régimen de metas explícitas de inflación en adelante.

En la tabla 2 se reportan, para las tres sub-muestras, los promedios de la tasa de interés real observada, la TNI estimada por el filtro de kalman y HP, respectivamente. Asimismo, se reportan los valores promedios de los determinantes de la TNI: la variación del tipo de cambio real de equilibrio ( $\Delta\bar{q}$ ) y la tasa de interés internacional ( $\bar{r}^*$ ).

Durante la primera sub-muestra la TNI promedio estimada por el filtro Kalman es alrededor de 7,3 por ciento, la cual es significativamente mayor a la estimada por el filtro HP (4,5 por ciento). Este mayor valor promedio de la TNI-FK estuvo asociado a una tasa de depreciación real de equilibrio promedio de 2,9 por ciento y una tasa de interés real internacional de 3,9 por ciento. El resultado a resaltar es que la TNI-HP al no estar asociada a las variables

fundamentales de la TNI, difiere, en este periodo, de manera significativa de la TNI-FK.

Por su parte, durante la segunda sub-muestra la TNI-FK baja a 6,0 por ciento en tanto que la TNI-HP sube a 7,5 por ciento, respectivamente, con relación a la sub-muestra anterior. La caída de la TNI-FK refleja la menor depreciación del tipo de cambio real de equilibrio de este sub-periodo. Cabe mencionar que la crisis rusa generó una depreciación real de corto plazo significativa, la cual explica el incremento de la TNI-HP. Sin embargo, estos movimientos transitorios del tipo de cambio real no afectan la evolución de la TNI-FK.

Finalmente, en el tercer periodo la TNI-FK se reduce tanto por una ligera apreciación del tipo de cambio real de equilibrio como por una disminución de la tasa de interés internacional.

**Tabla 2: Tasa real observada y TNI estimada para el Perú: 1994-2005**

(Tasa de interés real anual en porcentajes)

	Tasa observada	TNI (estimada)		$\Delta \bar{q}$	$\bar{r}^*$
	Ex-ante	TNI-FK	TNI-HP		
1994-1997	3,1	7,3	4,5	2,9	3,9
1998-2001	9,5	6,0	7,5	1,9	3,6
2002-2005	0,5	1,4	1,3	-0,03	0,2
Promedio	4,5	4,7	4,5	1,5	2,5

Elaboración: Propia

El promedio, durante todo el período muestral, de la TNI-FK (4,7 por ciento) y de la tasa real observada (4,5 por ciento) son similares. Esta evolución implicaría en promedio una posición de política monetaria neutra para toda la muestra.

En la figura 3 se muestran la dinámica a lo largo del periodo muestral tanto de la TNI-FK como de la TNI-HP. Como se observa en esta figura, hay diferencias importantes entre la evolución de ambas estimaciones. Primero, durante el periodo 1994-1997 la TNI-FK es significativamente mayor que la TNI-HP, no obstante, esta diferencia disminuye hacia el final del subperíodo. La dinámica anterior se sustenta en el progresivo incremento en la tasa de interés observada, la cual está más asociada a la TNI-HP puesto que este filtro utiliza únicamente información proveniente de esta tasa. Así, la TNI-FK está menos correlacionada con la tasa de interés observada. Segundo, durante el periodo 1998-2001, como se mencionó anteriormente, la TNI-HP fue persistentemente mayor que la TNI-FK debido a los incrementos transitorios en la tasa de interés real observada como consecuencia de la crisis Rusa . Tercero, durante el periodo 2002-2005, la TNI-FK se mantuvo por debajo de la TNI-HP hasta el 2004, año en que se revirtió esta tendencia.

La discusión anterior sugiere que la semi-estructura considerada en la estimación de la TNI

por filtro de Kalman ayuda a racionalizar la evolución de la TNI a partir de sus determinantes fundamentales, avalando el uso de este indicador referencial en el proceso de decisión de la política monetaria.

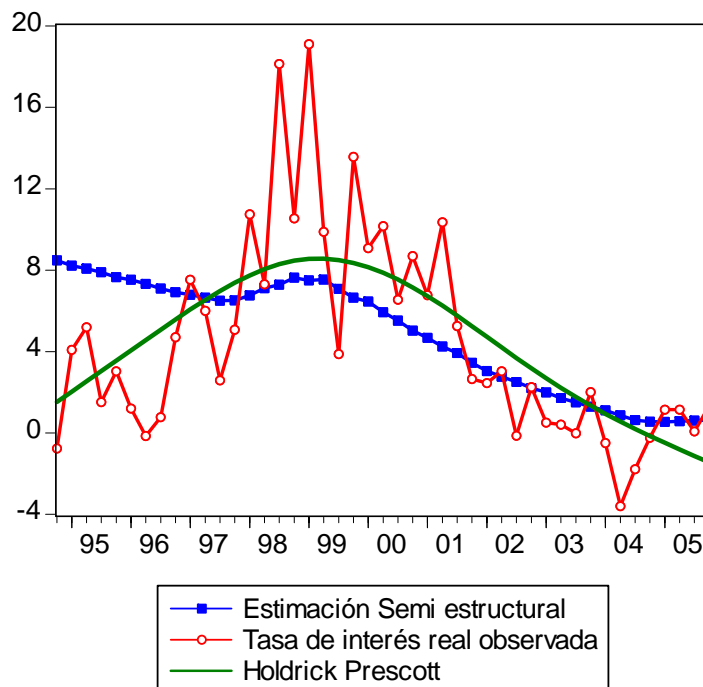


Figura 3: Tasa Natural de Interés

## 5.2. La Posición de la Política Monetaria ( $\tilde{r}_t$ )

A continuación se describe el indicador de la posición de la política monetaria ( $\tilde{r}_t = i_t - E_t\pi_{t+1} - \bar{r}_t$ ) que se obtiene a partir de la estimación de la TNI. Como se discutió en la sección 2, cuando  $\tilde{r}_t = 0$  el banco central mantiene una posición de política monetaria neutral. Por otro lado, si  $\tilde{r}_t$  toma un valor negativo (positivo) la posición de política monetaria es expansiva (contractiva) y se estaría induciendo una tasa de inflación por encima (por debajo) de la tasa de inflación meta del banco central.

En la figura 4, que grafica el indicador de política monetaria, se observa que la política monetaria fue expansiva durante el periodo 1994 - 1997, contractiva entre 1998 y el 2001 y ligeramente expansiva después del 2002. Esto se corrobora en la tabla 3, donde se reporta que durante el primer período (1994 - 1997) la brecha de la tasa de política fue en promedio  $-3.5$

por ciento, durante el segundo (1998-2001) de 3.5 por ciento y para el periodo posterior a 2002 la posición de política monetaria fue en promedio de -1,0 por ciento.

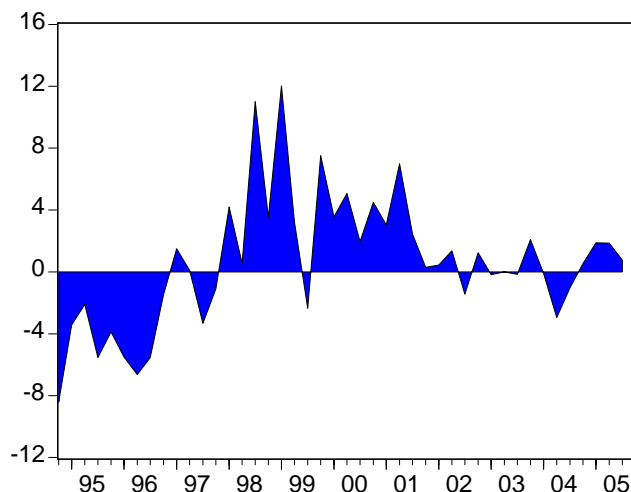


Figura 4: Posición de Política Monetaria

A continuación, para ilustrar la contribución de los cambios en la TNI-FK en la posición de política monetaria se realiza un análisis de descomposición de varianza de la misma. La baja correlación entre la TNI-FK y la tasa de interés real observada descrita en la sección anterior justifica asumir que la covarianza entre las mismas es cercana a cero ( $Cov(r_t, \bar{r}_t) \approx 0$ ). Bajo este supuesto, la varianza de la posición de la política monetaria,  $var(\tilde{r}_t)$ , se puede expresar de la siguiente manera:

$$var(\tilde{r}_t) \approx var(r_t) + var(\bar{r}_t) \quad (5.1)$$

De la expresión anterior se infiere que si la TNI no fluctúa la  $var(\bar{r}_t) = 0$  y por lo tanto todos los movimientos en la posición de la política monetaria se explicarían por variaciones en la tasa de interés observada ( $\bar{r}_t$ ). Para medir la contribución de la TNI en los cambios de la posición de la política monetaria se define el ratio  $\Psi = \frac{var(\bar{r}_t)}{var(\tilde{r}_t)}$ . A mayor  $\Psi$ , mayor es la contribución de la TNI en explicar la posición de la política monetaria. En la tabla 3 se reportan los valores de  $\Psi$  para los tres sub-periodos.

**Tabla 3: Posición de Política y su Descomposición de Varianza**

(En porcentajes)

	Posición de Política	Descomposición de Varianza	
	$\tilde{r}_t$	$\Psi$	$1 - \Psi$
1994-1997	-3,5	51,2	48,8
1998-2001	3,5	7,5	92,5
2002-2005	-1,0	39,7	60,3
Promedio	-1,0	23,6	76,4

Elaboración: Propia

Como se observa en la tabla 3, las fluctuaciones de la TNI-FK han contribuido de manera significativa a explicar las variaciones de la posición de política monetaria. Así, de no haberse considerado la evolución del TNI-FK, para todo el periodo muestral de estimación, se habría sesgado la estimación de la posición de la política monetaria en 24 por ciento. Este error habría sido aún mayor durante el primer y tercer sub periodo, en los cuales la contribución de la TNI fue de alrededor de 51 y 40 por ciento, respectivamente. Es importante resaltar que en estos dos sub-periodos los fundamentales estuvieron más alejados de sus valores de equilibrio, lo cual explica la contribución de la TNI. A manera de conclusión, el ejercicio de descomposición de varianza resalta la importancia de considerar la dinámica de la TNI en la determinación de la política monetaria.

### 5.3. Propiedades de la Tasa Natural de Interés

En esta sección se realizan dos ejercicios que permiten verificar la validez de la estimación de la TNI. En el primer ejercicio se evalúa el contenido informativo de la TNI-FK utilizando correlaciones dinámicas no condicionadas. En el segundo ejercicio se evalúan las respuestas dinámicas de la brecha producto ( $\tilde{y}_t$ ) y la inflación ( $\tilde{\pi}_t$ ) ante un choque en la posición de política monetaria ( $\tilde{r}_t$ ) de tal forma que se puede verificar si estas respuestas son consistentes con los mecanismos de transmisión de la política monetaria. Para ello se estima un vector autorregresivo (VAR) entre estas tres variables, y se analizan los impulso respuesta generalizados que se obtienen del mismo VAR<sup>23</sup>.

#### 5.3.1. Correlaciones no condicionadas

Si la brecha de la tasa de interés ( $\tilde{r}_t$ ) mide apropiadamente la posición de la política monetaria, ésta debería estar negativamente correlacionada con los valores futuros tanto de

<sup>23</sup>Impulsos respuesta que son robustos al ordenamiento de las variables.



la inflación como los de la brecha del producto. Por ejemplo, si el banco central asume una política monetaria más contractiva ( $\tilde{r}_t > 0$ ), esta debería reflejarse en menores presiones de demanda en el futuro ( $\tilde{y}_{t+h} < 0$ ) y consecuentemente en menor inflación en el futuro ( $\downarrow \pi_{t+k}$ ).

En la tabla 4 reportamos la correlación entre la brecha de tasa de interés ( $\tilde{r}_t$ ), estimada tanto por filtro de Kalman como por el filtro HP, con los valores futuros de la brecha del producto y de la inflación, respectivamente.

Se observa que la brecha de la tasa de interés estimada por el filtro de Kalman exhibe una correlación negativa significativa con los valores futuros de tanto la inflación como la brecha del producto. Se obtienen valores de  $-0,64$  y  $-0,55$  con relación a un año hacia adelante para la brecha del producto y la inflación, respectivamente. Por su parte, la estimación de la brecha de la tasa de interés que usa el filtro de Holdrick Prescott está débilmente correlacionada con la brecha del producto y la inflación ( $-0,29$  y  $-0,02$  para la brecha del producto y la inflación, respectivamente).

Estos resultados ofrecen evidencia de que la TNI estimada usando el filtro de kalman, así como su correspondiente brecha implícita, son informativas sobre la posición de la política monetaria.

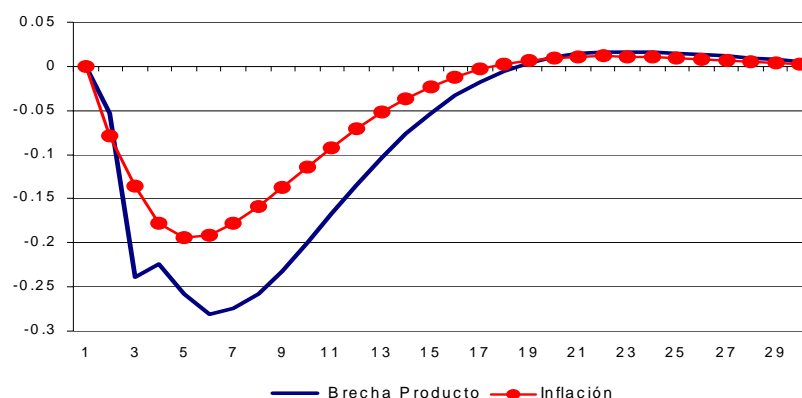
**Tabla 4: Correlación de la brecha ( $\tilde{r}_t$ ) / inflación, brecha del producto**

	$cor(\tilde{r}_t, \tilde{y}_{t+k})$	$cor(\tilde{r}_t^{HP}, \tilde{y}_{t+k})$	$cor(\tilde{r}_t, \pi_{t+k})$	$cor(\tilde{r}_t^{HP}, \pi_{t+k})$
$k = 0$	-0,17	-0,13	-0,64	-0,13
$k = 1$	-0,40	-0,25	-0,54	-0,10
$k = 2$	-0,55	-0,31	-0,55	-0,20
$k = 3$	-0,64	-0,33	-0,58	-0,12
$k = 4$	-0,64	-0,29	-0,57	-0,02
$k = 8$	-0,52	-0,25	-0,63	-0,13

Elaboración: propia

### 5.3.2. Correlaciones condicionadas (impulsos respuesta)

Con la finalidad de ilustrar la relevancia de la medida de la posición de la política monetaria estimada ( $\tilde{r}_t$ ), se analiza la respuesta dinámica de la brecha producto ( $\tilde{y}_t$ ) y la tasa de inflación ( $\pi_t$ ) a un choque en la posición de la política monetaria ( $\tilde{r}_t$ ). La figura 5 presenta la función de impulso respuesta generalizada obtenida a partir de un VAR de tres variables, brecha de producto, inflación y la posición de política monetaria. Se elige dos rezagos en la estimación sobre la base del criterio de Akaike (AIC) y el de Hannan-Quinn.



Como muestra la figura 5 ante un choque contractivo de 1 por ciento en la posición de política monetaria, tanto la brecha producto como la inflación se reducen, alcanzando sus valores mínimos de  $-0,3$  y  $-0,2$  puntos porcentuales luego de 7 y 5 trimestres, respectivamente<sup>24</sup>. Cabe destacar que el horizonte y la magnitud de respuesta de estas variables a un choque negativo de política monetaria son consistentes con los encontrados en otros trabajos para el Perú, así como con los que se obtienen a partir del MPT.

#### 5.4. Validando la Calibración y Estructura del Modelo

Con la finalidad de mostrar la validez de los parámetros utilizados para calibrar el modelo, así como la estructura del mismo, a continuación se evalúa el poder predictivo del modelo semi-estructural para la inflación. Se comparan las predicciones del modelo con aquellas que se obtendrían con un modelo *ingenuo* o de paseo aleatorio (conocido como *random walk* en la literatura de series de tiempo). El modelo *ingenuo* es el más sencillo de los disponibles para predecir la inflación y simplemente asume que la inflación se mantendrá constante de un trimestre a otro. La literatura empírica muestra que no resulta fácil superar en términos de capacidad predictiva a estos modelos *ingenuos*<sup>25</sup>.

Para evaluar la capacidad predictiva del modelo se calcula la raíz cuadrada del error cuadrático medio (ECM) de la predicción fuera de la muestra tanto del modelo *ingenuo* de paseo aleatorio como la del modelo semi estructural. Se calcula el ECM para cuatro diferentes horizontes de tiempo, 1, 2, 3 y 4 trimestres. El error cuadrático medio se calcula de manera recursiva para el periodo 2001.Q1 al 2005.Q1. Todas las predicciones son condicionales a la información del periodo estimado.

<sup>24</sup>Los impulsos respuesta son significativos y se encuentran dentro de las bandas de confianza generadas por los errores estándar. Los resultados son disponibles a solicitud.

<sup>25</sup>Para un ejercicio alternativo de predicción de la inflación y el producto para la economía peruana utilizando econometría bayesiana ver Llosa, Tuesta y Vega (2005).

**Tabla 5: Error Cuadrático Medio de las predicciones de inflación fuera de la muestra**

2004:Q1-2005:Q1

Horizonte de Predicción	Random Walk ("Ingenuo")	Modelo Semi-estructural
1 trimestre	3,39	3,85
2 trimestres	3,73	3,32
3 trimestres	4,11	3,23
4 trimestres	3,70	3,04

Elaboración: Propia

Los resultados que se resumen en la tabla 5 indican que el modelo semi-estructural predice mejor la inflación que un paseo aleatorio para horizontes superiores a 1 trimestre. Asimismo se observa que a medida que el horizonte de predicción aumenta, la capacidad predictiva del modelo semi-estructural, medida por el ECM, mejora.

Otra forma de validar tanto la estructura así como los parámetros utilizados es analizar el ajuste dentro de la muestra de las variables más importantes en el análisis, tales como son la inflación y la tasa de interés real. A continuación, en la figura 6, se reportan tanto la serie de inflación como de la tasa de interés real observada y las correspondientes generadas por el modelo.

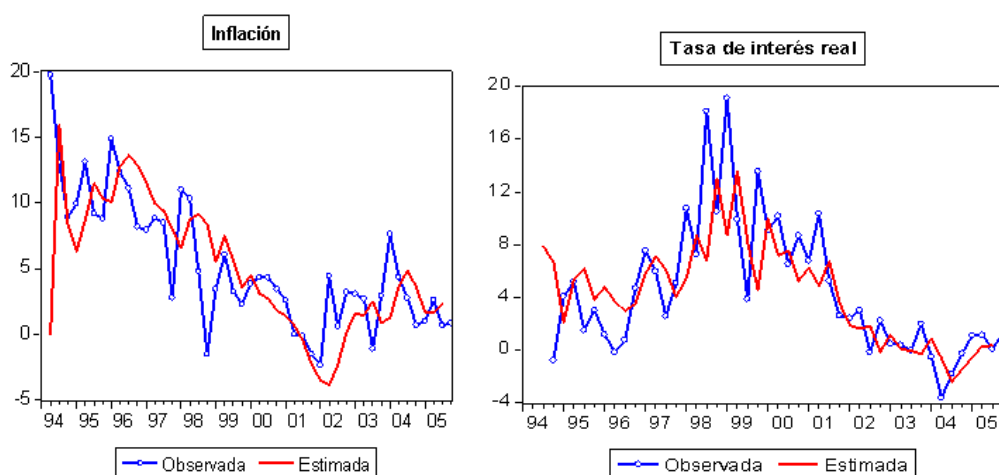


Figura 6: Ajuste de las Variables Observadas del Modelo

Como se puede apreciar en la figura 6, el grado de ajuste que se obtiene con el modelo para estas dos variables es bastante aceptable. El  $R^2$  ajustado para la inflación es 0,6 y para la tasa

de interés real es 0,8. Estos resultados respaldarían tanto la estructura como los parámetros utilizados en la estimación de la TNI.

## 6. Conclusiones

Medir la posición de la política monetaria no es una tarea fácil ni para académicos ni para los conductores de política económica puesto que ésta depende de una variable no observable, la tasa natural de interés (TNI). Por esa razón, la gran mayoría de los bancos centrales modernos, que implementan su política monetaria a través del manejo de la tasa de interés nominal, vienen dedicando esfuerzos para medir la TNI a través de modelos estructurales microfundamentados y modelos empíricos. La TNI se define como aquella tasa de interés real que es consistente con la estabilidad de precios, y que fluctúa en el tiempo en respuesta a los choques reales que afectan la economía, tales como los choques a los términos de intercambio y los choques a la tasa de interés internacional.

Esta investigación contribuye a la discusión sobre la posición de la política monetaria en el Perú, ofreciendo una estimación de la TNI que se obtiene a partir de la aplicación del algoritmo de filtro de Kalman a un modelo semi-estructural para una economía abierta. Este modelo es similar, aunque mucho más simple, al empleado en el Banco Central para realizar tanto ejercicios de proyección de la inflación, como simulación de escenarios de política monetaria.

Los resultados muestran que la tasa natural de interés (TNI) en el Perú se ha venido reduciendo de manera persistente desde 1999, inducida por la evolución del tipo de cambio real de equilibrio y la tasa de interés internacional, alcanzando para el año 2005, un valor nominal de 4 por ciento. Asimismo, la posición de política monetaria implícita indica que el Banco Central mantuvo una política monetaria expansiva durante 1994- 1997, contractiva durante 1998-2001 y ligeramente expansiva durante 2002-2005. Asimismo, el ejercicio de descomposición de varianza de la fluctuación en la posición de la política monetaria indica que el 24 por ciento de las fluctuaciones en ésta, se explicaría por variaciones en la TNI. Así de no considerarse una TNI que fluctúa la medición de la posición de política monetaria sería menos precisa.

Este trabajo resalta la importancia, tanto para académicos como para los participantes en el mercado financiero, de estudiar cuidadosamente los determinantes en las fluctuaciones de las tasas de interés para comprender tanto la posición de política monetaria como los mecanismos de transmisión de la misma. En este sentido, en contraste con el período previo a la adopción del esquema de metas explícitas de inflación, en el que la posición de la política monetaria estaba asociada a la evolución de los agregados monetarios, en el período más reciente este rol lo cumplen la tasa de interés de corto plazo y la TNI.

El trabajo puede extenderse en varias direcciones. La estimación de la TNI sobre la base de

un modelo microfundamentado sería ventajoso porque impone restricciones en el modelo que son completamente consistentes con la racionalidad individual y condiciones de equilibrio de mercado. Asimismo, en la medida que se cuente con mayor información se podría, utilizando el mismo modelo, realizar la estimación conjunta de todos los parámetros del modelo. Se dejan estas extensiones para investigaciones futuras.

## Referencias

- [1] Amano, J, (2005), "The role of the Natural Interest Rate in Monetary Policy". *BIS Working Paper N° 171*
- [2] Armas, A, y F Grippa, Z, Quispe y L Valdivia, (2001) "De metas monetarias a metas de inflación en una economía con dolarización parcial: El caso peruano". *Revista de Estudios Económicos N° 7. Banco Central de Reserva del Perú.*
- [3] Barrera, C.(2005), "Proyección desagregada del IPC, IPM y PBI", *Documento de Trabajo 2005-06, Banco Central de Reserva del Perú .*
- [4] Bomfim, A., (2001), "Measuring Equilibrium Real Interest Rates: What can we learn from yields on indexed bonds?", *Federal Reserve Board, Finance and Economics Discussion Series No. 53*
- [5] Brzoza-Brzezina, (2004), "The Information Content of the Natural Rate of Interest: The Case of Poland", *manuscript National Bank of Poland*
- [6] Castillo, P., (2006) "Monetary Policy under Currency Substitution". Mimeo, *London School of Economics y Banco Central de Reserva del Perú*
- [7] Clark, T. y S. Kozicki, (2004), "Estimating Equilibrium Real Interest Rates in Real-Time", *Deutsche Bundesbank Discussion Paper No 32/2004*
- [8] Clarida, R., J. Gali, y M. Gertler (2000), "Monetary Policy Rules and Macroeconomic Stability: Evidence and Some Theory", *Quarterly Journal of Economics*, pp.147-180.
- [9] Clarida, R., J. Gali, y M. Gertler (2001), "Optimal Monetary Policy in Open versus Closed Economies: An integrated approach", *American Economic Review*, 91/2, pp.248-252.
- [10] Crespo-Cuaresma, J., G. Ernest y D. Ritzberger-Gruenwald, (2003), "Searching for the Natural Rate of Interest: A Euro-Area Perspective", *Oesterreichische Nationalbank Working Paper 84.*
- [11] Felices, G. y V. Tuesta, (2006) "Monetary Policy in a Dual Currency Environment". Mimeo, *Banco Central de Reserva de Perú y Banco de Inglaterra.*
- [12] Ferreyra, J. y J. Salas (2005) "Estimación del tipo de cambio real de equilibrio", mimeo, BCRP.
- [13] Forbes, K. y R. Rigobon, (2002), "Non Contagion, Only Interdependence: Measuring Stock Market Comovements", *Journal of Finance*, Vol. LVII, No. 5.

- [14] Gali, J. y T. Monacelli, (2005), "Monetary Policy and Exchange Rate Volatility in a Small Open Economy", *Review of Economic Studies*, 72, 707-734 .
- [15] Greenspan, Alan (1993) "Testimony on 1993 Monetary Policy Objectives to the U.S. Senate", July 20.
- [16] Hamilton, J, (1994) "Time Series Analysis". *Princeton University Press*
- [17] Laubach, T., y J., Williams, (2003), "Measuring the Natural Rate of Interest" *The Review of Economics and Statistics*, Vol 85, 4 pp. 1063-1070
- [18] Lam, J. y G. Tkacz, (2004), "Estimating Policy-Neutral Interest Rates for Canada Using a Dynamic Stochastic General-Equilibrium Framework", *Working paper 2004-9, Bank of Canada*
- [19] Lane, P. y G. Milesi-Ferretti (2005), " A Global Perspective on External Positions", trabajo preparado para la conferencia organizada por el NBER "G7 Current Account Imbalances: Sustainability and Adjustment".
- [20] Lindblad, H. y P. Sellin, (2003), "The Equilibrium Rate of Unemployment and the Real Exchange Rate: An Unobserved Components System Approach", *Sveriges Riskbank Working Paper Series No 152*.
- [21] Llosa, G. y S. Miller, (2005), "Using additional information in estimating the output gap in Peru: a multivariate unobserved component approach", *Documento de Trabajo 2005-04, Banco Central de Reserva del Perú*
- [22] Llosa, G. V. Tuesta y M. Vega, (2005), " A BVAR Forecasting Model for Peruvian Inflation", *Documento de Trabajo 2005-07, Banco Central de Reserva del Perú*.
- [23] Luke, J y M Vega, (2003) "Usando un modelo semi-estructural de pequeña escala para hacer proyecciones: Algunas consideraciones " *Revista de Estudios Económicos N° 10. Banco Central de Reserva del Perú*.
- [24] Kuttner, K., (1994), " Estimating Potential Output as a Latent Variable", *Journal of Business and Statistics* Volume 12, issue 3, pp 361-368.
- [25] Neiss, K. y E. Nelson, (2001), "The Real Interest Gap as an Inflation Indicator", *Bank of England Working Paper No 148*.
- [26] Orphanides, A y J Williams, (2002) "Robust Monetary Policy Rules with Unknown Natural Rates". *Brookings Papers on Economic Activity*, pp 63-118.

- [27] Plantier, C. y D. Scrimgeour, (2002) " Estimating a Taylor Rule for New Zealand with a time-varying Neutral Real Rate", *Reserve Bank of New Zealand Discussion Paper Series DP2002/06*
- [28] Staiger D, J, Stock y M, Watson, (1997), "The NAIRU, Unemployment and Monetary Policy" *The Journal of Economic Perspectives*, Vol. 11, No. 1, pp. 33-49
- [29] Taylor, J., (1993), "Discretion versus Policy Rules in Practice" *Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy* 39. pp. 195-214
- [30] Wicksell, K (1898) "Interest and Prices", Reimpreso en Nueva York por Augustus M Kelley, 1962.
- [31] Woodford, Michael, 2003, "Interest and Prices" *Princeton University Press*.



## A. Representación Estado-Espacio del Modelo Semi-estructural

El filtro de Kalman es un algoritmo que nos permite estimar variables no observables a través de la información contenida en variables observables, sujeto a la estructura de un sistema de ecuaciones dinámicas. Para aplicar el filtro de Kalman el sistema de ecuaciones tiene que ser presentado en una forma especial, llamada representación estado-espacio.

La representación estado-espacio consiste en separar las ecuaciones en dos sistemas: el sistema de las ecuaciones de estado o transición, que describen la dinámica de las variables no observables o de estado, y el sistema de las ecuaciones de medida, que relaciona las variables de estado con las variables observables.

En forma matricial, la representación estado-espacio del modelo toma la siguiente forma:

$$B_0 S_t = B_1 + B_2 S_{t-1} + B_3 Z_t + B_4 \eta_t \quad (\text{A.1})$$

$$X_t = A_1 + A_2 S_t + A_3 Z_t + A_4 \varepsilon_t \quad (\text{A.2})$$

donde  $X_t$  es el vector que contiene las variables observables,  $S_t$  es el vector de variables de estado no observadas y  $Z_t$  es el vector de variables exógenas. Notar que  $F_j = B_0^{-1} B_j$ , para  $F_j$  definido en la sección 4.2.

Las ecuaciones en (A.1) son llamadas ecuaciones de estado o transición y las ecuaciones en (A.2) son llamadas ecuaciones de medida. Cabe mencionar que para aplicar el filtro de Kalman, las ecuaciones de transición tienen que ser expresadas en forma de un proceso autoregresivo de orden 1.

La representación estado-espacio del modelo semi-estructural de la sección 3 es la siguiente:

---



---

Ecuaciones de Transición:

---

$$\begin{aligned}
\tilde{y}_t &= \alpha_1 \tilde{y}_{t-1} + \alpha_2 \tilde{r}_{t-1} + \alpha_3 \tilde{q}_{t-1} + \alpha_4 \tilde{T}_t + n_t^y \\
\tilde{y}_{t-1} &= \tilde{y}_{t-1} \\
(\beta_1 + \beta_2) \pi_t^{core} &= \beta_1 \pi_{t-1}^{core} + \beta_2 \tilde{\pi}_t^m + \beta_3 \tilde{y}_{t-1} + (1 - \beta_1 - \beta_2) \Delta \bar{\pi}_{t+1} + n_t^{\pi^c} \\
\mu_t &= (1 - \varphi) \bar{\mu} + \varphi \mu_{t-1} + n_t^\mu \\
\Delta \bar{q}_t - \psi_1 \mu_t &= \psi_0 + \psi_2 \Delta \bar{B}_t + \psi_3 \Delta \bar{g}_t + \psi_4 \Delta \bar{T}_t + \eta_t^{\bar{q}} \\
\tilde{q}_t &= \rho_q \tilde{q}_{t-1} + \eta_t^{\tilde{q}} \\
\tilde{q}_{t-1} &= \tilde{q}_{t-1} \\
\bar{r}_t - \Delta \bar{q}_t &= \gamma_0 + \gamma_1 \bar{r}_t^* + \eta_t^{\bar{r}} \\
\tilde{r}_t &= \rho_r \tilde{r}_{t-1} + \eta_t^{\tilde{r}} \\
\Delta \bar{B}_t &= \rho_{\bar{b}} \Delta \bar{B}_{t-1} + \eta_t^{\bar{b}} \\
\tilde{B}_t - \rho_{\tilde{b}} \tilde{y}_t &= \eta_t^{\tilde{b}} \\
\Delta \bar{B}_{t-1} &= \Delta \bar{B}_{t-1} \\
\tilde{B}_{t-1} &= \tilde{B}_{t-1}
\end{aligned}$$


---



---

Ecuaciones de Medida

---

$$\begin{aligned}
\Delta y_t &= \mu_t + \tilde{y}_t - \tilde{y}_{t-1} \\
\pi_t &= \pi_t^{core} + \varepsilon_t^\pi \\
\Delta q_t &= \tilde{q}_t - \tilde{q}_{t-1} + \Delta \bar{q}_t \\
r_t &= \bar{r}_t + \tilde{r}_t \\
\Delta B_t &= \tilde{B}_t - \tilde{B}_{t-1} + \Delta \bar{B}_t + D_t
\end{aligned}$$


---



---

Cabe mencionar que en las ecuaciones de transición se han incorporado ecuaciones auxiliares para poder expresar el sistema en su forma AR(1). La forma matricial de las ecuaciones es la siguiente:

$$\begin{aligned}
X_t &= \left[ \Delta y_t \quad \pi_t \quad \Delta q_t \quad r_t \quad \Delta B_t \right]' \\
S_t &= \left[ \tilde{y}_t \quad \tilde{y}_{t-1} \quad \pi_t^{core} \quad \mu_t \quad \Delta \bar{q}_t \quad \tilde{q}_t \quad \tilde{q}_{t-1} \quad \bar{r}_t \quad \tilde{r}_t \quad \Delta \bar{B}_t \quad \tilde{B}_t \quad \Delta \bar{B}_{t-1} \quad \tilde{B}_{t-1} \right]' \\
Z_t &= \left[ \tilde{\pi}_t^m \quad \Delta \bar{\pi}_{t+1} \quad \Delta \bar{T}_t \quad \tilde{T}_t \quad \Delta \bar{B}_t \quad \bar{r}_t^* \quad D_t \right]' \\
\eta_t &= \left[ n_t^y \quad 0 \quad n_t^\pi \quad n_t^\mu \quad n_t^{\bar{q}} \quad n_t^{\tilde{q}} \quad 0 \quad n_t^{\bar{r}} \quad n_t^{\tilde{r}} \quad \eta_t^{\bar{b}} \quad \eta_t^{\tilde{b}} \quad 0 \quad 0 \right]' \\
\varepsilon_t &= \left[ 0 \quad \varepsilon_t^\pi \quad 0 \quad 0 \quad 0 \right]'
\end{aligned}$$

$$B_0 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \beta_1 + \beta_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\psi_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$B_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ (1 - \varphi) \bar{\mu} \\ \psi_0 \\ 0 \\ 0 \\ \gamma_0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$B_2 = \begin{bmatrix} \alpha_1 & 0 & 0 & 0 & \alpha_3 & 0 & 0 & \alpha_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \beta_3 & 0 & \beta_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \varphi & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \rho_q & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \rho_r & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\rho_{\bar{b}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \rho_{\bar{b}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$B_3 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \alpha_4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \beta_2 & 1 - \beta_1 - \beta_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \psi_2 & 0 & \psi_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \gamma_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$A_2 = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & -1 \end{bmatrix}$$

## B. La TNI en el Perú

### Tasa Natural de Interés en el Perú

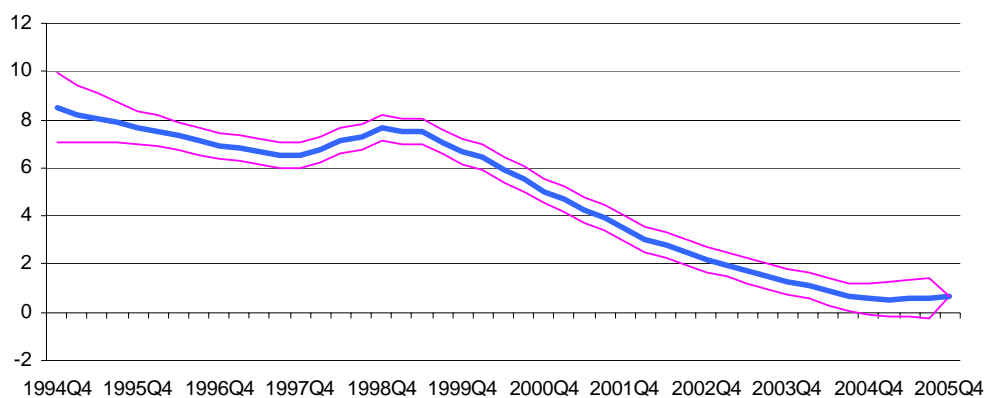
1994-2005

Promedio Anual

Año	Lim inf	Central	Lim-Sup
1995	7.0	8.0	8.9
1996	6.6	7.2	7.8
1997	6.1	6.6	7.2
1998	6.7	7.2	7.7
1999	6.7	7.2	7.7
2000	5.2	5.7	6.3
2001	3.5	4.1	4.6
2002	2.1	2.6	3.2
2003	1.1	1.6	2.2
2004	0.2	0.8	1.4
2005	0.0	0.6	1.2

Elaboración Propia

### La tasa Natural de Interés para Perú



## **Documentos de Trabajo publicados Working Papers published**

La serie de Documentos de Trabajo puede obtenerse de manera gratuita en formato pdf en la siguiente dirección electrónica:

<http://www.bcrp.gob.pe/>

The Working Paper series can be downloaded free of charge in pdf format from:

<http://www.bcrp.gob.pe/>

### **2006**

#### **Mayo\ May**

DT N° 2006-02

El Efecto Traspaso de la tasa de interés y la política monetaria en el Perú: 1995-2004

Alberto Humala

#### **Marzo\ March**

DT N° 2006-01

¿Cambia la Inflación Cuando los Países Adoptan Metas Explícitas de Inflación?

Marco Vega y Diego Winkelreid

### **2005**

#### **Diciembre\ December**

DT N° 2005-008

El efecto traspaso de la tasa de interés y la política monetaria en el Perú 1995-2004

Erick Lahura

#### **Noviembre\ November**

DT N° 2005-007

Un Modelo de Proyección BVAR Para la Inflación Peruana

Gonzalo Llosa , Vicente Tuesta y Marco Vega

DT N° 2005-006

Proyecciones desagregadas de la variación del Índice de Precios al Consumidor (IPC), del Índice de Precios al Por Mayor (IPM) y del Crecimiento del Producto Real (PBI)

Carlos R. Barrera Chaupis

#### **Marzo\ March**

DT N° 2005-005

Crisis de Inflación y Productividad Total de los Factores en Latinoamérica

Nelson Ramírez Rondán y Juan Carlos Aquino.

DT N° 2005-004

Usando información adicional en la estimación de la brecha producto en el Perú: una aproximación multivariada de componentes no observados  
Gonzalo Llosa y Shirley Miller.

DT N° 2005-003

Efectos del Salario Mínimo en el Mercado Laboral Peruano  
Nikita R. Céspedes Reynaga

### **Enero\ January**

DT N° 2005-002

Can Fluctuations in the Consumption-Wealth Ratio Help to Predict Exchange Rates?  
Jorge Selaive y Vicente Tuesta

DT N° 2005-001

How does a Global disinflation drag inflation in small open economies?  
Marco Vega y Diego Winkelreid