



**BANCO DE GUATEMALA**

Documentos de Trabajo

**CENTRAL BANK OF GUATEMALA**

Working Papers

No.108

**ESTIMACIÓN DEL PRODUCTO POTENCIAL Y EL  
TIPO DE CAMBIO REAL DE EQUILIBRIO PARA  
GUATEMALA**

**Año 2008**

Autor:

Juan Carlos Catalán Herrera\*

\*Departamento de Investigaciones Económicas  
Banco de Guatemala





## **BANCO DE GUATEMALA**

La serie de Documentos de Trabajo del Banco de Guatemala es una publicación que divulga los trabajos de investigación económica realizados por el personal del Banco Central o por personas ajenas a la institución, bajo encargo de la misma. El propósito de esta serie de documentos es aportar investigación técnica sobre temas relevantes, tratando de presentar nuevos puntos de vista que sirvan de análisis y discusión. Los Documentos de Trabajo contienen conclusiones de carácter preliminar, las cuales están sujetas a modificación, de conformidad con el intercambio de ideas y de la retroalimentación que reciban los autores.

La publicación de Documentos de Trabajo no está sujeta a la aprobación previa de los miembros de la Junta Monetaria del Banco de Guatemala. Por lo tanto, la metodología, el análisis y las conclusiones que dichos documentos contengan son de exclusiva responsabilidad de sus autores y no necesariamente representan la opinión del Banco de Guatemala o de las autoridades de la institución.

\*\*\*\*\*©\*\*\*\*\*

The Central Bank of Guatemala Working Papers Series is a publication that contains economic research documents produced by the Central Bank staff or by external researchers, upon the Bank's request. The publication's purpose is to provide technical economic research about relevant topics, trying to present new points of view that can be used for analysis and discussion. Such working papers contain preliminary conclusions, which are subject to being modified according to the exchange of ideas, and to feedback provided to the authors.

The Central Bank of Guatemala Working Papers Series is not subject to previous approval by the Central Bank Board. Therefore, their methodologies, analysis and conclusions are of exclusive responsibility of their authors, and do not necessarily represent the opinion of either the Central Bank or its authorities.

# Estimación del producto potencial y el tipo de cambio real de equilibrio para Guatemala

Juan Carlos Catalán Herrera<sup>1</sup>

---

## Resumen

Bajo el régimen de metas explícitas de inflación, los modelos macroeconómicos se han convertido en una de las principales herramientas en el proceso de toma de decisiones de política monetaria. El Banco de Guatemala ha utilizado con éxito desde 2006 el Modelo Macroeconómico Semiestructural (MMS). Dentro de dicho modelo, las brechas (tanto del producto como del tipo de cambio real) son dos variables clave para explicar la dinámica de los precios y, por lo tanto, también son clave en la elaboración de los pronósticos de inflación y en la toma de decisiones de política monetaria. El propósito de este trabajo es proponer una estimación alternativa del producto potencial y del tipo de cambio real de equilibrio utilizando un filtro multivariado, el Filtro de Kalman. Se realizaron las estimaciones de estas dos variables para el periodo comprendido entre el segundo trimestre de 1995 y el segundo trimestre de 2007. Las estimaciones realizadas permitieron calcular brechas que guardan una relación coherente y un mayor poder explicativo sobre la inflación tendencial.

## 1. Introducción

Desde 1990, aproximadamente, varios países industrializados adoptaron un esquema de metas explícitas de infla-

ción para la conducción de su política monetaria. A mediados de la misma década, algunos países en transición (e. g. República Checa, Hungría y Polonia) abandonaron regímenes de tipo de cambio fijo para adoptar el mismo marco conceptual bajo el cual formular e implementar su política monetaria. De igual manera varios países en vías de desarrollo, incluyendo a Guatemala, siguieron ese camino y, a finales de la década de los 90 y principios del siglo XXI, acogieron el esquema de metas explícitas de inflación. Bajo dicho esquema, los modelos macroeconómicos se han convertido en una de las principales herramientas en el proceso de toma de decisiones de política monetaria. Éstos proveen una metodología sistemática para analizar las implicaciones de política que emergen de la incertidumbre, proveyendo un marco para analizar y caracterizar los riesgos alrededor de un pronóstico macroeconómico condicional.<sup>2</sup>

En el Banco de Guatemala se ha utilizado con éxito, desde 2006, el Modelo Macroeconómico Semiestructural (MMS). Dicho modelo es esencialmente un modelo de brechas, con alguna estructura que proviene de microfundamentos y algunas características ad hoc. Este modelo macroeconómico considera básicamente tres canales por medio de los cuales la política monetaria tiene efectos sobre la tasa de inflación de la economía. El canal que opera a través del vínculo entre la tasa de interés real de largo

---

<sup>1</sup> Analista del Departamento de Investigaciones Económicas del Banco de Guatemala. Las opiniones vertidas en este documento son responsabilidad exclusiva de su autor y no necesariamente reflejan la opinión del Banco de Guatemala. Octubre de 2007.

<sup>2</sup> Condicional a las acciones de política. En el caso de Guatemala sería condicional al sendero que sigue la tasa de interés líder de política monetaria y a otras variables exógenas.

plazo y el exceso de demanda (el canal de demanda agregada), el canal que opera a través del tipo de cambio y el canal de las expectativas.

Según Castañeda y Solís (2007), el canal de demanda agregada opera de la siguiente forma: la tasa de interés líder de política monetaria afecta primero a la tasa de interés nominal de largo plazo y luego a la tasa de interés real también de largo plazo y, por consiguiente, a la brecha entre esta última y su valor tendencial. La brecha de la tasa de interés real de largo plazo afecta a la brecha del producto de demanda doméstica, mediante una ecuación de tipo IS. Luego la brecha del producto de demanda doméstica altera la brecha del producto y ésta incide en la tasa de inflación a través de una Curva de Phillips. Por su parte, el canal del tipo de cambio opera a través de las tasas de interés de largo plazo y la brecha del tipo de cambio real que es la diferencia entre el tipo de cambio real y el valor tendencial o de equilibrio de éste, influyendo sobre la inflación por dos vías, la primera a través del precio de los bienes importados que afectan a la inflación directamente y, la segunda, a través de alterar la brecha del producto de demanda externa.

De esta simple descripción de los canales de transmisión, resulta evidente que las brechas, tanto del producto como del tipo de cambio real, son dos variables clave para explicar la dinámica de los precios dentro del MMS y, por lo tanto, también son clave en la elaboración de los pronósticos de inflación y en la toma de decisiones de política monetaria. La idea de que la dinámica de la inflación es conducida por el exceso de demanda (la brecha del producto) es atractiva no sólo desde un punto de vista teórico, sino también desde uno intuitivo. Si se piensa en un modelo sencillo de demanda y oferta agregadas, en donde la demanda excede a la oferta, los precios tienden a subir. De igual forma, una brecha positiva sostenida en el tiempo es un indicador de presiones de demanda y una señal para la autoridad monetaria de que las presiones inflacionarias están aumentando y posiblemente sea necesario tomar acciones de política.<sup>3</sup> Lo mismo ocurre con la brecha del tipo de cambio real, una brecha positiva<sup>4</sup> implica que el tipo de cambio real observado está sobredepreciado respecto de su valor de equilibrio, lo cual ejerce una presión

<sup>3</sup> Una brecha negativa del producto tendría implicaciones opuestas.

<sup>4</sup> Una brecha negativa del producto tendría implicaciones opuestas.

positiva sobre la demanda externa y ésta, a su vez, sobre la demanda agregada, generando finalmente presiones inflacionarias.

Desafortunadamente para los técnicos y para quienes toman las decisiones de política, no es posible observar el estado del exceso de demanda directamente en un mercado, lo que se observa son señales de exceso de demanda, tales como: inventarios que se reducen, presiones al alza sobre los precios y salarios, incrementos en las tasas de utilización de la capacidad instalada, etc. Por lo tanto, para implementar el modelo y para que los mecanismos de transmisión sean operantes dentro del mismo, es necesario inferir medidas del exceso de demanda utilizando la información disponible. Este problema se traduce en uno sobre cómo estimar el producto potencial, para el canal de demanda y el tipo de cambio real de equilibrio, para el canal del tipo de cambio. Ambas medidas no observables son necesarias para la estimación de las brechas que determinan la dinámica de inflación dentro del MMS y, por lo tanto, el realizar una inferencia certera de estas variables representa un reto para el banco central en su intento de identificar las presiones inflacionarias dentro de la economía.

Definir el producto potencial y el tipo de cambio real de equilibrio no es trivial. Sin embargo, para efectos del presente trabajo se asume una definición amplia y pragmática de cada una de estas variables. El producto potencial se entiende como la cantidad de producción doméstica que se produce y se vende sin ejercer presiones, hacia el alza o la baja, sobre la tasa de inflación. El tipo de cambio real de equilibrio se define como aquél que es congruente con el equilibrio simultáneo de los mercados interno y externo. Dado que ambas variables son no observables, y para efectos prácticos del presente trabajo, se considerará como buena aquella estimación que produzca la brecha con mayor poder explicativo sobre la inflación tendencial. Se utiliza la inflación tendencial, en lugar de la inflación total observada, puesto que en Guatemala la inflación total<sup>5</sup> presenta cambios frecuentes en los precios relativos, especialmente en los productos agrícolas, lo cual hace que la serie de inflación total sea muy volátil.

Se han propuesto muchos métodos para la estimación de estas dos variables. En el caso del producto potencial, un

<sup>5</sup> Medida a través de las variaciones del Índice de Precios al Consumidor (IPC).

método muy común es el de calcular una función de producción y estimar el producto potencial como el nivel de producción en el cual los factores productivos se utilizan a toda su capacidad. A pesar de que esta metodología posee la ventaja de identificar explícitamente las fuentes del crecimiento de la producción (capital, trabajo, progreso tecnológico e inclusive algunos factores intermedios de la producción como materias primas), en la práctica se ha encontrado que la estructura que aporta la función de producción no elimina la incertidumbre inherente al cálculo del producto potencial, ésta solo se transfiere a la incertidumbre de estimar la productividad total de los factores (una variable que tampoco es posible observar directamente).

Otra forma común de estimar tanto el producto potencial, como el tipo de cambio real de equilibrio, es inferir su nivel por medio de métodos estadísticos. Este tipo de estimaciones se basan en alguna forma de filtrado de datos. Dentro de las variantes más simples (los filtros univariados) se encuentra el Filtro de Hodrick-Prescott (1997) que utiliza únicamente la información de la serie en cuestión para ajustar una tendencia. Actualmente, ésta es la metodología utilizada dentro del MMS para estimar el producto potencial y el tipo de cambio real de equilibrio; sin embargo, como se explica en las secciones siguientes, las metodologías univariadas son objeto de fuertes críticas. Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo es proponer una metodología que supera a los métodos univariados, al utilizar más información para condicionar las estimaciones del producto potencial y el tipo de cambio real de equilibrio. La metodología que se propone es un filtro multivariado: el Filtro de Kalman (1960-1963). La idea esencial de un sistema multivariado es aprovechar información adicional contenida en otras variables, en vez de limitarse a la información que proporciona la propia serie.

Puesto que el MMS es una parte fundamental en el proceso de toma de decisiones de política monetaria, y dado que la credibilidad en el marco de política es de suma importancia en todo el proceso de anclar las expectativas de inflación, es crucial que la medición de las brechas del producto y del tipo de cambio real sea entendida con claridad y aceptada tanto por quienes están involucrados en la formulación e implementación de la política monetaria como por el público y usuarios en general. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo de investigación es proponer una mejor estimación del producto potencial y del tipo

de cambio real. El resto del trabajo se desarrolla de la siguiente manera: la sección dos presenta la metodología de estimación y algunas consideraciones sobre el Filtro de Hodrick-Prescott, la sección tres describe el Filtro de Kalman y presenta las estimaciones realizadas y la sección cuatro concluye.

## 2. El filtro univariado actual: Hodrick-Prescott

El Filtro de Hodrick-Prescott (Filtro HP de aquí en adelante) ha tenido una amplia aplicación dentro de la literatura económica y particularmente ha sido utilizado dentro de las instituciones que formulan la política económica para estimar el producto potencial. La idea detrás de este filtro es que una serie de tiempo  $(y_t)$  puede separarse en un componente tendencial  $(y_t^x)$ , y en un componente cíclico  $(y_t^c)$ . El componente tendencial se obtiene del proceso de minimización de la varianza del componente cíclico  $y_t^c = y_t - y_t^x$ , sujeto a una restricción de tolerancia a las fluctuaciones en la tendencia. El problema puede resumirse como:

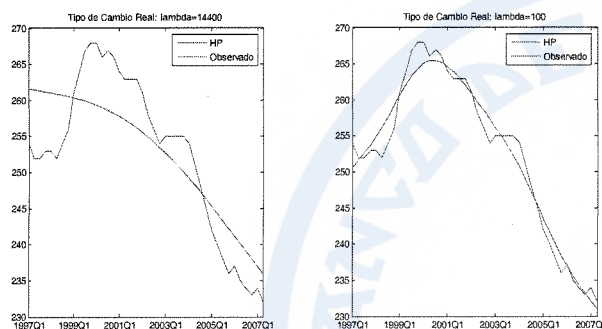
$$\min_{y_t^x} \left\{ (y_t - y_t^x)^2 + \lambda \sum_{t=0}^T \left( (y_{t+1}^x - y_t^x) - (y_t^x - y_{t-1}^x) \right)^2 \right\} \quad (1)$$

Si  $\lambda=0$ , la tendencia es igual a la serie observada  $y_t^x = y_t$ . Cuando aumenta  $\lambda$ , la tendencia presenta menos fluctuaciones, hasta llegar al caso límite en el cual  $\lambda \rightarrow \infty$  y la tendencia se convierte en una tendencia lineal.

La popularidad de este filtro reside en su simplicidad; sin embargo, éste y otros filtros univariados han sido objeto de críticas. La primera crítica es que queda a juicio del usuario elegir el valor de  $\lambda$ , es decir, qué tan suave (o lineal) debe ser la tendencia. ¿Debería ser muy rígida, de forma que la tendencia no se mueva junto con los ciclos que existen en los datos, o debería ser más flexible y seguir de cerca las fluctuaciones de los datos observados? La metodología por sí misma no provee ninguna información sobre cuál debe ser el valor de  $\lambda$ ; el usuario debe inferirlo, imponerlo o utilizar otro criterio para fijar su valor.

El problema de elegir arbitrariamente el valor de  $\lambda$  es relevante, para el caso de la estimación del producto potencial, por ejemplo, ya que existe un vínculo directo entre qué tan suave es la tendencia del producto y los shocks que afectan a una economía. Si las condiciones de oferta permanecen prácticamente sin cambios y los shocks que

afectan a la economía son primordialmente shocks de demanda agregada, entonces el producto potencial no debe moverse cerca de los datos observados de producción, en este caso, es apropiado utilizar en el filtro un parámetro de suavizamiento ( $\lambda$ ) alto. Por el contrario, si existe una alta proporción de shocks de oferta, entonces es probable que el producto potencial se esté moviendo más cerca de las fluctuaciones observadas en el producto  $y$ , por consiguiente, un parámetro de suavizamiento bajo sería apropiado. En la gráfica 1 se ejemplifica este problema utilizando una serie del tipo de cambio real.



Gráfica 1

En el caso del MMS, la discrecionalidad en la selección del parámetro de suavizamiento ( $\lambda$ ) es aún más crítica, puesto que dependiendo de la magnitud de las diferencias entre la producción observada y su tendencia, así será la magnitud de las presiones inflacionarias (o deflacionarias, según sea el caso) provenientes del exceso de demanda. Lo mismo ocurre si pensamos en la brecha del tipo de cambio real; mientras más grandes sean las diferencias respecto de su tendencia, mayor será la presión que ejerza sobre la brecha del producto de demanda externa y, en última instancia, sobre la tasa de inflación. Es interesante observar en la gráfica 1 que, en el último trimestre de la muestra y utilizando un parámetro de suavizamiento alto ( $\lambda=14400$ ), el tipo de cambio real parece estar sobreperepreciado puesto que el tipo de cambio real observado es menor que su valor tendencial o de equilibrio (generando últimamente presiones hacia la baja de la inflación); por el contrario, con un parámetro de suavizamiento bajo ( $\lambda=100$ ), el tipo de cambio real observado resulta mayor que el de tipo de cambio real de equilibrio, lo cual sugiere que las presiones sobre la tasa de inflación son hacia el alza.

Otra crítica importante al filtro HP, y una particularmente sensible para los fines de pronóstico del MMS, es que, tal como lo señalan Baxter y King (1995), el filtro HP mues-

tra cierta inestabilidad de sus estimaciones al inicio y al final<sup>6</sup> de la muestra.

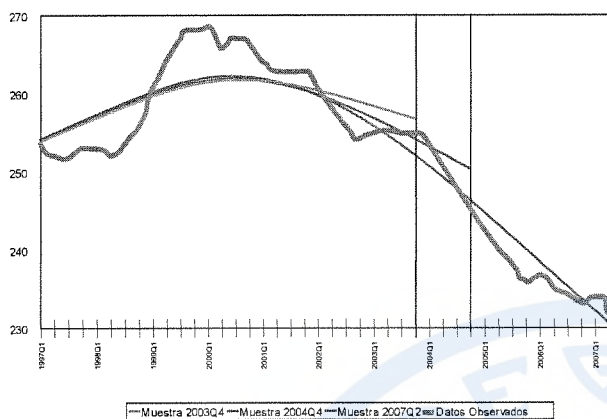
La solución al problema de minimización descrito en (1) es:  $\hat{y}^x = F_{HP}^{-1} y$ , ergo,  $\hat{y}^e = y - \hat{y}^x$ . En donde la matriz  $F_{HP}$  es de la forma:

$$F_{HP} = \begin{bmatrix} 1+\lambda & -2\lambda & 0 & 0 & \dots & \dots & 0 \\ -2\lambda & 1+5\lambda & -4\lambda & 0 & \dots & \dots & 0 \\ \lambda & -4\lambda & 1+6\lambda & -4\lambda & \lambda & \dots & 0 \\ 0 & \lambda & -4\lambda & 1+6\lambda & -4\lambda & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1+6\lambda & -4\lambda & \lambda \\ 0 & 0 & 0 & \dots & -4\lambda & 1+5\lambda & -2\lambda \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & -2\lambda & 1+\lambda \end{bmatrix}$$

En la matriz  $F_{HP}$  se observa que las tendencias son estimadas como una especie de promedio móvil centrado, en donde valores de los datos, tanto pasados como futuros (por ejemplo del producto), son utilizados para estimar el valor actual de la tendencia (el producto potencial). Al final de la muestra,<sup>7</sup> cuando estos valores futuros no están disponibles, el filtro no tiene el beneficio de una percepción retrospectiva para inferir el valor presente de la tendencia. Esto significa que la precisión de la estimación de la tendencia se deteriora marcadamente justo cuando dicha estimación es crucial para preparar los pronósticos o para juzgar si es adecuada o no, la posición del instrumento de política. En la gráfica 2 se estimó la tendencia del tipo de cambio real de equilibrio a través del Filtro HP con un lambda de 1600, para tres horizontes temporales distintos.

<sup>6</sup> Siendo particularmente importante la inestabilidad al final de la muestra, por el sesgo en el pronóstico que puede generar.

<sup>7</sup> Lo mismo sucede al inicio.



Gráfica 2: Filtro HP del tipo de cambio real

De una misma serie del tipo de cambio real, con datos desde el primer trimestre de 1997 (1997Q1) hasta el segundo trimestre de 2007 (2007Q2), se tomaron dos submuestras, la primera es desde 1997Q1 hasta 2003Q4 y la segunda también inicia en 1997Q1, pero termina un año después, en 2004Q4. Es evidente en la gráfica 2 el deterioro de la estimación ante la ausencia de datos futuros. Por ejemplo, si sólo se contara con información a 2003Q4 (la primera línea vertical), la brecha del tipo de cambio real sería negativa indicando un tipo de cambio sobrepreciado, el cual estaría generando presiones hacia la baja de la tasa de inflación debido a que existiría menos demanda externa de la producción guatemalteca. Sin embargo, si se utiliza una muestra con cuatro observaciones trimestrales más (un año), se observa que la estimación de la tendencia del tipo de cambio real (línea azul) para esa misma fecha (2003Q4) varía considerablemente, al punto que ésta es menor que el tipo de cambio real observado. Las consideraciones sobre los efectos de la brecha del tipo de cambio real sobre la tasa de inflación se invierten totalmente en este caso, sugiriendo ahora que existe una sobredepreciación del tipo de cambio real, lo cual presiona hacia el alza el nivel general de precios. El hecho de que la situación se revierta totalmente en un año, es una importante fuente de desconfianza para las estimaciones basadas en el filtro HP.

### 3. Un filtro multivariado: Kalman

En esta sección se presentan estimaciones alternativas del producto potencial y del tipo de cambio real de equilibrio a través del Filtro de Kalman (KF de aquí en adelante). El

Filtro KF es un algoritmo para actualizar secuencialmente proyecciones lineales de un sistema dinámico. Dentro de otros usos, dicho filtro permite desarrollar un algoritmo de suavizamiento (smoothing), que es una forma de utilizar toda la información de una muestra para realizar la mejor inferencia acerca del estado no observado de un proceso, en cualquier fecha histórica. El primer paso es expresar el sistema dinámico en una forma particular llamada “representación estado-espacio”.<sup>8</sup>

#### 3.1. El tipo de cambio real de equilibrio

Como se mencionó, el Filtro de Kalman potencialmente supera al filtro HP en al menos dos dimensiones: Primero, evita los problemas al final de la muestra; y segundo, utiliza información adicional contenida en otras variables. Es por ello que en esta sección se intenta inferir el tipo de cambio real de equilibrio a través del filtro KF, para lo cual se formula un modelo sencillo que incluye variables observables, tales como: los desvíos del tipo de cambio nominal, desvíos de la inflación foránea respecto de la inflación doméstica y la tasa de variación del tipo de cambio real de equilibrio.

La idea básica es que la serie observada del tipo de cambio real ( $Z_t$ ) está compuesta por una tendencia y una brecha, es decir:  $Z_t = \bar{Z}_t + \tilde{Z}_t$ , en donde, al igual que dentro del MMS, suponemos que la brecha está determinada por la siguiente ecuación:

$$\tilde{Z}_t = \tilde{Z}_{t-1} + (\Delta s_t^* + \pi_t^* - \pi_t - \Delta \bar{Z}_t) / 4 \quad (2)$$

En donde:

$\tilde{\cdot}$  : Significa brecha.

$\bar{\cdot}$  : Significa tendencia (o valor de equilibrio).

$Z_t$  : Tipo de cambio real

$\Delta s_t^*$  : Variación del tipo de cambio nominal (suavizado)

$\Delta \bar{Z}_t$  : Variación del tipo de cambio real de equilibrio

$\pi_t^*$  : Inflación del principal socio comercial

$\pi_t$  : Inflación doméstica

Para la ecuación de estado, simplemente se supone que la variación en la tendencia del tipo de cambio real está determinada por una caminata aleatoria:  $\Delta \bar{Z}_t = \Delta \bar{Z}_{t-1} + \varepsilon_t^{\Delta \bar{Z}}$ . Este supuesto sobre las propiedades dinámicas de la tendencia es necesario para completar las propiedades estadísticas del sistema dinámico que se desea estimar, el cual se describe a continuación:

<sup>8</sup> Ver anexo A.

Ecuaciones de estado:

$$\Delta \bar{Z}_t = \Delta \bar{Z}_{t-1} + \varepsilon_t^{\Delta Z} \quad (3)$$

$$\tilde{Z}_t = \tilde{Z}_{t-1} + (\Delta s_t^* + \pi_1^* - \Delta \bar{Z}_t)/4 + \varepsilon_t^z \quad (4)$$

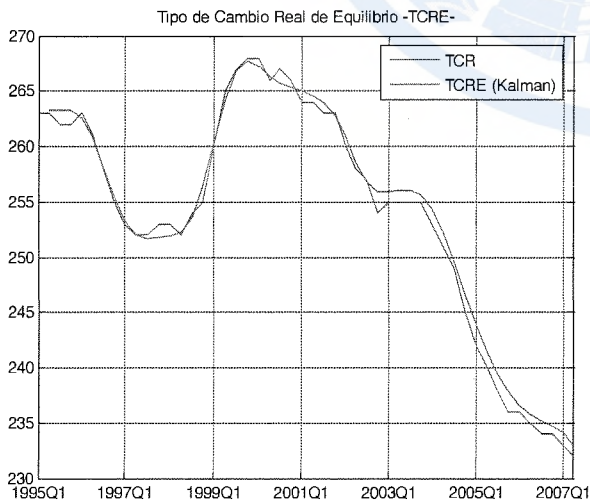
Las variables  $\varepsilon_t^j$  son perturbaciones estocásticas  $\sim Niid$ , de la variable  $j = \{\Delta \bar{Z}, \tilde{Z}\}$ .

Ecuación de observación:

$$Z_t = \bar{Z}_t + \tilde{Z}_t \quad (5)$$

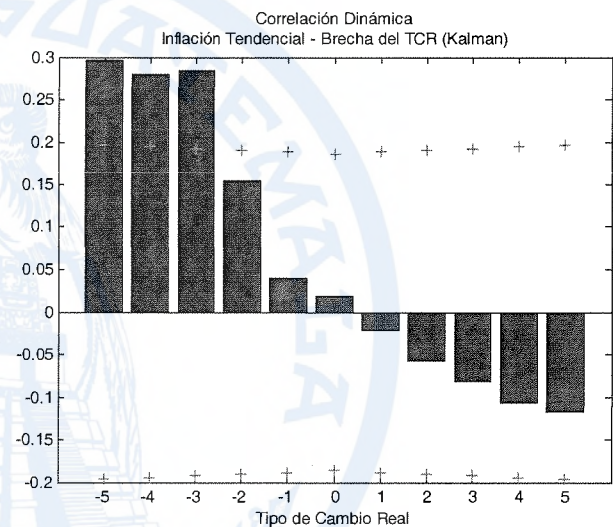
Adicionalmente se incluyen identidades que se cumplen trivialmente tanto en la ecuación matricial de estado como en la ecuación matricial de observación.

El sistema descrito se procesa utilizando la aplicación de suavizamiento de Kalman (Kalman Smoothing), y se estima a través de la plataforma para matlab IRIS 3. Los resultados de la estimación (para el periodo 1995Q2 - 2007Q2) se presentan en la gráfica 3, en donde se observa el tipo de cambio real de equilibrio (TCRE) y el tipo de cambio real observado (TCR). Antes del último trimestre de 2001, el tipo de cambio real se mantuvo cerca de su valor de equilibrio, sobreapreciado en algunos periodos y sobredepreciado en otros; sin embargo, a partir de 2002Q2 el tipo de cambio real observado parece estar desalineado respecto de su valor de equilibrio, mostrando una sobreapreciación durante todo el periodo 2002Q2-2007Q2. Pese a que la desalineación no parece ser importante en cuanto a magnitud, ésta podría haber generado presiones deflacionarias a lo largo del lustro. Es interesante notar que en este periodo (que se ha caracterizado por una fuerte apreciación del tipo de cambio real) la estimación del tipo de cambio real de equilibrio, a través del Filtro de Kalman, sugiere que la mayor parte de la apreciación observada proviene de una apreciación del tipo de cambio real de **equilibrio**.



Gráfica 3

Con el objetivo de verificar si esta estimación posee un mayor poder explicativo sobre la inflación tendencial, se estimaron correlaciones dinámicas entre la brecha<sup>9</sup> y la inflación tendencial. En la gráfica 4 se observa que existe una correlación positiva entre la brecha del tipo de cambio real y la inflación tendencial, tal como lo sugiere el canal del tipo de cambio. La inflación tendencial en el periodo presenta una correlación de 0.2958 con la brecha del tipo de cambio real rezagada cinco trimestres, de 0.2801 con cuatro trimestres de rezago y de 0.2838 con tres trimestres rezagados de la misma variable; las tres correlaciones son estadísticamente significativas.

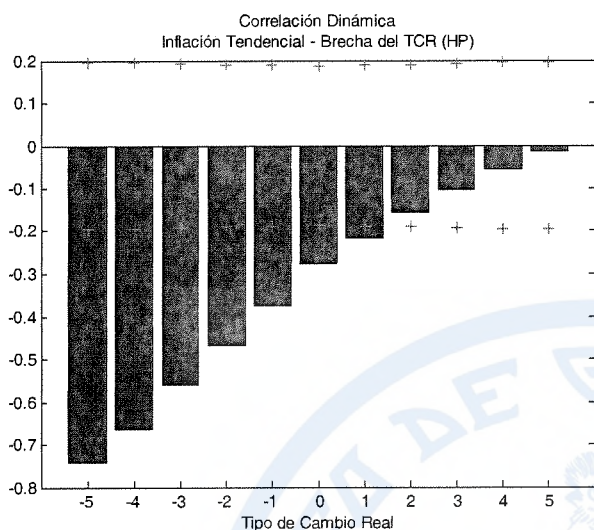


Gráfica 4

Para comprobar que la brecha estimada por medio del Filtro KF supera en poder explicativo (de la inflación tendencial) a la brecha estimada por medio del filtro HP, se realizó el ejercicio anterior utilizando la brecha estimada a través de la diferencia entre el tipo de cambio real y la tendencia que se obtiene de aplicar el filtro HP con un parámetro de suavizamiento de 1600. Los resultados se presentan en la gráfica 5, donde se observa que las correlaciones son negativas, lo cual es contraintuitivo: un exceso de demanda externa, provocado por una sobredepreciación del tipo de cambio real (una brecha positiva), debe generar presiones hacia el alza de los precios y, por lo tanto, la correlación entre la brecha y la inflación debe ser positiva.

<sup>9</sup> Definida como la diferencia entre el tipo de cambio real y el tipo de cambio real de equilibrio estimado por medio del Filtro de Kalman.





Gráfica 5

### 3.2. El producto potencial

Para estimar el producto potencial se utilizó la misma metodología aplicada en la sección anterior para estimar el tipo de cambio real de equilibrio. Nuevamente se intenta inferir el nivel del producto potencial a través del Filtro de Kalman, para lo cual se formula un modelo muy sencillo. Como en el caso anterior, se parte de la idea de que si se resta el componente tendencial ( $\bar{y}_t$ ) de la serie observada del producto ( $y_t$ ), se obtiene la brecha del producto ( $\tilde{y}_t$ ). En otras palabras, la serie observada del producto<sup>10</sup> puede expresarse como:  $y_t = \bar{y}_t + \tilde{y}_t$ .

Para enriquecer nuestra estimación del producto potencial con la información de otras variables y en consonancia con los mecanismos de transmisión descritos en la introducción, se asume que la brecha del producto está determinada por dos componentes principales: la brecha de la tasa de interés real de largo plazo y la brecha del tipo de cambio real. Adicionalmente se incluye un término autorregresivo, para dar cierta persistencia al ciclo, y la variación en el gasto del gobierno, para identificar de mejor manera la brecha del producto. El sistema que se estimó es:

Ecuaciones de estado:

$$\Delta \bar{y}_t = \Delta \bar{y}_{t-1} + \varepsilon_t^{\Delta \bar{y}}$$

$$\tilde{y}_t = \alpha \cdot \tilde{y}_{t-1} + \beta \cdot \tilde{Z}_t + \gamma \cdot \tilde{R}_t + \delta \cdot \Delta G + e_t^{\tilde{y}}$$

<sup>10</sup> Se utilizó la serie del IMAE dado que no están disponibles estadísticas trimestrales de la producción para Guatemala.

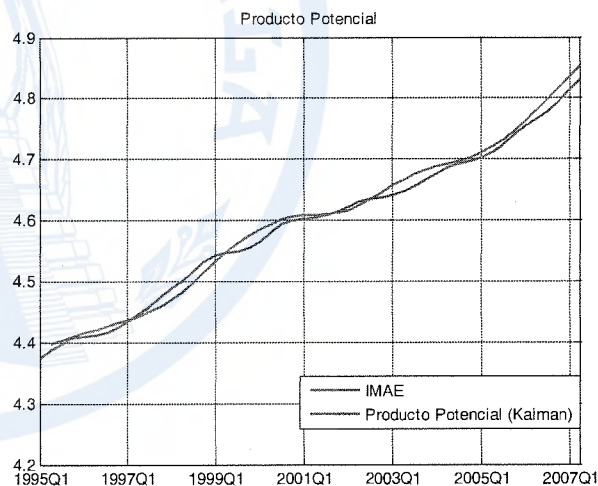
Las variables  $\varepsilon_t^i$  nuevamente son perturbaciones estocásticas  $\sim Niid$ , de la variable  $i = \{\Delta \bar{y}, \tilde{y}\}$

$$\text{Ecuación de observación: } y_t = \bar{y}_t + \tilde{y}_t \quad (6)$$

En donde:

- ~ Significa brecha.
- Significa tendencia (o valor de equilibrio).
- $y_t$ : Producción (IMAE)
- $R_t$ : Tasa de interés real de largo plazo
- $Z_t$ : Tipo de cambio real
- $\Delta G$ : Variación del gasto de gobierno

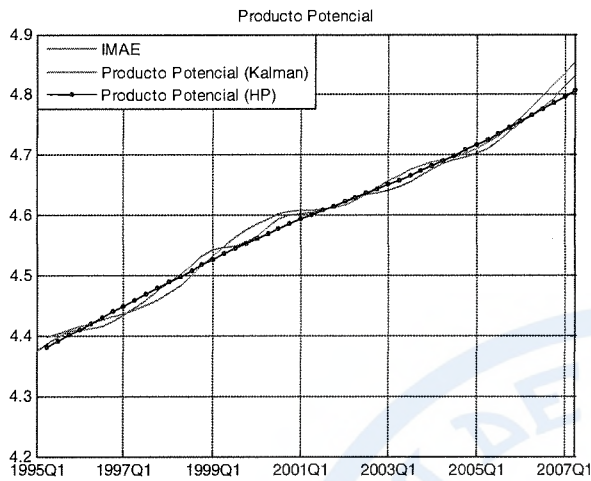
Para esta estimación también se incluyen identidades que se cumplen trivialmente tanto en la ecuación matricial de estado como en la ecuación matricial de observación. Aplicando nuevamente el algoritmo de suavizamiento del Filtro de Kalman, se estimó el producto potencial para el periodo 1995Q2-2007Q2. Los resultados de dicha estimación se presentan en la gráfica 6:



Gráfica 6

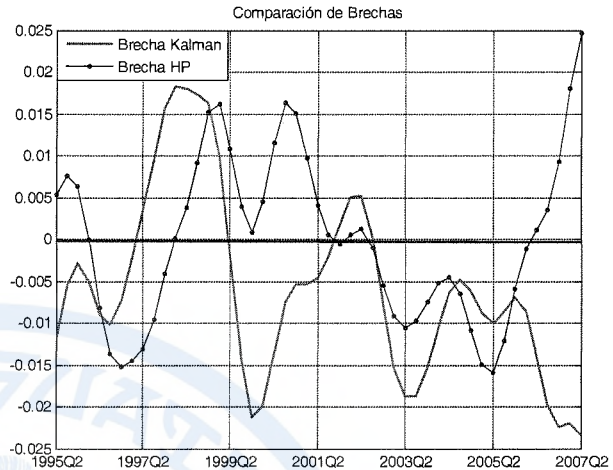
Antes de analizar el poder explicativo que sobre la inflación exhibe la brecha implícita en esta estimación del producto potencial, resulta interesante comparar el producto potencial estimado con el Filtro KF y aquel estimado con el filtro HP.<sup>11</sup> Esta comparación se encuentra en la gráfica 7:

<sup>11</sup> Utilizando un parámetro de suavizamiento:  $\lambda=1600$



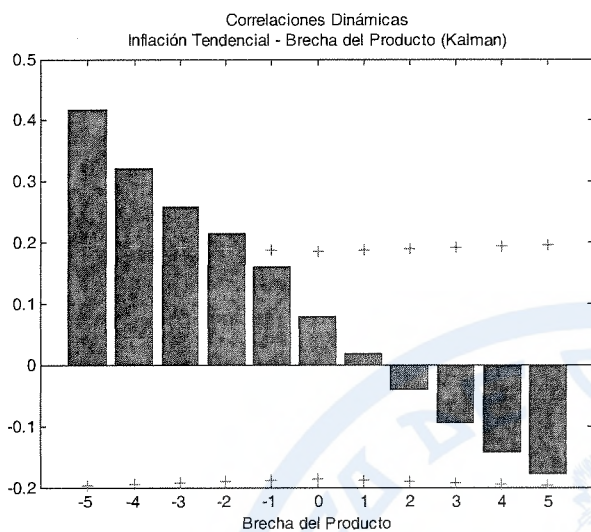
Gráfica 7

Las diferencias entre la tendencia KF y la tendencia HP son evidentes. En algunos periodos, estas dos estimaciones sugieren brechas con signo distinto, es decir, para algunos periodos el producto potencial, estimado a través del Filtro KF, sugiere presiones deflacionarias, mientras que la estimación a través del Filtro HP sugiere presiones inflacionarias (e. g. de 1999Q2 a 2001Q3). Las diferencias no sólo se presentan respecto del signo, sino también respecto a la magnitud de la brecha. Esto es importante per se, puesto que de la magnitud de la brecha se obtiene información sobre qué tan fuertes son las presiones inflacionarias o deflacionarias, según sea el caso. Resulta interesante observar que, aproximadamente en 2005Q4, las brechas que hasta ese momento mostraban una correlación significativa adquieren distintas tendencias, al punto que, a partir de 2006Q2, la brecha estimada por medio del Filtro HP sugiere la existencia de presiones inflacionarias mientras que la brecha estimada por medio del Filtro KF supone presiones deflacionarias (ver gráfica 8).

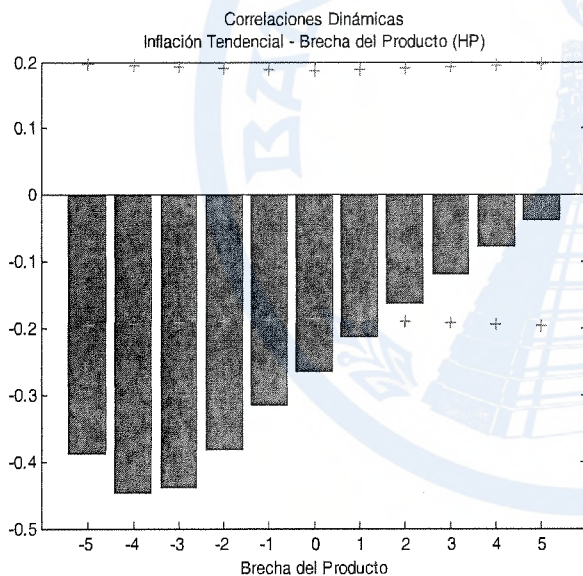


Gráfica 8

En principio es posible asignar mayor confianza a la estimación realizada por medio del Filtro de Kalman puesto que se conoce de antemano los problemas que tiene el Filtro de Hodrick y Prescott al final de las muestras; sin embargo, para tener alguna evidencia de que la estimación realizada por medio del Filtro de Kalman es superior a la estimación realizada por medio del Filtro HP, se estimaron correlaciones dinámicas entre cada una de las brechas y la inflación tendencial. Como se observa en la gráfica 9, la brecha que surge de la estimación, a través del Filtro de Kalman, presenta una fuerte correlación con la inflación tendencial. Se observa una correlación positiva y estadísticamente significativa (0.4039) entre el producto potencial rezagado cinco trimestres y la inflación tendencial en  $t$ . También se observan correlaciones positivas y significativas entre el producto potencial rezagado cuatro, tres y dos trimestres (0.3095, 0.2494 y 0.2089, respectivamente). Por el contrario, con la brecha estimada a través del Filtro HP las correlaciones con la inflación tendencial son negativas, lo cual resulta nuevamente contraintuitivo (ver gráfica 10).



Gráfica 9



Gráfica 10

#### 4. Conclusiones

El propósito de este trabajo es proponer una estimación alternativa del producto potencial y del tipo de cambio real utilizando un filtro multivariado; por lo tanto, se realizaron estimaciones de estas dos variables no observables empleando el Filtro de Kalman para el periodo comprendido entre el segundo trimestre de 1995 y el segundo trimestre de 2007.

Las estimaciones realizadas, a través del Filtro de Kalman, difieren significativamente de aquellas realizadas a través del filtro de Hodrick y Prescott. Este resultado era previsible, dado que el Filtro de Kalman es capaz de enriquecer su inferencia con información adicional a la contenida en la propia serie. Para tomar ventaja de esta característica, se formularon dos modelos sencillos que incluyen variables con información sobre la brecha, las cuales hicieron posible identificar el componente tendencial de mejor manera.

Es interesante observar que las diferencias que surgen entre las brechas del producto y del tipo de cambio real (dependiendo del método de estimación: HP o KF) modifican considerablemente su relación con la inflación tendencial. Las diferencias se presentan tanto en el signo como en la magnitud de la brecha. Las diferencias de signo, como se mencionó, son importantes porque indican presiones contrarias sobre la inflación, es decir, una brecha positiva estaría indicando presiones hacia el alza de la tasa de inflación; y una brecha negativa, presiones hacia la baja. Las diferencias en magnitud también son importantes, puesto que indican qué tan fuertes son las presiones sobre la inflación y, al mismo tiempo, sugieren qué tan drásticas deben ser las acciones de política.

A pesar de que las estimaciones realizadas a través del filtro de Kalman permitieron calcular brechas que guardan una relación coherente con la inflación tendencial, no hay que perder de vista que tanto el producto potencial como el tipo de cambio real de equilibrio son variables no observables. Al ser no observables es imposible contar con una estimación que sea absolutamente correcta o inequívoca; existen muchas metodologías para inferir estas variables y ninguna está exenta de críticas. Es por ello que la estimación del producto potencial y del tipo de cambio real de equilibrio debe incluirse en la agenda de investigación de todo banco central que desee identificar con anticipación las presiones inflacionarias que surgen en la economía. Especialmente para aquellos bancos centrales en los cuales se formula la política monetaria bajo un esquema de metas explícitas de inflación, es muy importante contar con un conjunto amplio de estimaciones puesto que, tanto los pronósticos como las acciones de política, están fuertemente influenciados por la evolución estimada de estas variables no observables. También resulta útil contar con estimaciones realizadas con diferentes metodologías, puesto que la metodología más adecuada para la estimación de una variable no observable puede diferir de una economía a otra, y de un periodo a otro. Al contar con distintas estimaciones es posible identificar de mejor manera las presiones inflacionarias a la luz de: la teoría económica, del momento histórico que la economía esté atravesando y del juicio experto de los hacedores de política.

## Referencias

Castañeda, J. C.; y Solís, O. G. (2007). *Análisis de los mecanismos de transmisión de la política monetaria en Guatemala*. Banco de Guatemala, junio de 2007.

Hodrick, R. J., y Prescott, E. C. (1997). *Post-war US business cycles: An empirical investigation*. Journal of Money Credit and Banking, 29, 1-16.

Kalman, R. E. (1960). *A new approach to linear filtering and prediction problems*. Journal of Basic Engineering, Transactions of the ASME Series D, 82.

----- (1963). *New methods in Wiener Filtering Theory*. Proceedings of the "First Symposium of Engineering Applications of Random Functions Theory and Probability". New York, Wiley.

Baxter, M. y King, R. G. (1995). *Measuring business cycles: Approximate band-pass filters for economic time series*. NBER Working Paper No. 5022.

### A. Representación Estado-Espacio de un sistema dinámico

#### A.1. Supuestos generales

Sea  $y_t$  un vector de variables observadas al periodo  $t$ . Un conjunto rico de modelos dinámicos para  $y_t$  pueden ser descritos en términos de un (posiblemente no observado) vector  $\xi_t$  conocido como el vector estado. La representación *estado-espacio* de la dinámica de  $y$  está dada por el siguiente sistema de ecuaciones:<sup>12</sup>

$$\xi_{t+1} = F \xi_t + v_{t+1} \quad (7)$$

$$y_t = A' x_t + H' \xi_t + w_t \quad (8)$$

Donde  $F$  ( $r \times r$ ),  $A'$  ( $m \times k$ ) y  $H'$  ( $m \times r$ ) son las matrices de parámetros.  $x_t$  es un vector de variables exógenas o predeterminadas de dimensión ( $k \times 1$ ). La ecuación (7) se conoce como la ecuación de estado y (8) se conoce como la ecuación de observación. El vector  $v_t$  de ( $r \times 1$ ) y  $w_t$  de ( $n \times 1$ ) son vectores de ruido blanco.

$$E(v_t w_t') = \begin{cases} Q & \text{para } t = \tau \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (9)$$

$$E(w_t w_t') = \begin{cases} R & \text{para } t = \tau \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (10)$$

Donde  $Q$  y  $R$  son matrices de ( $r \times r$ ) y ( $n \times n$ ), respectivamente. Se asume que las perturbaciones  $v_t$  y  $w_t$  no están correlacionadas con ninguno de sus rezagos:

$$E(v_t w_t') = 0 \text{ para todo } t \text{ y } \tau \quad (11)$$

La afirmación de que  $x_t$  es predeterminada o exógena significa que no provee información sobre  $\xi_{t+s}$  o  $w_{t+s}$  para  $s = 0, 1, 2, \dots$  más que aquella contenida en  $y_{t-1}, y_{t-2}, \dots, y_1$ . Por lo tanto,  $x_t$  podría incluir valores rezagados de  $y$  o variables que no están correlacionadas con  $\xi_t$  o  $w_t$  para todo  $\tau$ .

El sistema de (7) hasta (11) se utiliza típicamente para describir series finitas de observaciones  $\{y_1, y_2, \dots, y_T\}$  para las cuales se necesitan supuestos acerca del valor inicial del vector de estado  $\xi_1$ . Suponemos también que  $\xi_1$  no está correlacionado con ninguna realización de  $v_t$  o  $w_t$ :

$$E(v_t \xi_1') = 0 \text{ para } t = 1, 2, \dots, T \quad (12)$$

$$E(w_t \xi_1') = 0 \text{ para } t = 1, 2, \dots, T \quad (13)$$

La ecuación de estado (7) implica que  $\xi_t$  puede escribirse como una función de  $(\xi_1, v_2, v_3, \dots, v_t)$ . Por lo tanto, (12) y (13) implican que  $v_t$  no está correlacionado con valores rezagados de  $\xi_t$ :

$$E(v_t \xi_t') = 0 \text{ para } \tau = t-1, t-2, \dots, 1. \quad (14)$$

De igual forma:

$$E(w_t \xi_t') = 0 \text{ para } \tau = 1, 2, \dots, T \quad (15)$$

$$E(w_t y_t') = 0 \text{ para } \tau = t-1, t-2, \dots, 1. \quad (16)$$

$$E(v_t y_t') = 0 \text{ para } \tau = t-1, t-2, \dots, 1. \quad (17)$$

El sistema de (7) hasta (13) es muy flexible y muy fácil de generalizar a sistemas en los cuales las perturbaciones ( $v$  y  $w$ ) están correlacionadas o al caso en que alguna de las matrices de parámetros ( $F$ ,  $Q$ ,  $A$ ,  $H$  ó  $R$ ) son funciones del tiempo.

<sup>12</sup> Basado en: Hamilton, J. D. (1994). "Time series analysis", Chapter 13. Princeton University Press, Princeton, NJ.