

**BANCO DE GUATEMALA**

Documentos de Trabajo

**CENTRAL BANK OF GUATEMALA**

Working Papers

No. 124

**UN MODELO MACROECONÓMICO PARA  
GUATEMALA ESTIMADO POR MÉTODOS  
BAYESIANOS\***

**Junio 2012**

Autor:

Carlos Eduardo Castillo Maldonado

\*Trabajo ganador del 2º. lugar, reconocimiento otorgado por el Jurado Calificador del Certamen Permanente de Investigación sobre Temas de Interés para la Banca Central Dr. Manuel Noriega Morales, Edición XXIII





## **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.

# Un modelo macroeconómico para Guatemala estimado por métodos bayesianos

## Resumen

Este documento presenta una estrategia para modelar una economía pequeña y abierta, cuya autoridad monetaria ha establecido dos objetivos simultáneos: una meta de inflación y un máximo permisible de fluctuación cambiaria. Para tal efecto, se construye un modelo DSGE que contempla el efecto liquidez de la tasa de interés en los agregados monetarios, el efecto de las fluctuaciones del crédito bancario en la actividad económica, los efectos de la política fiscal en el mecanismo de transmisión de la política monetaria y el efecto de variaciones en las reservas monetarias internacionales en la actividad económica y en la inflación. Debido a que el banco central establece dos objetivos simultáneos de política, el modelo DSGE contiene dos funciones de reacción por parte del banco central: i) una típica Regla de Taylor, donde la tasa de interés de política monetaria reacciona ante desvíos de la inflación respecto de su meta de largo plazo y respecto de la brecha del producto; y, ii) una Regla de Intervención Cambiaria, donde el monto acumulado de Reservas Monetarias Internacionales se altera en función de fluctuaciones del tipo de cambio nominal que exceden de un valor predeterminado. Los parámetros de las ecuaciones que conforman el modelo DSGE se estiman por medio de métodos bayesianos, que utilizan como fuente series estadísticas de la economía guatemalteca para el período 2002-2011.

Clasificación JEL: C51, E17, E43

Palabras Clave: modelos macroeconómicos, estimación bayesiana, metas de inflación

## I. INTRODUCCIÓN

Durante las últimas tres décadas se ha observado una marcada reducción en la tasa de inflación, tanto en países industrializados como en economías emergentes. De manera paralela se ha observado una tendencia al alza en el número de bancos centrales que públicamente se comprometen a mantener la inflación alrededor de cierto nivel o meta (Nessén y Vesting, 2005; Freedman y Laxton, 2009). En efecto, un creciente número de bancos centrales a nivel mundial han adoptado un esquema de metas explícitas de inflación como marco de política monetaria debido a: i) la amplia aceptación por parte de académicos y tomadores de decisiones respecto al elevado costo económico y social de la inflación; ii) la inexistencia de una compensación entre inflación y desempleo (Bernanke et.al., 1999; y Mishkin, 2007); y iii) las ventajas que éste proporciona respecto de otros esquemas de política monetaria (Batini, Kuttner y Laxton, 2005; y Truman, 2003).<sup>1</sup>

Congruente con lo requerido por este esquema de política monetaria, las autoridades de los bancos centrales a nivel global también fueron adoptando regímenes cambiarios más flexibles (Fischer, 2001; y Masson, Savastano y Sharma, 1997). No obstante, el grado de flexibilidad cambiaria que se observa entre bancos centrales, particularmente en economías emergentes, no es pleno. En efecto, una gran proporción de estas economías manejan su política monetaria por medio de una combinación entre cambios en su tasa de interés de referencia e intervenciones en el mercado cambiario, donde estas últimas son producto del

---

<sup>1</sup> Particularmente, este esquema monetario permite anclar, de manera más efectiva y duradera, las expectativas de inflación de los agentes económicos; contribuye a reducir la volatilidad de la inflación y de la actividad económica; y proporciona mayor flexibilidad a los tomadores de decisiones respecto de las decisiones de política monetaria

“miedo a flotar” (De Gregorio y Tokman, 2004; Calvo y Reinhart, 2000; y Edwards, 2002).<sup>2</sup>

La política monetaria del Banco de Guatemala enfrenta este tipo de disyuntiva. Por un lado, el banco central estableció un esquema de metas explícitas de inflación en 2005, el cual se basa en el manejo de la tasa de interés de referencia (la tasa de interés *overnight* para Certificados de Depósito del Banco de Guatemala) con el objeto que la inflación observada converja, en el mediano plazo, a la meta de inflación predeterminada por las autoridades de la institución (la Junta Monetaria). Sin embargo, el temor a permitir una plena flotación del quetzal se ha evidenciado por medio de continuas intervenciones cambiarias parcialmente esterilizadas en el mercado de dinero, las cuales, se basan en una “*regla de intervención cambiaria*” que se activa cuando la volatilidad del tipo de cambio nominal excede de un valor predeterminado.<sup>3</sup>

El efecto macroeconómico de las intervenciones cambiarias del banco central, ha sido poco explorado en modelos macroeconómicos basados en reglas de tasas de interés. Sin embargo, una detallada especificación de dichos efectos podría ayudar a los tomadores de decisiones a evitar los posibles conflictos que podrían producirse al establecerse dos objetivos simultáneos de política monetaria. Por lo tanto, derivado de la importancia de

---

<sup>2</sup> En efecto, las autoridades de los bancos centrales tienen temor a permitir una flotación plena de sus respectivas monedas, debido principalmente, al impacto inflacionario de las fluctuaciones cambiarias y al desequilibrio contable (efecto hoja de balance) entre activos en moneda local y pasivos en moneda extranjera de las empresas y de las instituciones financieras, que podría producirse al experimentar amplias fluctuaciones cambiarias.

<sup>3</sup> El valor límite es en efecto un rango permisible de fluctuación, el cual se construye por medio del valor promedio de los tipos de cambio observados durante los últimos cinco días más/menos 0.6% de dicho valor. Por consiguiente, si el tipo de cambio nominal de mercado del quetzal respecto del dólar estadounidense, durante un día en particular, excede los límites del rango indicado, se activa automáticamente la intervención del banco central en el mercado de divisas. Dicha intervención es hacia la compra (venta) de divisas en función si el tipo de cambio observado se encuentra por debajo (arriba) de dicho límite. La intervención cambiaria se lleva a cabo por medio de subastas públicas al mejor postor del mercado de divisas, al cual pertenecen los bancos del sistema y casas de bolsa; cada subasta conlleva un cupo máximo de US\$8 millones y existe un número máximo de tres subastas diarias (es decir, un monto máximo de US\$24 millones diarios por concepto de intervención cambiaria, si se efectúan las 3 subastas).



considerar el efecto de dichas intervenciones en el mecanismo de transmisión de la política monetaria, en este estudio se presenta una estrategia para modelar las acciones de política de un banco central que ha establecido “objetivos gemelos” (*twin targets*) que pretenden que la inflación y la volatilidad cambiaria se sitúen alrededor de metas predeterminadas. Para tal efecto se construye un modelo de equilibrio general dinámico que utiliza elementos del Nuevo Enfoque Keynesiano, similar a los desarrollados por Galí (2008), Berg, Karam y Laxton (2006a y 2006b) y Benés, Hurnik, and Vavra (2008), el cual es modificado para incluir el efecto liquidez de la tasa de interés en los agregados monetarios, el efecto del crédito bancario en la actividad económica, los efectos de la política fiscal en el mecanismo de transmisión de la política monetaria y el efecto de las intervenciones cambiarias del banco central en el mecanismo de transmisión monetario, por medio de cambios en las reservas monetarias internacionales. En base a la condición Timbergen-Aoki, la cual requiere de por lo menos un número equivalente de instrumentos para cada objetivo de política económica (Timbergen, 1963 y Aoki, 1975)<sup>4</sup>, el modelo DSGE que se construye en este estudio y que sirve de base para el análisis de la economía guatemalteca, contiene dos funciones de reacción del banco central: 1) para el objetivo de inflación: una Regla de Taylor, en donde la tasa de interés de política monetaria reacciona antes desvíos de la inflación proyectada respecto de la meta de inflación del banco central, así como a la brecha del producto; y 2) para moderar la volatilidad cambiaria: una Regla de Intervención Cambiaria, en donde el banco central reacciona, comprando o vendiendo una fracción de sus reservas monetarias internacionales, ante fluctuaciones del tipo de cambio nominal que exceden una meta predeterminada. Esta última función de reacción proporciona un método

---

<sup>4</sup> En el Apéndice 2 se efectúa la prueba de la condición Tinbergen-Aoki para sistemas dinámicos.

innovador para modelar formalmente lo que el Banco de Guatemala ha venido haciendo en la práctica durante los últimos años.

El modelo macroeconómico que se construye para modelar la economía guatemalteca consiste en un modelo dinámico de equilibrio general (DSGE) el cual se conforma por un conjunto de ecuaciones en forma reducida (no microfundada), cuyos parámetros se estiman para el período 2002-2011, por medio de métodos bayesianos, de manera similar a Dejong, Ingram y Whiteman (2000), Smets and Wouters (2003a, 2003b y 2003c) y Adolfson, Linde and Villani (2005). Este tipo de modelos permite establecer distribuciones probabilísticas y valores a priori para los parámetros de las ecuaciones del modelo DSGE; estos valores a priori se basan en estimaciones efectuadas en el pasado para la economía guatemalteca, por medio de diversas metodologías econométricas (Morán y Valle, 2002; Valle, 2003; y Castillo y Galindo, 2011). De esta manera, la estimación que se obtiene de las distribuciones posteriores tiende a replicar los hechos estilizados de la economía guatemalteca. En este sentido, consideramos que el modelo estimado podría ser establecido como un modelo de análisis de política monetaria para el Banco de Guatemala o para cualquier banco central de una economía emergente que oficialmente ha establecido un esquema de metas explícita de inflación, pero que adicionalmente monitorea el tipo de cambio nominal y, eventualmente interviene en el mercado cambiario ante fluctuaciones en el mismo que sobrepasan cierto valor.

Las siguientes secciones del presente documento se encuentran ordenadas de la forma siguiente: en la Sección II se presenta la estrategia de modelación macroeconómica; en la Sección III se describen las principales ecuaciones del modelo (las ecuaciones de comportamiento); en la Sección IV se presentan los datos, así como la metodología de estimación; en la Sección V se describen los resultados de la estimación bayesiana y se

ilustran ciertas simulaciones; y finalmente, en la Sección VI se presentan las conclusiones del estudio.

## II. ESTRATEGIA DE MODELACIÓN MACROECONÓMICA

La estrategia de modelación macroeconómica consiste en la representación gráfica y en la justificación teórico-empírica del modelo matemático que se desarrolla en el siguiente apartado. En este sentido, se asume que las acciones de política monetaria de un banco central se transmiten hacia la actividad económica y hacia los precios, principalmente, por medio de tres canales: i) El Canal de Demanda Agregada; ii) el Canal del Tipo de Cambio; y iii) el Canal de Expectativas.<sup>5</sup> La transmisión monetaria se activa por medio del empleo, por parte del banco central, de cualquiera de sus dos instrumentos utilizados para alcanzar sus dos objetivos: una meta de inflación y una meta de volatilidad cambiaria. Para alcanzar la meta de inflación, la transmisión monetaria da inicio con cambios en la tasa de interés de política monetaria, mientras que para alcanzar la meta de volatilidad cambiaria, la transmisión monetaria inicia con cambios en el monto acumulado de reservas monetarias internacionales (ver Figura 1). Es importante mencionar que las acciones que lleve a cabo el banco central por medio de ambos instrumentos no deben ser independientes, sino complementarias y coordinadas, con el objeto de cumplir ambos objetivos. En efecto, las intervenciones del banco central en el mercado cambiario que son parcialmente

---

<sup>5</sup> La Figura 1 ilustra en color negro todas las variables que pertenecen al canal de transmisión de demanda agregada o de tasa de interés (Emisión Monetaria, Tasa de Interés Nominal y Real de Mercado, Crédito Bancario al Sector Privado, Consumo e Inversión netos de Importaciones, Ingresos Tributarios, Deuda Pública Externa e Interna, Gasto Público, Exportaciones y Actividad Económica Interna). Adicionalmente, se ilustra con sombra gris tenue las variables que pertenecen al Canal de Tipo de Cambio (la Oferta Monetaria Total, así como el Tipo de Cambio Nominal y Real). Además, se ilustra con sombra gris oscuro las variables que pertenecen al Canal de Expectativas (Expectativas de Inflación y Expectativas Cambiarias). Finalmente, la Figura 1 ilustra con rayados verticales las variables que pertenecen al sector externo (Precios Externos, Tasa de Interés Externa y Crecimiento Económico Externo).



esterilizadas, tienen un efecto en los agregados monetarios y, por consiguiente, en la actividad económica y en la inflación.<sup>6</sup> Aún si dichas intervenciones fuesen totalmente esterilizadas, estas tienen un efecto en las expectativas cambiarias, las cuales afectan el comportamiento del tipo de cambio nominal, así como las decisiones presentes de consumo e inversión por parte de los agentes económicos. Por consiguiente, las intervenciones del banco central en el mercado cambiario afectan la inflación esperada, particularmente, cuando las expectativas de inflación no se encuentran sólidamente ancladas. En este sentido, la autoridad monetaria debe de coordinar sus compras y ventas de moneda extranjera, de conformidad con la trayectoria esperada de la tasa de interés de política monetaria, con el objeto de evitar el envío de señales opuestas a los agentes económicos por medio de ambos instrumentos de política monetaria. Por ejemplo, un banco central que se encuentre restringiendo su política monetaria por medio de incrementos en su tasa de interés de referencia, debe evitar llevar a cabo, simultáneamente, compras de moneda extranjera en el mercado cambiario, particularmente cuando las mismas son parcialmente esterilizadas, debido a que ello tendría un efecto al alza en los agregados monetarios, lo cual podría neutralizar la postura restrictiva que ha empleado el banco central por medio de alzas en sus tasas de interés de referencia.

La estrategia de modelaje macroeconómico que se presenta en este estudio ilustra un mecanismo de transmisión de la política monetaria para una economía pequeña y abierta que se encuentra sujeta a eventos externos e internos. La actividad económica se desagrega en tres de sus principales componentes: consumo e inversión del sector privado, gasto

---

<sup>6</sup> A lo largo del presente estudio, asumiremos que las intervenciones del banco central en el Mercado cambiario son parcialmente esterilizadas en el Mercado de dinero, debido a que este es efectivamente el caso de la economía guatemalteca.

público y exportaciones (ver Figura 1).<sup>7</sup> El primer componente de la actividad económica, consumo e inversión del sector privado, es función de los medios de pago (M2) y del crédito bancario al sector privado.<sup>8</sup> La introducción de los agregados monetarios dentro del mecanismo de transmisión de la política monetaria permite modelar el Efecto Liquidez en la economía guatemalteca, sobre el cual existe abundante evidencia en la literatura económica (Christiano y Eichenbaum, 1992; Roubini y Grilli, 1995; Stronging, 1995; Christiano, Eichenbaum y Evans, 1996; Leeper, Sims y Zha, 1996; Bernanke y Mihov, 1998a y 1998b; y Thornton, 2001),<sup>9</sup> así como el efecto de las intervenciones cambiarias (parcialmente esterilizadas) del banco central, en la actividad económica interna.<sup>10</sup> Adicionalmente, el consumo y la inversión privados y, por consiguiente, la demanda agregada y los precios internos, son función de las fluctuaciones en el crédito bancario al sector privado. Evidencia empírica que justifica esta relación ha sido presentada por Bigden y Mizen (1999), Hauser y Bridgen (2002), Thomas (1996, 1997a y 1997b) y Janssen (1996).

---

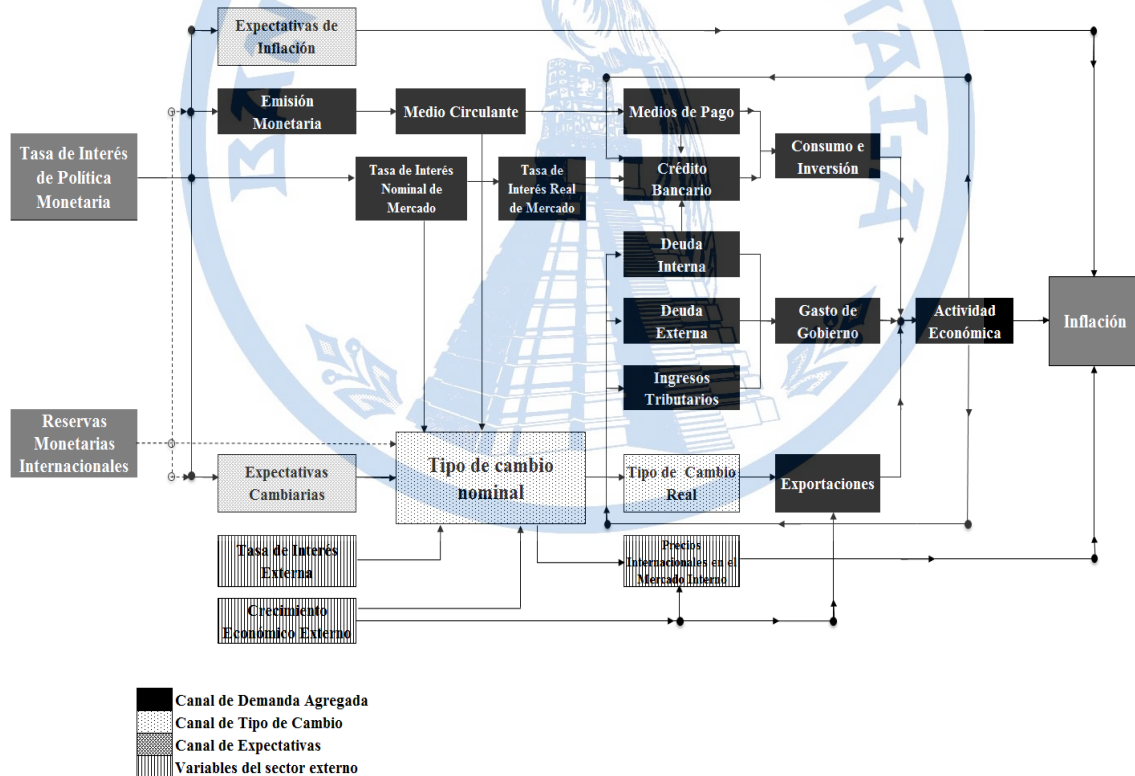
<sup>7</sup> Como se indicó previamente, el consumo y la inversión del sector privado se encuentran en valores netos del total de importaciones, lo cual implica que la demanda de importaciones también se origina del sector privado.

<sup>8</sup> Los medios de pago son función del medio circulante (M1) y este a su vez de la emisión monetaria (ver Figura 1).

<sup>9</sup> El Efecto Liquidez se refiere a las fluctuaciones de la cantidad de dinero que se producen como consecuencia de cambios en la tasa de interés. Para efectos del presente estudio, el Efecto Liquidez se medirá por medio de la variación porcentual en la emisión monetaria, el M1 y el M2, el cual se produce como consecuencia de cambios en la tasa de interés de política monetaria.

<sup>10</sup> La introducción de la emisión monetaria dentro del esquema de transmisión monetario permite modelar, en caso fuese necesario para efectos de política monetaria, los efectos de las medidas heterodoxas como las Facilidades Cuantitativas, FC (*Quantitative Easing, QE*), que han sido implementadas por diversos bancos centrales luego de la Gran Recesión de 2007-2009. Estas medidas consisten en la compra de instrumentos de deuda públicos y privados que conllevan cierto riesgo, a cambio de efectivo, con la intención de incrementar la liquidez en la economía y propiciar de esta manera un mayor grado de consumo e inversión por parte del sector privado. Las políticas de Facilidades Cuantitativas han sido implementadas como un instrumento adicional de política monetaria con el objeto de relajar, aún más, las posturas de política monetaria en economías cuyo sector financiero fue afectado significativamente por la crisis económica internacional. No obstante, para ilustrar los efectos de una medida de FC en el modelo DSGE que se implementa en el presente estudio, se requiere modelar una economía que se encuentre experimentando una situación de “trampa de liquidez”, o una situación muy cercana a la misma, lo cual se encuentra fuera del propósito del presente estudio.

El segundo componente en que se subdivide la actividad económica interna es el gasto público, el cual consiste del consumo y de la inversión del gobierno. Esta variable se modela como función de sus tres principales fuentes de financiamiento: los ingresos tributarios, la emisión de deuda pública interna (en la forma de Bonos del Tesoro) y la contratación de deuda pública externa (ver Figura 1). Es importante mencionar que dichas fuentes de financiamiento son, a su vez, función de la actividad económica interna. En efecto, los ingresos tributarios son considerados procíclicos, particularmente en economías en desarrollo (Talvi y Végh, 2005). Por su parte, el endeudamiento público, tanto interno como externo, es considerado como una variable contracíclica (Barro, 1979; Aghion y Marinescu, 2006).



**Figura 1. Mecanismo de Transmisión de la Política Monetaria**

Por consiguiente, la introducción del gasto público en el modelo permite medir los efectos de la política fiscal en las decisiones de política monetaria del banco central. El tercer componente de la actividad económica son las exportaciones totales, las cuales se modelan en función de la demanda externa, particularmente de las fluctuaciones en la actividad económica de los Estados Unidos de América (principal socio comercial de Guatemala), así como de las variaciones en el tipo de cambio real (ver Figura 1). Cabe indicar que la actividad económica estadounidense es una variable exógena al modelo, mientras que el tipo de cambio real es función del tipo de cambio nominal, así como de la relación entre los precios internos y los precios externos. Una estrategia similar para modelar las exportaciones en función de la demanda agregada externa fue empleada por Osang and Marvao (1997), mientras que la estrecha relación entre las exportaciones y el tipo de cambio real es justificada empíricamente por Dell’Ariccia (1998), Caballero y Corbo (1989), y Smith (2004).

Para una economía pequeña y abierta el canal del tipo de cambio juega un rol importante dentro del mecanismo de transmisión de la política monetaria. En este estudio se presenta una estrategia para modelar el tipo de cambio nominal, diferenciando entre sus componentes tendencial y cíclico, los que a su vez, son función de sus fundamentos. En este sentido, el componente tendencial del tipo de cambio se modela por medio de la paridad descubierta de tasas de interés (*Uncovered Interest Rate Parity Condition, UIP*); es importante mencionar que a pesar que muchos estudios han fallado en proporcionar evidencia empírica que justifique la condición UIP como un método efectivo para explicar fluctuaciones del tipo de cambio en el corto plazo, existe evidencia empírica que sustenta que esta condición es efectiva para explicar fluctuaciones cambiarias de largo plazo

(Juselius, 2000; MacDonald y Nagayasu, 2000; Alexius, 2001; Chinn y Meredith, 2005; y Engel, 2011).

Por su parte, el componente cíclico del tipo de cambio nominal es función de sus fundamentos, los cuales fueron tomados de Castillo y Pérez (2011). De conformidad con dichos autores, el componente cíclico del tipo de cambio nominal es función de su propia inercia, del Medio Circulante (M1) y de las fluctuaciones de la actividad económica de los Estados Unidos de América.<sup>11</sup> Cabe destacar que, de conformidad con el planteamiento del presente estudio, el banco central estaría estableciendo una meta de fluctuación a las variaciones en el tipo de cambio nominal. Para tal efecto, el instrumento que estaría utilizando la autoridad monetaria para moderar dichas fluctuaciones son las reservas monetarias internacionales. Por consiguiente, intervenciones del banco central en el mercado cambiario, producto de fluctuaciones cambiarias por arriba de lo establecido, tienen un efecto directo en el tipo de cambio nominal debido a que afectan el comportamiento de su componente cíclico, así como las expectativas cambiarias de los agentes económicos. Asimismo, las intervenciones cambiarias (asumiendo que las mismas son parcialmente esterilizadas) tienen un efecto indirecto en la emisión monetaria, en el consumo de los hogares y en la inversión de las empresas. Por consiguiente, las intervenciones cambiarias afectan la actividad económica y los precios internos (ver Figura 1).

La literatura económica enfatiza la importancia de las expectativas de inflación (tanto adaptativas como racionales) como un factor fundamental dentro del mecanismo de

---

<sup>11</sup> La especificación original de Castillo y Pérez (2011) incluye adicionalmente los efectos de las remesas familiares y de los precios internacionales del azúcar (uno de los principales productos guatemaltecos de exportación) en el tipo de cambio del quetzal respecto del dólar norteamericano. Sin embargo, por simplicidad, el modelo DSGE que se desarrolla en el presente documento solo toma en consideración los fundamentos que dichos autores señalan como los más relevantes.



transmisión monetaria (Lucas, 1972; Rogoff, 1985; Barro y Gordon, 1983; Kydland y Prescott, 1977; Ball y Croushore, 1995; Bernanke y Mishkin, 1997; y Woodford, 2007). En este sentido, la efectividad de la transmisión de la política monetaria por medio del canal de expectativas es función de la credibilidad de los agentes económicos en las acciones del banco central. En efecto, las expectativas de inflación tienden a anclarse rápidamente y a permanecer ancladas en un país en donde las acciones de su respectiva autoridad monetaria gozan de credibilidad. El modelo que se desarrolla en este estudio toma en consideración el efecto de las expectativas de inflación y de las expectativas cambiarias en el mecanismo de transmisión. Cabe indicar que ambas variables son función de los dos instrumentos de política monetaria del banco central.

El mecanismo de transmisión monetario de una economía pequeña y abierta también toma en consideración los efectos generados por fluctuaciones en cuatro variables externas. La primera de ellas es la tasa de crecimiento económico de los Estados Unidos de América. Cabe indicar que se toma como referencia la tasa de crecimiento de este país, por ser el principal socio comercial de Guatemala. En efecto, el ciclo económico norteamericano tiene un efecto significativo en la demanda externa por los productos guatemaltecos de exportación, así como en los flujos de moneda extranjera (dólares estadounidenses) que ingresan al país por concepto de turismo, remesas familiares y capital de inversión: por consiguiente, también tiene un impacto en el tipo de cambio nominal. Asimismo, el crecimiento económico de los Estados Unidos de América afecta los precios internacionales de los bienes importados, principalmente, los precios internacionales del petróleo y sus derivados, y los precios de los productos alimenticios que se adquieren del exterior, lo cual tiene un efecto directo en la inflación interna (ver Figura 1). La segunda variable externa es la tasa de interés Libor con madurez constante a un año plazo. De

conformidad con la hipótesis de la paridad descubierta de tasas de interés, el diferencial de esta tasa respecto de la tasa de interés interna a un plazo similar de vencimiento tiene también un efecto en los flujos de capital que ingresan al país y, por consiguiente, en el tipo de cambio nominal. La tercera variable externa es la inflación de los principales socios comerciales de Guatemala, la cual se construye por medio de un promedio ponderado de los índices de precios de este grupo de países<sup>12</sup>, en donde el ponderador es equivalente al porcentaje de comercio bilateral de cada país con Guatemala. La cuarta variable del sector externo son las variaciones en los precios internacionales de los bienes importados. Estas dos últimas variables se combinan para conformar los precios internacionales de los bienes importados *en el mercado interno*, la cual tiene un efecto directo en la inflación doméstica (ver Figura 1).

### III. EL MODELO

En esta sección se presenta el modelo de equilibrio general dinámico estocástico (DSGE por sus siglas en inglés)<sup>13</sup> utilizado para modelar una economía pequeña y abierta, cuyo banco central ha establecido dos objetivos simultáneos consistentes en una meta de inflación y un valor máximo de fluctuación para el tipo de cambio nominal. Este modelo se construye en el espíritu del Nuevo Enfoque Keynesiano y es similar al desarrollado por Beneš, Hurník y Vávra (2008) y por Berg, Karam, y Laxton (2006a y 2006b) pero es modificado, para incluir el efecto liquidez de la tasa de interés en los agregados monetarios,

---

<sup>12</sup> Los principales socios comerciales que se tomaron en consideración para este cálculo fueron: los Estados Unidos de América, la Unión Europea, México, El Salvador, Honduras, Costa Rica y Japón.

<sup>13</sup> *Dynamic Stochastic General Equilibrium Model (DSGE)*.

las fluctuaciones del crédito bancario al sector privado en la actividad económica y los efectos de la política fiscal en el mecanismo de transmisión de la política monetaria. Adicionalmente, el presente modelo agrega un elemento fundamental en el análisis monetario que proviene del accionar convencional de un banco central de una economía pequeña y abierta. En efecto, se considera que la principal contribución de este modelo consiste en incluir el rol de las reservas monetarias internacionales dentro del mecanismo de transmisión monetario, particularmente su papel de amortiguador de fluctuaciones cambiarias, en períodos de estrés ocasionados, principalmente, por choques exógenos y que propician una volatilidad cambiaria por arriba de lo esperado y, particularmente, por arriba del nivel permitido por el banco central.

La estructura del modelo consiste de un sistema de ecuaciones en forma reducida, donde las variables se encuentran definidas ya sea como desvíos respecto de su tendencia de largo plazo (lo que comúnmente se denomina brechas de las variables respecto de su valor tendencial), o como variaciones trimestrales anualizadas del valor logarítmico de la variable (interpretado como variaciones trimestrales anualizadas). La estructura del modelo consiste de 53 ecuaciones, de las cuales, 23 son ecuaciones de comportamiento, 10 representan leyes de movimiento de las variables exógenas, 8 corresponden a definiciones de variables endógenas y 12 ecuaciones representan otras definiciones. Las siguientes secciones describen las principales ecuaciones del modelo, en tanto que la estructura completa del mismo, así como una descripción detallada de las variables, así como de los parámetros y los choques exógenos que conforman el modelo se presentan en el Apéndice, al final del presente documento.<sup>14</sup>

---

<sup>14</sup> Para facilidad del lector, las ecuaciones que se presentan en los siguientes apartados tienen la misma numeración de aquellas que se presentan en el Apéndice.

## A. Demanda Agregada

La demanda agregada se modela por medio de la descomposición de la misma en sus principales componentes, con el objeto de adquirir un mejor grado de intuición sobre los efectos de la política monetaria en el sector real. En este sentido, las estadísticas de cuentas nacionales definen el Producto Interno Bruto ( $Y$ ) por el lado del destino del gasto, como la sumatoria agregada de sus principales componentes:  $Y=C+I+G+X-M$ , donde  $C$  equivale al Consumo Privado;  $I$  representa la Inversión Privada Total;<sup>15</sup>  $G$  corresponde al Gasto Público,  $X$  equivale a las Exportaciones Totales; y,  $M$  representa a las Importaciones Totales.<sup>16</sup> Con el objeto de concentrar el análisis de los efectos de la política monetaria en los principales componentes de la demanda agregada, la identidad de  $Y$  puede ser reagrupada, estableciendo  $CI$  como la sumatoria del Consumo Privado ( $C$ ) y la Inversión Privada Total ( $I$ ), netos de las Importaciones Totales ( $M$ ); es decir,  $CI = C+I-M$ . Cabe indicar que la identidad anterior, asume que el total de importaciones se destinan al consumo o a la inversión del sector privado. Por lo tanto, la identidad del Producto Interno Bruto se puede reescribir de la siguiente forma:  $Y=CI+G+X$ . Esta expresión representa la descomposición de la demanda agregada total en el modelo que se describe en esta sección. Es importante hacer mención que las relaciones dinámicas que describen a las variables del modelo, se expresan en función de los desvíos logarítmicos de cada variable respecto de su componente tendencial; es decir, en brechas de cada variable, como se indica en los siguientes apartados.

---

<sup>15</sup> Incluye la Formación Fija de Capital Bruto y los Cambios en Inventarios.

<sup>16</sup> Tanto las exportaciones como las importaciones totales se refieren a bienes y servicios.

## 1. Brecha del Producto

La brecha del producto,  $\hat{y}_t$ , representa la variación porcentual del PIB respecto de su valor tendencial y se especifica como la sumatoria ponderada de las brechas de sus componentes, más un shock de demanda,  $\varepsilon_t^y$ . El peso de cada componente equivale a su proporción del producto, según las estadísticas de cuentas nacionales del país.<sup>17</sup>

$$\hat{y}_t = A_1 \hat{c}_t + A_2 \hat{x}_t + A_3 \hat{g}_t + \varepsilon_t^y \quad (1)$$

Donde  $\hat{c}_t$ ,  $\hat{x}_t$  y  $\hat{g}_t$  representan las brechas del consumo e inversión, exportaciones y gasto del gobierno, respectivamente. A diferencia de las especificaciones tradicionales de esta variable, las tasas de interés, el tipo de cambio real y la actividad económica externa, no tienen un efecto directo en la brecha del producto, sino en sus componentes.

## 2. Brecha del Consumo y la Inversión Privados netos de Importaciones

Las fluctuaciones en el consumo y la inversión del sector privado, son una función de variaciones en los medios de pago y en el crédito bancario al sector privado.<sup>18</sup> Previos estudios, tales como Hauser y Bridgen (2002), Thomas (1996, 1997a, 1997b), y Janssen (1996) han modelado el consumo y la inversión privados en base a los agregados monetarios, debido a su estrecha relación con las decisiones de consumo e inversión de los agentes económicos, lo cual tiene un efecto posterior en la actividad económica y en los precios internos.<sup>19</sup>

$$\hat{c}_t = A_4 \hat{c}_{t-1} + (1 - A_4)(A_5 \widehat{mp}_t + A_6 \widehat{cr}_t) + \varepsilon_t^c \quad (2)$$

<sup>17</sup> Para el caso de la economía guatemalteca,  $A_1 = 0.65$ ,  $A_2 = 0.25$ , y  $A_3 = 0.10$ .

<sup>18</sup> Vale la pena recordar nuevamente que el componente modelado representa el Consumo e Inversión del Sector Privado netos de Importaciones. Sin embargo, de aquí en adelante nos referiremos a dicho término únicamente como Consumo e Inversión Privados. Adicionalmente, todas las variables se encuentran representadas en forma de brechas o fluctuaciones respecto de su tendencia de largo plazo.

<sup>19</sup> Un análisis de correlaciones dinámicas entre  $\hat{c}_t$  y diferentes versiones de dinero (en términos de brechas), indican que la brecha del consumo e inversión tiene una mayor correlación con versiones más amplias de la oferta monetaria, tal como lo han encontrado los estudios empíricos mencionados.



Como se describe en la Ecuación (2), la brecha del consumo y la inversión,  $\hat{c}_t$ , es función de su propia inercia, así como de fluctuaciones en las brechas de los medios de pago,  $\widehat{mp}_t$ , y del crédito bancario al sector privado,  $\widehat{cr}_t$ . La primera variable representa el monto de recursos en efectivo y en depósitos bancarios (monetarios, de ahorro y a plazo) que los agentes económicos tienen disponible para la adquisición de bienes. Por su parte, la segunda variable es un indicador de los recursos disponibles por parte de los individuos y de las empresas para financiar proyectos de consumo o de inversión.

La Ecuación (2) establece que la política monetaria de un banco central, la cual se lleva a cabo por medio de la determinación de su tasa de interés de referencia, afecta el consumo y la inversión del sector privado por medio de su efecto indirecto en los agregados monetarios. En efecto, como se indica en la Ecuación (15) del Apéndice A, cambios en la tasa de interés de política monetaria afectan a la Emisión Monetaria (la cantidad de billetes y monedas en circulación).<sup>20</sup> Este efecto se denomina Efecto Liquidez, el cual se encuentra ampliamente documentado en la literatura económica, tal como se indica en Bernanke (1998), Thornton (2001), Christiano y Eichenbaum (1992), Roubini y Grilli (1995), así como Christiano, Eichenbaum y Evans (1994). A su vez, estos cambios en la emisión monetaria se trasladan al medio circulante (M1) y a los medios de pago (M2), como se indica en la Figura 1 y en las Ecuaciones (18) y (19) del Apéndice A. Por su parte, la especificación de los fundamentos del crédito bancario al sector privado, Ecuación (20) en el Apéndice A, se basa en Bigden y Mizen (1999), quienes encontraron que la cantidad de crédito obtenido por las firmas era una función estadísticamente significativa de las tasas de interés reales y de la posición de la economía en el ciclo económico.

---

<sup>20</sup> Como se indica en la Ecuación (15), la emisión monetaria también es una función de su propia inercia y de las fluctuaciones en las reservas monetarias internacionales (RIN).

### 3. Brecha de las exportaciones totales

La brecha de las exportaciones totales,  $\hat{x}_t$ , es el segundo componente de la demanda agregada total para efectos del modelo. Esta variable es función de su propia inercia, de las fluctuaciones rezagadas de las brechas del tipo de cambio real,  $\hat{z}_{t-1}$ , y del producto externo,  $\hat{y}_{t-1}^*$ , así como de un choque exógeno a esta variable, el cual es representado por  $\varepsilon_t^x$ .

$$\hat{x}_t = A_7 \hat{x}_{t-1} + (1 - A_7)(A_8 \hat{z}_{t-1} + A_9 \hat{y}_{t-1}^*) + \varepsilon_t^x \quad (3)$$

Las ecuaciones que rigen el dinamismo de las brechas del tipo de cambio real y del producto externo se describen en las Ecuaciones (17) y (33) del Apéndice. En este sentido, la política monetaria afecta a las exportaciones totales de manera indirecta, por medio de su efecto en las tasas de interés de mercado a nivel local,  $I_t$ , y en el medio circulante,  $\widehat{m}c_t$ , los cuales son factores fundamentales del tipo de cambio nominal; por lo tanto, estos efectos se trasladan inmediatamente al tipo de cambio real y, por esa vía, a las exportaciones de la economía guatemalteca (ver Figura 1).

### 4. Brecha del gasto público

Una característica importante del modelo que se desarrolla en el presente estudio es la introducción del rol de la política fiscal en el mecanismo de transmisión monetario por medio del modelaje explícito de los efectos de las fluctuaciones del gasto del gobierno en la actividad económica interna y, por consiguiente, en la inflación. En efecto, la brecha del gasto público,  $\hat{g}_t$ , representa el tercer componente principal en que se desagrega la

demanda agregada interna (ver Ecuación 1) y se modela como función de sus principales fuentes de financiamiento, como se indica en la siguiente expresión.

$$\hat{g}_t = A_{10}\hat{g}_{t-1} + (1 - A_{10})(A_{11}\hat{d}i_t + A_{12}\hat{d}e_t + A_{13}\hat{u}t_t) + \varepsilon_t^g \quad (4)$$

De conformidad con la Ecuación (4), el gasto público es función de su propia inercia y del promedio ponderado de las fuentes de financiamiento del gobierno, variables que también se expresan en términos de los desvíos respecto de su respectivo componente tendencial. En particular, se asume que las variaciones que se registran en el gasto público se encuentran sujetas a los cambios que se producen en los flujos de deuda pública y de ingresos tributarios. En este sentido, la deuda pública puede ser de origen interno,  $\hat{d}i_t$ , la cual se refiere a la emisión de Bonos del Tesoro, así como de origen externo,  $\hat{d}e_t$ , es decir, la contratación de préstamos por parte del Gobierno, con organismos internacionales públicos y privados. La brecha de los gastos del gobierno que se indican en la Ecuación (4) también son función de un choque exógeno, definido por  $\varepsilon_t^g$ . Es importante mencionar que el gasto público guatemalteco se modela como una variable procíclica, lo cual se fundamenta en la literatura económica sobre el tema (Lane y Tornell, 1999; Gavin y Perotti, 1997; Aizenman, Gavin, y Hausmann, 1996).<sup>21</sup> No obstante, este comportamiento no es necesariamente procíclico para todas las fuentes de financiamiento del gasto público. En efecto, ambos tipos de deuda pública (interna y externa) se modelan como variables contracíclicas, mientras que los ingresos tributarios se modelan como una variable

---

<sup>21</sup> El comportamiento procíclico del gasto de gobierno, principalmente en economías emergentes y en desarrollo, se fundamenta en dos explicaciones principales. La primera de ellas sugiere que las presiones políticas, las cuales tienden a exacerbarse en este tipo de países debido a la segmentación política y a una base impositiva más volátil, pueden propiciar un aumento del gasto público en etapas de expansión económica. La segunda explicación sugiere que la pérdida de acceso a los mercados financieros internacionales, durante las etapas de recesión o crisis económica, conduce a los gobiernos de economías emergentes y en desarrollo a reducir el gasto público y a incrementar los impuestos durante estos períodos del ciclo económico.

procíclica. Evidencia empírica al respecto se encuentra en Talvi y Végh (2005), Barro (1979) y Aghion y Marinescu (2006).<sup>22</sup> En este sentido, la Ecuación (4) se encuentra condicionada a valores de los parámetros que cumplan con la siguiente condición:  $A_{11}+A_{12} < A_{13}$ . Cabe indicar que las leyes de movimiento para cada una de las fuentes de financiamiento del gobierno se encuentran descritas en las Ecuaciones (21), (22) y (23) del Apéndice A. Cada una de estas variables es endógena, y se modelan como función de su propia inercia y de fluctuaciones en la actividad económica interna. Por consiguiente, la política monetaria afecta el gasto del gobierno de manera indirecta, por medio de su efecto en la actividad económica en el corto plazo, lo cual tiene consecuencias en las variaciones que se registran en las fuentes de financiamiento del gasto del público.

## B. La Curva de Phillips

Para una economía pequeña y abierta, como la economía de Guatemala, la Curva de Phillips establece que variaciones en los precios internos son producto de la sumatoria ponderada de tres factores inflacionarios fundamentales: las expectativas de inflación,  $\pi_{t+1}^e$ , la variación en los precios internacionales netos de los cambios en el tipo de cambio real de equilibrio,  $\Delta f p_t - \Delta z_{tnd_t}$ , y las fluctuaciones rezagadas en la actividad económica interna,  $\hat{y}_{t-1}$ .<sup>23</sup>

$$\pi_t = B_1 \pi_{t+1}^e + (1 - B_1)(\Delta f p_t - \Delta z_{tnd_t}) + B_2 \hat{y}_{t-1} + \varepsilon_t^\pi \quad (5)$$

<sup>22</sup> Los datos de Guatemala para el período 2005-2010 se ajustan a las conclusiones de la evidencia empírica mencionada.

<sup>23</sup> Equation (12) of the Appendix presents an endogenous dynamics for quarterly inflation expectations, which are formed by a combination of rational and adaptive expectations.

El primer componente que afecta la inflación son las expectativas de inflación,  $\pi_{t+1}^e$ , las cuales se modelan como una combinación entre expectativas adaptativas y expectativas racionales, como se indica en las Ecuaciones (12) y (13) del Apéndice. El segundo término que afecta a la inflación interna son los precios internacionales de los bienes importados netos de fluctuaciones en el tipo de cambio real de equilibrio, donde los precios internacionales,  $\Delta fpi_t$ , se modelan según se indica en la Ecuación (11) del Apéndice A.<sup>24</sup> Cabe indicar que el coeficiente  $(1 - B_1)$  representa el traspaso (*pass-through*) de los precios internacionales hacia los precios internos, el cual tiende a ser relativamente elevado para economías pequeñas y abiertas debido a que las mismas se encuentran más propensas a ser perturbadas por choques exógenos y el nivel de credibilidad de sus autoridades es más reducido, en comparación con las economías industrializadas. Finalmente, la inflación también es función de los efectos rezagados de la brecha del producto,  $\hat{y}_{t-1}$ . Esta variable representa los efectos de demanda agregada en los precios internos.

Es importante resaltar que la sumatoria de los primeros dos coeficientes de la Curva de Phillips es equivalente a la unidad, lo cual implica que cualquier valor de inflación puede ser una solución a la Ecuación (5), debido a que la brecha del producto es igual a cero en estado estacionario.

### C. Especificación del tipo de cambio nominal

Otra característica importante del modelo que se presenta en este estudio es un enfoque particular para modelar las fluctuaciones cambiarias. En efecto, el tipo de cambio

---

<sup>24</sup> De conformidad con esta expresión, los precios internacionales que afectan a la inflación interna, son función de su propia inercia, de la inflación de los principales socios comerciales del país,  $\pi_t^*$ , de las variaciones en el tipo de cambio nominal,  $\Delta s_t$ , así como de las fluctuaciones en la actividad económica externa,  $\hat{y}_t^*$ .



nominal se descompone entre sus componentes tendencial,  $s_{tnd_t}$  y cíclico (o brecha),  $\hat{s}_t$ , como se indica en la siguiente expresión.

$$s_t = s_{tnd_t} + \hat{s}_t \quad (6)$$

La ventaja de modelar el tipo de cambio por medio de la descomposición que se indica en la Ecuación (6) es que cada componente puede modelarse por medio de sus fundamentos, los cuales difieren dependiendo si las fluctuaciones cambiarias son de corto o de largo plazo. Asimismo, esta descomposición permite identificar el componente del tipo de cambio nominal cuyas fluctuaciones se ven afectadas por las intervenciones del banco central en el mercado cambiario.

$$(I_t - I_t^*) = 4(s_t^e - s_{tnd_t}) + prem_t + \varepsilon_t^{s-tn} \quad (7)$$

El componente de largo plazo del tipo de cambio nominal se modela por medio de la Paridad Descubierta de Tasas de Interés (*Uncovered Interest Rate Parity*, *UIP*, por sus siglas en inglés), como se ilustra en la Ecuación (7). En este sentido, la modelación del componente tendencial del tipo de cambio se apega a los resultados obtenidos por Alexius (2001), Chinn y Meredith (2005) y MacDonald y Nagayasu (2000), quienes han encontrado evidencia a favor de la condición UIP para explicar fluctuaciones de largo plazo del tipo de cambio nominal. De conformidad con la Ecuación (7), el diferencial entre las tasas de interés nominales de mercado interna y externa, ambas a plazos comparables,  $I_t - I_t^*$ , es función de los desvíos del componente tendencial del tipo de cambio nominal, respecto de su valor esperado de largo plazo,  $(s_t^e - s_{tnd_t})$ , ajustado por la prima por riesgo país,  $prem_t$ .<sup>25</sup> Esta ecuación también contiene un choque exógeno, el cual se representa por

<sup>25</sup> El desvío del tipo de cambio nominal esperado respecto de su tendencia de largo plazo se multiplica por 4 para anualizar su valor y hacerlo comparable con el diferencial entre las tasas nominales de interés de largo

$\varepsilon_t^{s\_tnd}$ . Es importante mencionar que el valor esperado del tipo de cambio nominal de largo plazo,  $s_t^e$ , se encuentra determinado por el valor esperado del componente tendencial del tipo de cambio nominal en el período siguiente,  $s_{tend_{t+1}}$ , así como por el valor rezagado del mismo, ajustado por cambios en el tipo de cambio real,  $\Delta z_{tend_t}$ , netos del diferencial entre la inflación interna y externa de largo plazo  $\bar{\pi}_t - \pi_{ss}^*$  (ver Ecuación (16) en el Apéndice A).

$$\hat{s}_t = E_1 \hat{s}_{t-1} + (1 - E_1)(E_2 \widehat{m}c_t + E_3 \hat{y}_t^* + E_4 \widehat{r}i n_t) + \varepsilon_t^{\hat{s}} \quad (8)$$

La brecha del tipo de cambio nominal,  $\hat{s}_t$ , se modela en función de sus principales fundamentos y del efecto de las intervenciones cambiarias del banco central que se derivan por un exceso en la volatilidad cambiaria esperada. La Ecuación (8) se basa, principalmente, en los resultados obtenidos por Castillo y Pérez (2011), quienes concluyen que el tipo de cambio bilateral del quetzal respecto del dólar estadounidense se encuentra en función, entre otros factores, de las fluctuaciones en la actividad económica de los Estados Unidos de América y de la oferta monetaria interna.<sup>26</sup> En efecto, esta última variable tiene un efecto relevante sobre las exportaciones guatemaltecas, así como en los flujos de divisas que ingresan al país por concepto de turismo, remesas e inversión extranjera directa, los cuales, a su vez, tienen un efecto sobre la oferta interna de dólares en poder de los bancos del sistema y, por consiguiente, en el tipo de cambio nominal. Las fluctuaciones en la oferta monetaria interna también constituyen un elemento relevante que

---

plazo del lado izquierdo de la identidad, así como a la prima por riesgo país, la cual se expresa en términos de variaciones interanuales.

<sup>26</sup> Para efectos de la ecuación anterior, dichos factores se encuentran en términos de brechas respecto de su componente tendencial:  $\hat{y}_t^*$  y  $\widehat{m}c_t$ , respectivamente. Es importante mencionar que los autores mencionados también concluyeron que las remesas familiares y los precios internacionales del azúcar eran factores importantes para la determinación del tipo de cambio del quetzal vis-à-vis el dólar norteamericano, aunque con un nivel de significancia menor. Por lo tanto, para simplificar la ecuación de la brecha cambiaria, nos permitimos utilizar únicamente los dos componentes más relevantes para su determinación.

afecta las fluctuaciones cambiarias, debido a que las mismas determinan la demanda potencial interna por moneda extranjera.

La política monetaria del banco central, tanto por medio de cambios en su tasa de interés de referencia, como por medio de intervenciones en el mercado cambiario, afecta los componentes tendencial y cíclico del tipo de cambio nominal. En particular, cambios en la tasa de interés de política monetaria se transfieren hacia las tasas de interés de mercado de largo plazo, las cuales tienden a afectar el componente tendencial del tipo de cambio, por medio de la condición de paridad descubierta de tasas de interés (*UIP condition*), Ecuación (7). Adicionalmente, los cambios en la tasa de interés de referencia afectan la cantidad de dinero en circulación, lo cual afecta el componente cíclico del tipo de cambio nominal, Ecuación (8). Adicionalmente, el banco central, por medio de sus intervenciones en el mercado cambiario afectan directamente las expectativas cambiarias, Ecuación (16) en el Apéndice A, así como el comportamiento de la brecha del tipo de cambio nominal como se indica en la Ecuación (8).

#### **D. Funciones de reacción del Banco Central**

Un típico modelo basado en el Nuevo Enfoque Keynesiano, construido para una economía con metas explícitas de inflación, incluye una función de reacción del banco central la cual se especifica usualmente por medio de una versión modificada de la Regla de Taylor. Este tipo de especificación es perfectamente funcional en los casos en que la autoridad monetaria ha establecido únicamente una meta operativa en su marco de política monetaria, siendo ésta la meta de inflación. Sin embargo, para un banco central que, conjuntamente con una meta de inflación, establece otra meta de política monetaria, como lo es, para el caso del presente estudio, un nivel de volatilidad máximo para las

fluctuaciones cambiarias, es necesario introducir una segunda función de reacción. De conformidad con Tinbergen (1963) una condición suficiente para el logro de políticas públicas eficientes requiere que el gobierno de un país establezca, para cada meta u objetivo que decida establecer dentro de su programa económico, un número equivalente de instrumentos; es decir, un instrumento para el logro de cada meta. Aoki (1975) extendió la condición de Tinbergen para sistemas dinámicos, demostrando que la condición suficiente para el logro de políticas públicas eficientes requiere que el número de metas u objetivos que el gobierno establezca sea igual o menor al número de instrumentos; es decir, uno o más instrumentos para el logro de cada meta.<sup>27</sup> Por lo tanto, el establecimiento de un segundo objetivo requiere que el banco central establezca dos o más instrumentos de política monetaria. Para el caso del presente estudio, se implementan dos instrumentos para el logro de los dos objetivos, siendo ellos, la tasa de interés de política monetaria y las reservas monetarias internacionales. Las funciones de reacción del banco central en que se basan los dos instrumentos mencionados se describen a continuación.

### **1. Regla de tasa de interés**

La tasa de interés de política monetaria,  $i$ , es el instrumento monetario empleado por las autoridades del banco central para obtener la meta de inflación predeterminada,  $\bar{\pi}$ . En este sentido, una regla de tasa de interés, tal como la que se indica en la Ecuación (9), sugiere cambios en la tasa de interés que permitan alcanzar  $\bar{\pi}$  en cierto período de tiempo, en este caso en cuatro trimestres (un año). Rigideces nominales en el sector real producen rezagos en la transmisión monetaria y requieren que un banco central actúe con

---

<sup>27</sup> En el Apéndice 2 se desarrolla la condición Tinbergen-Aoki, la cual se basa en la prueba establecida por Aoki (1975) en relación al número de instrumentos necesarios para alcanzar un número predeterminado de objetivos.

anticipación, reaccionando a desvíos de la inflación esperada respecto de su meta. La autoridad monetaria también reacciona a fluctuaciones en la brecha del producto, derivado que las mismas representan una fuente de futuras presiones inflacionarias según lo establecido en la Curva de Phillips, Ecuación (5).

$$i_t = D_1 i_{t-1} + (1 - D_1)(i_{tnd_t} + D_2(\pi_{t+4} - \bar{\pi}_{t+4}) + D_3 \hat{y}_t) + \varepsilon_t^i \quad (9)$$

La Ecuación (9) representa una Regla de Taylor modificada, la cual establece que la tasa de interés de política monetaria,  $i_t$ , es función de su valor pasado,  $i_{t-1}$ , y su valor neutral de largo plazo,  $i_{tnd_t}$ , siendo esta última expresión ajustada por los desvíos de la inflación esperada respecto de la meta de inflación de largo plazo,  $\pi_{t+4} - \bar{\pi}_{t+4}$ , y por la brecha del producto,  $\hat{y}_t$ . El valor rezagado de la tasa de interés de política representa la preferencia que manifiestan los directivos del banco central respecto de evitar amplias fluctuaciones en las tasas de interés de corto plazo que puedan afectar las expectativas de inflación y de tipo de cambio de los agentes económicos y que puedan posteriormente traducirse en un aumento en la volatilidad de la producción y de los precios internos. Adicionalmente, un choque de política monetaria se encuentra definido por el término  $\varepsilon_t^i$ .

El proceso de transmisión de las tasas de interés de corto plazo hacia las tasas de interés de largo plazo se describe en la Curva de Rendimientos, Ecuación (14) del Apéndice A. De conformidad con dicha expresión, la tasa de interés de mercado de largo plazo,  $I_t$ , es función de su propio rezago,  $I_{t-1}$ , y del valor promedio de las tasas de interés de corto plazo, ajustadas por una prima por plazo de colocación de recursos,  $term_t$ . Asimismo, la transmisión hacia las tasas de interés reales de corto y largo plazo se establece por medio de Ecuaciones de Fisher, las cuales se definen en las Ecuaciones (37) y (39) del Apéndice A.



## 2. Regla de intervención cambiaria

Una de las principales contribuciones del presente estudio es la introducción del rol de las reservas monetarias internacionales en el mecanismo de transmisión monetario. En este sentido, se asume que el banco central interviene directamente en el mercado cambiario efectuando compras o ventas de moneda extranjera (particularmente dólares de los Estados Unidos de América, para el caso de Guatemala), cuyos montos afectan el saldo de las reservas monetarias internacionales. Adicionalmente, se asume que la decisión de intervención en el mercado cambiario se encuentra en función de la volatilidad del tipo de cambio nominal. En este sentido, el banco central interviene comprando o vendiendo dólares provenientes de sus reservas monetarias internacionales cuando la fluctuación esperada en el tipo de cambio nominal excede de una meta de volatilidad permisible establecida de antemano por parte de la autoridad monetaria. Por lo tanto, las reservas monetarias internacionales representan el instrumento de política monetaria empleado por el banco central para moderar las fluctuaciones cambiarias.

$$\Delta rin_t = H_1 \Delta rin_{t-1} + (1 - H_1) \left( \Delta rin_{tnd_t} + H_2 (1 - \bar{s}) (\Delta s_{t+1}) \right) + \varepsilon_t^{rin} \quad (10)$$

La Ecuación (10) ilustra la regla de intervención cambiaria que se introduce en este estudio, la cual tiene una forma funcional similar a la Regla de Taylor modificada que se presentó en la Ecuación (9). En efecto, cambios en el monto acumulado de reservas monetarias internacionales,  $\Delta rin_t$ , son función de su propio rezago,  $\Delta rin_{t-1}$ , y de la variación tendencial o de largo plazo de las mismas,  $\Delta rin_{tnd_t}$ , ajustada por fluctuaciones esperadas del tipo de cambio nominal en el siguiente período,  $s_{t+1}$ , que exceden de una meta de fluctuación predeterminada,  $\bar{s}$ , respecto del tipo de cambio del período actual,  $s_t$ . En efecto, bajo el esquema planteado, un banco central tiene la opción de fijar un nivel

máximo de fluctuación permisible,  $\bar{s}$ , para el tipo de cambio nominal esperado en el siguiente período. Este valor permisible de fluctuación varía entre cero y uno, donde cero implica que la autoridad monetaria tiene una preferencia por un tipo de cambio estable y poco flexible, mientras que un valor de uno implica que el banco central tienen preferencia por una flotación cambiaria libre. En la práctica, también existen factores discretionales que pueden ocasionar las intervenciones del banco central en el mercado cambiario, las cuales, para efectos del presente modelo, se introducen en el choque exógeno,  $\varepsilon_t^{rin}$ , de la Ecuación (10).

Cabe indicar que aunque la teoría económica bajo un esquema de metas explícitas de inflación subraya la importancia de la flexibilidad cambiaria para la eficiente operatividad del esquema (Mishkin, 2007), en la práctica las autoridades de los bancos centrales tienen temor a permitir una flotación plena de sus respectivas monedas, debido principalmente, al impacto inflacionario de las fluctuaciones cambiarias y al desequilibrio contable (*Efecto hoja de balance*) entre activos en moneda local y pasivos en moneda extranjera de las empresas y de las instituciones financieras, que podría producirse al experimentar amplias fluctuaciones cambiarias (Calvo y Reinhart, 2000; Edwards, 2002). Por consiguiente, dicho miedo a flotar conlleva a los bancos centrales (a unos con mayor intensidad que a otros) a limitar las fluctuaciones de sus respectivas monedas por medio del establecimiento de mecanismos de intervención cambiaria. En este sentido, el valor de  $\bar{s}$  es mayor a cero y menor que uno. Como se discutirá en la siguiente sección, en el caso del Banco de Guatemala, dicho valor es muy cercano a cero.

Retornando nuevamente a la Ecuación (10), un exceso de volatilidad cambiaria positiva (negativa), que equivale a una sobre depreciación (apreciación) del tipo de cambio

nominal esperado por arriba de la volatilidad permisible, origina la venta (compra) de moneda extranjera (dólares de los Estados Unidos de América) por parte del banco central en el mercado de divisas, lo cual reduce (aumenta) el saldo acumulado de reservas monetarias internacionales, pero incrementa (disminuye) la oferta de moneda extranjera en poder de los agentes económicos, lo cual se espera que modere el exceso de volatilidad cambiaria esperada para el siguiente período. En este sentido, la Ecuación (10) proporciona una forma prospectiva de prevenir el exceso de volatilidad cambiaria por parte del banco central, lo que a su vez evita las consecuencias negativas de la misma en las decisiones de consumo e inversión a mediano plazo que los agentes económicos puedan tomar en el presente.<sup>28</sup>

Como se indicó, cambios en el saldo de reservas monetarias internacionales puede tener un efecto en la emisión monetaria,  $em$  (ver Ecuación (15) en el Apéndice) cuando la intervención cambiaria no se esteriliza en el mercado monetario. Por consiguiente, es necesario que el banco central esterilice sus participaciones en el mercado cambiario con el objeto de evitar que las mismas tengan algún efecto en la demanda agregada.<sup>29</sup> Sin embargo, dado que el modelo que se describe en el presente estudio es aplicado a Guatemala, se asume que el banco central esteriliza solo parcialmente dichas intervenciones. Bajo este escenario, un banco central necesitará coordinar sus intervenciones cambiarias con su postura de política monetaria con el propósito de evitar un conflicto entre sus dos medidas de política que puedan poner en riesgo el logro del objetivo de inflación.

---

<sup>28</sup> Ver Beckett y Sellon (1999), Bonser-Neil y Tanner (1996), Reinhart (2006) o Castillo (2010) por una detallada explicación de las consecuencias negativas que conllevan los excesos de volatilidad cambiaria en una economía.

<sup>29</sup> De otra forma, montos importantes de moneda extranjera, producto de intervenciones del banco central en el mercado de divisas, afectarían la oferta monetaria total y, por consiguiente, el consumo y la inversión del sector privado, lo cual, posteriormente tendría un efecto en la actividad económica interna y en la inflación.

#### **IV. DATOS Y METODOLOGÍA**

En esta sección se presenta información relacionada con los datos y la metodología empleados en la estimación bayesiana del modelo que se introduce en el presente estudio, cuyo conjunto completo de ecuaciones se describe en el Apéndice A.

##### **1. Datos**

La información que se utiliza para la estimación del modelo en referencia consiste de series trimestrales para el período comprendido entre el segundo trimestre de 2002 y el segundo trimestre de 2011 (2002:Q2 – 2011:Q2). Para el caso de las variables guatemaltecas, el período de información da inicio con las reformas a la legislación financiera que introdujeron los fundamentos legales para el establecimiento del esquema de metas explícitas de inflación, el cual fuera oficialmente anunciado por parte del Banco de Guatemala tres años más tarde. Las reformas efectuadas a la legislación financiera del país permitieron la apertura de depósitos bancarios en monedas extranjeras de cualquier denominación, particularmente en dólares de los Estados Unidos de América; asimismo, se establecieron modificaciones a la Ley Orgánica del Banco Central, en la cual se establece, como principal objetivo de la autoridad monetaria, la estabilidad en el nivel general de precios y se consolidan las bases para una mayor flexibilidad cambiaria; adicionalmente, se reformó la Ley de Bancos e Instituciones Financieras, modernizando los estándares de regulación bancaria y permitiendo una mayor apertura a las operaciones de la banca internacional en el país. Las reformas mencionadas constituyeron la base legal que permitió al Banco de Guatemala establecer un esquema de Metas Explícitas de Inflación. No obstante, el anuncio de dicho esquema no fue inmediato, sino que se produjo hasta el

año 2005, luego de concluir un proceso de transición gradual desde un esquema de metas monetarias que llevaba alrededor de una década de funcionamiento.

La fuente de información para las variables guatemaltecas es el Banco de Guatemala. La tasa de interés nominal de corto plazo equivale a la tasa de interés de política monetaria, mientras que la tasa de interés real de largo plazo hace referencia a la tasa de interés activa promedio ponderado del mercado. Por su parte, la inflación interna y la inflación externa se derivan de sus respectivos índices de precios. Cabe indicar que el índice de precios de la inflación externa se construye por medio de la sumatoria ponderada de los índices de precios de los principales socios comerciales de Guatemala, cuyo ponderador equivale al volumen de comercio de Guatemala con cada uno de estos países. El crecimiento económico externo equivale al crecimiento de los Estados Unidos de América, mientras que los precios internacionales de los bienes importados se obtienen de la página de internet de *Bloomberg*. La fuente de información para el resto de variables exógenas se obtuvo de las Estadísticas Financieras Internacionales del Fondo Monetario Internacional. Cabe indicar que un total de diez variables fueron seleccionadas como variables observables para efectos de estimación, las cuales fueron previamente desestacionalizadas por medio de Censur X-12 y posteriormente transformadas a series estacionarias por medio del Filtro de Hodrick-Prescott.<sup>30</sup>

## 2. Metodología

---

<sup>30</sup> Las siguientes variables fueron escogidas como variables observables:  $\hat{y}$ ,  $\hat{m}p$ ,  $\hat{c}r$ ,  $\hat{c}i$ ,  $\hat{x}$ ,  $\hat{g}$ ,  $\hat{R}$ ,  $\hat{z}$ ,  $\hat{i}$ , and  $\pi$  (ver el Apéndice para identificar el nombre de cada variable). Cabe indicar que la última variable también se encuentra neta de su componente tendencial, el cual se calculó por medio del Filtro de Hodrick-Prescott.



La estimación de los parámetros se basa en métodos bayesianos. Esta metodología ha ganado importancia en la estimación de modelos dinámicos estocásticos de equilibrio general (DSGE) luego de las publicaciones seminales de Smets y Wouters (2003a, 2003b, y 2003c). Su importancia deriva de diversas ventajas asociadas a la estimación bayesiana. En principio, este tipo de estimación se basa en la función de máxima verosimilitud generada por el modelo DSGE, la cual permite, de una sola vez, la estimación del conjunto completo de parámetros del modelo, en vez del proceso de tradicional de calibración de modelos o de estimación econométrica de las ecuaciones de los mismos, los cuales se basan en la estimación individual de cada parámetro. En segundo lugar, es posible establecer una distribución de densidad a priori, o *prior distribution*, para cada parámetro del modelo, la cual permite introducir ciertas características estadísticas esperadas de los mismos, tales como su media y desviación estándar, lo que restringe el valor modal del parámetro que se obtiene de la estimación de la distribución de probabilidad posterior o *posterior distribution*; en este sentido, el valor estimado de cada parámetro se restringe alrededor de un conjunto de valores permisibles de conformidad con la teoría económica o la intuición económica del econometrista bayesiano. En tercer lugar, dicho proceso de estimación puede también aplicarse a la estimación de los choques exógenos, lo cual contribuye a reducir posibles problemas de especificación en los modelos estimados. Finalmente, la estimación bayesiana permite la comparación entre modelos en base a sus respectivas distribuciones posteriores estimadas, lo cual es importante para identificar el modelo con la estructura matemática más adecuada para efectos de análisis y pronósticos.<sup>31</sup>

---

<sup>31</sup> Por una discusión más detallada sobre la estimación bayesiana en modelos macroeconómicos, consultar Smets y Wouters (2003b), An y Schorfheide (2007), Stéphane et.al.(2011), y Griffoli (2010).

La distribución probabilística posterior para cada parámetro se deriva por medio de la combinación entre la distribución a priori del parámetro y la función de máxima verosimilitud del modelo DSGE, la cual se calcula resolviendo el modelo y luego empleando el Filtro de Kalman.<sup>32</sup> Posteriormente se emplea el algoritmo de Metrópolis-Hastings para generar observaciones aleatorias de la distribución posterior con el objeto de obtener valores aproximados de los momentos de dicha distribución que permitan calcular su media armónica y construir las funciones bayesianas de impulso-respuesta.<sup>33</sup> En la discusión sobre los resultados estimados, la cual se presenta en la siguiente sección, nos enfocaremos en los valores modales de las distribuciones posteriores y en los errores Hessianos de estimación.<sup>34</sup>

Parámetro	Especificación de las distribuciones a priori		
	Tipo de Distribución	Media	Desviación Estándar
$A_4$	Beta	0.50	0.050
$A_5$	Gamma Inversa	0.38	0.050
$A_6$	Gamma Inversa	0.50	0.025
$A_7$	Beta	0.58	0.050
$A_8$	Gamma Inversa	0.48	0.100
$A_9$	Gamma Inversa	0.74	0.025
$A_{10}$	Beta	0.70	0.050
$A_{11}$	Gamma Inversa	0.10	0.025
$A_{12}$	Gamma Inversa	0.10	0.050
$A_{13}$	Gamma Inversa	0.67	0.010
$B_1$	Beta	0.98	0.025
$B_2$	Gamma Inversa	0.29	0.100
$B_3$	Beta	0.98	0.100
$B_4$	Gamma Inversa	0.50	0.100
$B_5$	Gamma Inversa	0.50	0.100

<sup>32</sup> Una discusión más específica del Filtro de Kalman se encuentra en Hamilton (1994).

<sup>33</sup> Una introducción al algoritmo de Metrópolis-Hastings se encuentra en Carlin y Louis (1998), pp: 173-184. Adicionalmente, Caputo, Liendo y Medina (2006) proporcionan un ejemplo sencillo que permite entender el funcionamiento de este algoritmo en estudios empíricos.

<sup>34</sup> Las estimaciones empíricas se efectúan en Dynare, un paquete de software que fue construido específicamente para resolver modelos del tipo DSGE. Este software puede ser adquirido de manera gratuita en la siguiente dirección de Internet: <http://www.dsge.net>.

$B_6$	Gamma Inversa	0.50	0.100
$B_7$	Beta	0.80	0.100
$D_1$	Beta	0.76	0.100
$D_2$	Gamma Inversa	0.50	0.200
$D_3$	Gamma Inversa	0.10	0.050
$E_1$	Beta	0.75	0.100
$E_2$	Gamma Inversa	0.64	0.050
$E_3$	Gamma Inversa	0.55	0.100
$E_4$	Gamma Inversa	0.25	0.050
$E_5$	Gamma Inversa	0.55	0.050
$E_6$	Gamma Inversa	0.60	0.100
$F_1$	Beta	0.75	0.050
$F_2$	Beta	0.52	0.100
$H_1$	Gamma Inversa	0.60	0.050
$H_2$	Gamma Inversa	2.50	0.100
$W_1$	Gamma Inversa	0.25	0.100
$W_2$	Beta	0.75	0.100
$W_3$	Gamma Inversa	0.74	0.200
$W_4$	Beta	0.40	0.050
$W_5$	Gamma Inversa	0.40	0.050
$W_6$	Beta	0.50	0.025
$W_7$	Beta	0.25	0.025
$W_8$	Gamma Inversa	0.20	0.100
$W_9$	Gamma Inversa	0.50	0.100
$W_{10}$	Gamma Inversa	0.75	0.100
$Y_1$	Beta	0.12	0.200
$Y_2$	Beta	0.12	0.050
$Y_3$	Beta	0.75	0.025

**Tabla 1. Especificación de las distribuciones a priori de los parámetros**

Es importante mencionar que los valores de estado estacionario de las variables más relevantes del modelo DSGE no son sujeto de estimación, sino que son predeterminados, de conformidad con sus valores meta (como es el caso de la meta de inflación y la meta de volatilidad cambiaria) o respecto de su valor histórico medio.<sup>35</sup>

El modelo en su conjunto contiene 55 parámetros, de los cuales se estiman un total de 43, los cuales se listan en la Tabla 1, conjuntamente con su respectiva especificación a priori, la cual contempla la distribución probabilística, así como la media y la desviación

<sup>35</sup> Este es un enfoque similar al que fue empleado por Smets y Wouters (2003 b).

estándar a priori para cada parámetro. Los supuestos respecto de cada distribución a priori, así como de la media y la desviación estándar para cada parámetro se fundamentan en la literatura económica relacionada con estimación bayesiana de modelos DSGE, así como en estudios empíricos sobre la economía guatemalteca y en la intuición económica del autor en relación al valor potencial de cada parámetro.<sup>36</sup>

El valor a priori de la desviación estándar representa la incertidumbre asociada al valor del parámetro a ser estimado. En este sentido, una distribución a priori registrará una mayor dispersión entre más elevada sea la incertidumbre sobre el valor del parámetro que la misma representa, dado que su desviación estándar tenderá a ser elevada, respecto de aquellos parámetros cuyo valor medio se puede estimar con mayor certeza. Como se puede observar en la Tabla 1, los parámetros del modelo DSGE se presuponen tener distribuciones Beta o Gamma Inversa. El criterio de selección de las distribuciones a priori se basa en Ilbas (2010) y Smets y Wouters (2003b), quienes asumen que los parámetros de los componentes autoregresivos de cada ecuación de un modelo DSGE se encuentran distribuidos según una distribución Beta, debido a que esta distribución restringe el valor de las observaciones aleatorias generadas por el algoritmo de Metrópolis-Hastings, para el cálculo de los momentos de la distribución posterior, en el dominio (0,1), dentro del cual debe situarse el valor de estos parámetros.

Parámetro	Especificación de las distribuciones a priori		
	Tipo de Distribución	Valor medio del Error Estándar	Desviación Estándar
$\varepsilon_t^y$	Gamma Inversa	0.50	2

<sup>36</sup> Los valores medios de las distribuciones a priori se basan en estudios empíricos para la economía guatemalteca, tales como Morán y Valle (2002), Valle (2003), y Castillo y Galindo (2011), los cuales han empleado econometría de series de tiempo y estimaciones por medio del método generalizado de momentos para la obtención de los mismos.

$\varepsilon_t^c$	Gamma Inversa	0.50	2
$\varepsilon_t^x$	Gamma Inversa	2.00	4
$\varepsilon_t^g$	Gamma Inversa	1.50	3
$\varepsilon_t^\pi$	Gamma Inversa	5.00	5
$\varepsilon_t^{pet}$	Gamma Inversa	70.00	20
$\varepsilon_t^{\pi^e}$	Gamma Inversa	5.00	5
$\varepsilon_t^{\pi^e interanual}$	Gamma Inversa	5.00	5
$\varepsilon_t^i$	Gamma Inversa	0.50	2
$\varepsilon_t^{rin}$	Gamma Inversa	5.00	5
$\varepsilon_t^l$	Gamma Inversa	0.50	2
$\varepsilon_t^s$	Gamma Inversa	2.00	4
$\varepsilon_t^{stnd}$	Gamma Inversa	25.00	10
$\varepsilon_t^{\hat{s}}$	Gamma Inversa	1.50	3
$\varepsilon_t^{em}$	Gamma Inversa	2.00	4
$\varepsilon_t^{se}$	Gamma Inversa	1.50	3
$\varepsilon_t^z$	Gamma Inversa	3.50	5
$\varepsilon_t^{\hat{m}}$	Gamma Inversa	2.00	4
$\varepsilon_t^{cred}$	Gamma Inversa	2.00	4
$\varepsilon_t^{\hat{it}}$	Gamma Inversa	7.00	5
$\varepsilon_t^{\hat{di}}$	Gamma Inversa	4.00	3
$\varepsilon_t^{\hat{de}}$	Gamma Inversa	3.50	3
$\varepsilon_t^{\Delta y tnd}$	Gamma Inversa	0.50	2
$\varepsilon_t^{\Delta z tnd}$	Gamma Inversa	2.00	4

**Tabla 2. Especificación de las distribuciones a priori de los choques exógenos**

Por su parte, una distribución Gamma Inversa fue seleccionada como la distribución a priori del resto de parámetros del modelo DSGE, de la misma manera como se asume en Rabanal y Rubio-Ramírez (2005) y Caputo, Liendo y Medina (2006). No obstante, se asume un número de grados de libertad por debajo del seleccionado en las referencias anteriores, con el objeto de que las distribuciones Gamma Inversas adopten una figura similar a una curva normal sesgada.



La Tabla 2 describe las distribuciones a priori del valor medio de los errores estándar de los choques exógenos.<sup>37</sup> Para este caso se asume que dichas funciones pueden ser aproximadas por distribuciones Gamma Inversa. La media a priori de las desviaciones estándar de los errores se obtuvo de los datos de Guatemala. A diferencia de la estimación de los parámetros del modelo, los grados de libertad empleados para la estimación de la desviación estándar de los choques exógenos son más elevados, lo cual se deriva de la incertidumbre implícita de los errores.

Finalmente, es importante señalar que un conjunto de los parámetros se mantuvo fijo durante el proceso de estimación. Dichos parámetros corresponden a las ecuaciones de las variables exógenas del modelo, particularmente los parámetros  $A_1-A_3$ ,  $T_1-T_6$ ,  $A_1^*$ ,  $B_1^*$ , y  $C_1^*$ , los valores de estado estacionario de ciertas variables endógenas y exógenas, así como los valores de las metas de inflación y de volatilidad cambiaria, las cuales son establecidas por el Banco Central. El primer grupo de parámetros fue calibrado en función de las propiedades históricas de las variables endógenas y exógenas para las cuales fue establecido una condición de equilibrio de largo plazo, tales como la depreciación cambiaria real, la tasa de interés neutral, la prima por plazo, la prima por riesgo país, la tasa de interés interna de mercado, la inflación de los principales socios comerciales de Guatemala, la tasa de crecimiento de los Estados Unidos de América y la tasa de interés de la economía estadounidense. También se fijaron los valores para la meta de inflación y la meta de volatilidad cambiaria del banco central.<sup>38</sup>

## V. RESULTADOS DE LA ESTIMACIÓN BAYESIANA

---

<sup>37</sup> Los errores estándar estimados corresponden a la desviación estándar de los choques que pertenecen a las ecuaciones de las variables endógenas del modelo DSGE.

<sup>38</sup> Los valores de estado estacionario se reportan en el Apéndice A, al final del presente documento.

En esta sección se presentan y se discuten los resultados de la estimación bayesiana del modelo DSGE descrito en la sección anterior, así como las funciones impulso-respuesta que resultan de la misma.

## 1. Estimación bayesiana

En base a los valores y a las distribuciones probabilísticas a priori para los parámetros, los cuales fueron declarados en la Tabla 1, se estimaron los valores modales de las distribuciones posteriores por medio del Algoritmo de Sims y se revisó que cada valor modal representaba un óptimo local de cada distribución posterior.<sup>39</sup> La estimación de cada parámetro se llevó a cabo por medio de la generación de observaciones de las distribuciones de densidad posteriores por medio del Algoritmo de Metropolis-Hastings, el cual se generó para un total de 100,000 replicas. La tasa de aceptación de cada observación generada fue de 26 por ciento y la convergencia del sistema fue obtenida sobre la base del criterio de Brooks y Gelman (1998).

La Tabla 3 describe los resultados obtenidos de la estimación bayesiana, tales como el valor modal de la distribución posterior, el intervalo de confianza del valor modal al noventa por ciento de significancia y los errores estándar basados en el Hesiano de la distribución posterior. Cabe indicar que la distribución a priori y la distribución posterior de cada parámetro, así como su respectivo valor modal, se ilustran en la sección 6 del Apéndice A. Cabe resaltar que los datos empleados proporcionaron información relevante sobre una gran cantidad de parámetros.

---

<sup>39</sup> El Algoritmo de Sims es utilizado como la primera opción para el cálculo de los valores modales de las distribuciones probabilísticas posteriores de los parámetros, las cuales se estiman en Dynare.

Parámetro	Especificación de las distribuciones posteriores			
	Tipo de Distribución	Valor Modal	Intervalo de Confianza	Desviación Estándar (Hesiano)
$A_4$	Beta	0.6454	0.6451 - 0.6456	0.055
$A_5$	Gamma Inversa	0.1502	0.1431 - 0.1573	0.043
$A_6$	Gamma Inversa	0.2481	0.2334 - 0.2629	0.028
$A_7$	Beta	0.5839	0.5831 - 0.5848	0.046
$A_8$	Gamma Inversa	0.4720	0.4679 - 0.4760	0.126
$A_9$	Gamma Inversa	0.7426	0.7357 - 0.7494	0.027
$A_{10}$	Beta	0.7121	0.7014 - 0.7227	0.058
$A_{11}$	Gamma Inversa	0.0944	0.0894 - 0.0995	0.024
$A_{12}$	Gamma Inversa	0.0955	0.0908 - 0.1002	0.053
$A_{13}$	Gamma Inversa	0.6683	0.6652 - 0.6714	0.019
$B_1$	Beta	0.9718	0.9677 - 0.9758	0.031
$B_2$	Gamma Inversa	0.2298	0.2251 - 0.2345	0.093
$B_3$	Beta	0.9853	0.9769 - 0.9880	0.072
$B_4$	Gamma Inversa	0.7555	0.7514 - 0.7596	0.121
$B_5$	Gamma Inversa	0.2974	0.2903 - 0.3043	0.261
$B_6$	Gamma Inversa	0.4929	0.4799 - 0.5074	0.117
$B_7$	Beta	0.7837	0.7714 - 0.7945	0.076
$D_1$	Beta	0.7668	0.7639 - 0.7698	0.114
$D_2$	Gamma Inversa	0.5026	0.5024 - 0.5028	0.205
$D_3$	Gamma Inversa	0.1057	0.1016 - 0.1097	0.053
$E_1$	Beta	0.7793	0.7715 - 0.7871	0.069
$E_2$	Gamma Inversa	0.7305	0.7298 - 0.7311	0.117
$E_3$	Gamma Inversa	0.6385	0.6304 - 0.6466	0.064
$E_4$	Gamma Inversa	0.5380	0.5336 - 0.5423	0.132
$E_5$	Gamma Inversa	0.7865	0.7845 - 0.7886	0.053
$E_6$	Gamma Inversa	0.5057	0.5015 - 0.5099	0.045
$F_1$	Beta	0.7435	0.7301 - 0.7569	0.105
$F_2$	Beta	0.5510	0.5462 - 0.5558	0.051
$H_1$	Gamma Inversa	0.7588	0.7569 - 0.7607	0.093
$H_2$	Gamma Inversa	2.7974	2.7917 - 2.8031	0.115
$W_1$	Gamma Inversa	0.2999	0.2871 - 0.3127	0.267
$W_2$	Beta	0.7888	0.7835 - 0.7941	0.055
$W_3$	Gamma Inversa	0.7468	0.7308 - 0.7628	0.053
$W_4$	Beta	0.3974	0.3865 - 0.4082	0.107
$W_5$	Gamma Inversa	0.4617	0.4546 - 0.4688	0.054
$W_6$	Beta	0.4754	0.4708 - 0.4801	0.030
$W_7$	Beta	0.2555	0.2535 - 0.2575	0.021
$W_8$	Gamma Inversa	0.2032	0.2057 - 0.2106	0.135
$W_9$	Gamma Inversa	0.4999	0.4896 - 0.5102	0.112
$W_{10}$	Gamma Inversa	0.7473	0.7349 - 0.7598	0.218
$Y_1$	Beta	0.1254	0.1231 - 0.1377	0.059
$Y_2$	Beta	0.1389	0.1345 - 0.1434	0.027

$Y_3$	Beta	0.7384	0.7269 – 0.7451	0.042
-------	------	--------	-----------------	-------

**Tabla 3. Estimación bayesiana de los parámetros del modelo**

A pesar que los valores a priori fueron obtenidos de estudios empíricos efectuados para la economía guatemalteca, los cuales emplearon métodos econométricos tradicionales como Mínimos Cuadrados Ordinarios, Vectores Autoregresivos o el Método Generalizado de Momentos, los resultados que proporciona la estimación bayesiana proporcionan un entendimiento más profundo de las interrelaciones macroeconómicas entre las variables del modelo DSGE.

Las principales conclusiones que se derivan de la estimación bayesiana de los parámetros del modelo se indican a continuación. En primer lugar, se determinó un mayor grado de persistencia en los componentes de la demanda agregada (coeficientes  $A_4$ ,  $A_7$  y  $A_{10}$ ). A pesar de que los valores a priori de dichos parámetros ya sugerían una conclusión similar, los parámetros estimados son todavía más elevados para las variables autoregresivas de las Ecuaciones (2)-(4). En este sentido, dichos resultados indican un alto grado de rigidez en la economía guatemalteca, particularmente en el consumo e inversión del sector privado y en el gasto público. Con respecto al primer componente, la elasticidad estimada del consumo e inversión del sector privado al crédito bancario,  $A_6$ , fue mayor a la esperada, lo cual implica una relación robusta y procíclica entre ambas variables. Este resultado es ampliamente intuitivo, dado que el mercado de capitales no se encuentra ampliamente desarrollado en Guatemala, por lo que la mayor fuente de financiamiento para consumo e inversión de los agentes privados proviene del crédito bancario. Este resultado se complementa con el valor del coeficiente  $W_9$ , que representa la elasticidad del crédito bancario a los medios de pago, lo cual implica una elevada transmisión de la política monetaria a través del canal de crédito. Adicionalmente, la elasticidad estimada de las



exportaciones a la actividad económica de los Estados Unidos de América, la cual se mide por el coeficiente  $A_9$ , resultó ser estadísticamente significativa.

Choque	Especificación de las distribuciones posteriores			
	Tipo de Distribución	Tipo de Distribución	Tipo de Distribución	Tipo de Distribución
$\varepsilon_t^y$	Inverse Gamma	0.5122	0.4229 - 0.7312	1.987
$\varepsilon_t^c$	Inverse Gamma	0.5044	0.4863 - 0.524	2.084
$\varepsilon_t^x$	Inverse Gamma	2.0077	1.9153 - 2.0564	4.145
$\varepsilon_t^g$	Inverse Gamma	1.5347	1.4506 - 1.6246	2.958
$\varepsilon_t^\pi$	Inverse Gamma	4.9531	4.9154 - 4.9797	5.276
$\varepsilon_t^{pet}$	Inverse Gamma	70.0258	69.9874 - 70.0422	19.34
$\varepsilon_t^{\pi^e}$	Inverse Gamma	4.9993	4.9603 - 5.0675	5.129
$\varepsilon_t^{\pi^e \text{ interanual}}$	Inverse Gamma	5.033	4.9118 - 5.1139	4.973
$\varepsilon_t^i$	Inverse Gamma	0.5014	0.4466 - 0.549	2.126
$\varepsilon_t^{rin}$	Inverse Gamma	4.9947	4.9437 - 5.0496	4.953
$\varepsilon_t^l$	Inverse Gamma	0.4816	0.4015 - 0.5355	1.983
$\varepsilon_t^s$	Inverse Gamma	2.0395	2.0134 - 2.0772	4.052
$\varepsilon_t^{stnd}$	Inverse Gamma	24.9855	24.9327 - 25.0758	10.374
$\varepsilon_t^{\hat{s}}$	Inverse Gamma	1.4802	1.4049 - 1.5327	2.894
$\varepsilon_t^{em}$	Inverse Gamma	2.0059	1.9758 - 2.0445	4.167
$\varepsilon_t^{s^e}$	Inverse Gamma	1.5216	1.4209 - 1.6014	3.086
$\varepsilon_t^z$	Inverse Gamma	3.5411	3.4777 - 3.5967	4.831
$\varepsilon_t^{\hat{m}}$	Inverse Gamma	2.0069	1.9349 - 2.044	3.992
$\varepsilon_t^{cred}$	Inverse Gamma	1.9939	1.9533 - 2.0392	4.021
$\varepsilon_t^{\hat{it}}$	Inverse Gamma	7.005	6.9402 - 7.0791	5.005
$\varepsilon_t^{\hat{di}}$	Inverse Gamma	4.022	4.0073 - 4.039	3.069
$\varepsilon_t^{\hat{de}}$	Inverse Gamma	3.5229	3.4298 - 3.5807	2.863
$\varepsilon_t^{\Delta y_{tnd}}$	Inverse Gamma	0.4833	0.4314 - 0.5289	1.993
$\varepsilon_t^{\Delta z_{tnd}}$	Inverse Gamma	1.9936	1.9547 - 2.0523	3.974

**Tabla 4. Estimación bayesiana de las desviaciones estándar (SD) de los choques exógenos**

Este resultado comprueba la importancia de las fluctuaciones económicas de los Estados Unidos de América en la economía guatemalteca. En efecto, el tamaño de su



mercado y su proximidad geográfica a Guatemala (y a la región centroamericana en general), ha contribuido a generar relaciones comerciales y financieras estrechas entre ambos países. Por lo tanto, sus respectivos ciclos económicos se encuentran ampliamente correlacionados, lo cual explica el hecho que las exportaciones guatemaltecas sean dependientes del dinamismo económico de su principal socio comercial. Por su parte, la estimación bayesiana de los parámetros del gasto público confirma la naturaleza procíclica del mismo, ya que este se encuentra mayormente relacionado con los ingresos tributarios y en menor medida con las fluctuaciones en la deuda pública de carácter interno o externo ( $A_{13} > A_{11} + A_{12}$ ). Por lo tanto, las fluctuaciones cíclicas internas tienden a tener un mayor efecto en la recaudación tributaria, lo cual compensa el efecto que dichas fluctuaciones podrían generar sobre el endeudamiento público. En este sentido, el gasto público guatemalteco fluctúa en función de su principal fuente de financiamiento.

El segundo resultado relevante de la estimación bayesiana del modelo DSGE que se introduce en este documento, fue el valor del parámetro  $B_1$ , el cual representa la importancia de las expectativas de inflación y de la variación en los precios internacionales de los bienes importados en la formación de precios internos. Este efecto supera a la importancia de las fluctuaciones en la demanda agregada interna en la Curva de Phillips. Lo anterior da cuenta de la importancia de los choques exógenos en una economía pequeña y abierta como lo es la economía guatemalteca.

En tercer lugar, como se ilustra en la Tabla 3, los resultados obtenidos fueron poco informativos sobre los parámetros de la regla de tasa de interés ( $D_1-D_3$ ). Este es un resultado razonable, debido a que el esquema de metas explícitas de inflación fue adoptado recientemente en Guatemala. En este sentido, los valores a priori para dichos parámetros, los cuales fueron obtenidos de evidencia empírica proporcionada por otros estudios,

particularmente Castillo y Galindo (2011), resultan ser relevantes para la Regla de Taylor del modelo DSGE.

Un cuarto aspecto que cabe resaltar sobre la estimación bayesiana se refiere a los parámetros de las ecuaciones del mercado cambiario. En particular, las fluctuaciones del tipo de cambio nominal alrededor de su tendencia, presentan una elevada inercia, como lo indica el valor de  $E_1$ . Consideramos que ello obedece a que las fluctuaciones cambiarias son una variable objetivo por parte del Banco de Guatemala (se encuentran restringidas), de conformidad con la Regla de Intervención Cambiaria, Ecuación (10).

El resultado anterior se complementa con el obtenido para el parámetro  $H_2$ , el cual representa la reacción del banco central ante elevadas fluctuaciones cambiarias. Los resultados de la estimación de este parámetro fueron poco informativos ya que estos se encuentran alrededor del valor establecido a priori, el que a su vez fue calibrado para representar el monto promedio de intervención que efectúa el Banco de Guatemala en el mercado de divisas, lo cual se ajusta bastante bien al comportamiento de los datos. Adicionalmente, se encontró que la elasticidad del tipo de cambio nominal al medio circulante,  $E_3$  y a la actividad económica externa,  $E_4$ , son relevantes para explicar su comportamiento. Estos resultado se encuentran en línea con los obtenidos por Castillo and Pérez (2011).

Finalmente, el quinto resultado importante de la estimación bayesiana del modelo DSGE se refiere a la fuerte persistencia de las tasas de interés nominales, como se indica por el parámetro  $F_1$ . Consideramos que la importancia otorgada por el Banco de Guatemala a la estabilidad financiera durante el período que se llevó a cabo la estimación podría haber

jugado un rol importante en estabilizar el comportamiento de las tasas de interés de largo plazo de mercado.<sup>40</sup>

Un segundo grupo de parámetros estimados se refiere a las desviaciones estándar de los choques exógenos, los cuales se presentan en la Tabla 4. En este caso, como se indicó, las distribuciones probabilísticas establecidas a priori fueron relativamente imprecisas para reflejar el bajo nivel de conocimiento de los autores respecto de dichos valores. Por consiguiente, la estimación de los valores modales para cada parámetros fueron ampliamente basadas en los datos. Los resultados obtenidos son valiosos para el análisis de impulso respuesta que se lleva a cabo en la siguiente sección.

## **2. Análisis bayesiano de impulso-respuesta**

En esta sección se presentan las principales características del modelo DSGE estimado, por medio del análisis de funciones de impulso-respuesta obtenidas de la estimación bayesiana de los parámetros del modelo. En particular, se presenta el análisis de un choque a la tasa de interés de política monetaria, el cual ilustra el mecanismo de transmisión monetario que pone a funcionar el banco central con el propósito de cumplir con su primer objetivo de política monetaria (la meta de inflación). Asimismo, se ilustra el efecto de una reducción permanente a la meta de inflación de largo plazo, los cuales son comunes a la literatura económica. Adicionalmente, se presenta un choque a la variación de reservas monetarias internacionales producido por una venta de divisas (dólares estadounidenses) por parte del banco central en el mercado cambiario, el cual lleva a cabo la autoridad monetaria para alcanzar su segunda meta de política monetaria, es decir,

---

<sup>40</sup> Los parámetros estimados restantes fueron de la magnitud y signo esperados.

procurar una disminución en la volatilidad del tipo de cambio. En este sentido, los dos primeros choques son comunes a la literatura económica, mientras que el tercer choque ilustra el punto principal del presente documento: la adición de un objetivo adicional de política monetaria (regular la volatilidad cambiaria) en una economía pequeña y abierta con un esquema de metas explícitas de inflación.

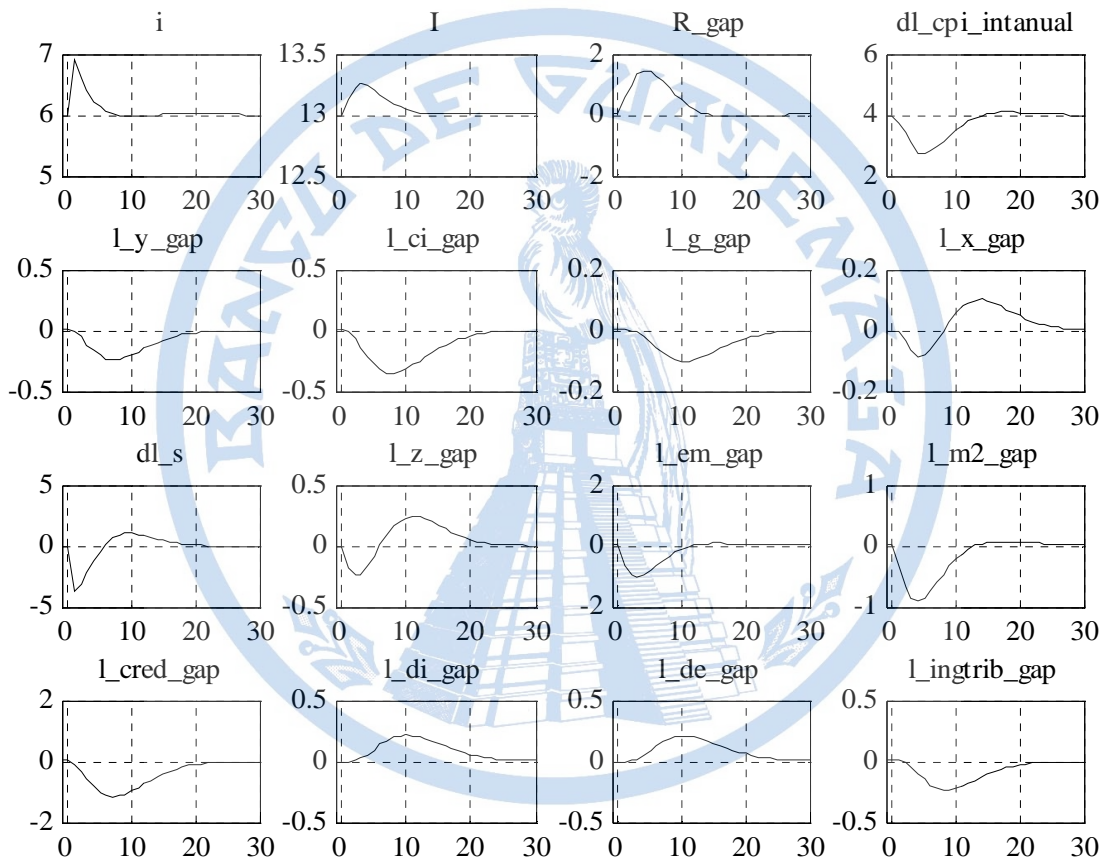
**a) Choque a la tasa de interés de política monetaria**

Este choque ilustra el efecto de un incremento temporal e inesperado en la tasa de interés de política del Banco de Guatemala,  $i_t$  (ver Figura 2). Por un lado, este genera un incremento en la tasa de interés de mercado de largo plazo tanto en términos nominales,  $I_t$ , como en términos reales,  $R_t$ , lo que propicia una apreciación cambiaria nominal,  $\Delta s_t$ , y real,  $\hat{z}_t$ , reduce las exportaciones totales,  $\hat{x}_t$ , y conlleva a una contracción del crédito bancario al sector privado,  $\widehat{cred}_t$ . Por lo tanto, se produce una reducción en el consumo e inversión del sector privado,  $\widehat{c}_t$ , así como en la demanda agregada interna,  $\hat{y}_t$ , y, por consiguiente, en la inflación,  $\pi_t$ .<sup>41</sup> Adicionalmente, el referido incremento en la tasa de interés de política monetaria genera una contracción en la cantidad de billetes y monedas en circulación o emisión monetaria,  $em_t$  (el Efecto Liquidez) el cual acentúa la contracción, que se produce vía tasas de interés, sobre el consumo y la inversión del sector privado,  $\widehat{c}_t$ , la demanda agregada interna,  $\hat{y}_t$ , y la inflación,  $\pi_t$ . Además, el Efecto Liquidez sobre la emisión monetaria conlleva a una reducción en la oferta monetaria agregada (los medios de pago),  $\widehat{mp}_t$ , que intensifica la apreciación nominal y real del quetzal, así como la desaceleración en las exportaciones,  $\hat{x}_t$ . La disminución en la demanda agregada conduce a

---

<sup>41</sup> La mayor parte del análisis económico se basa en las fluctuaciones de las variables respecto de sus respectivas tendencias de largo plazo, debido a que la política monetaria es neutral en el largo plazo.

una reducción en los ingresos tributarios,  $\widehat{it}_t$ , los cuales se compensan parcialmente con un incremento en el endeudamiento público, tanto de origen interno,  $\widehat{di}_t$ , como de origen externo,  $\widehat{de}_t$ ; no obstante, dado que los ingresos tributarios constituyen la principal fuente de financiamiento del sector público, la reducción de los mismos genera una contracción en el gasto de gobierno total,  $\widehat{gt}_t$ .



Nota: Para propósitos de notación:  $R\_gap = \widehat{R}$  ;  $dl\_cpi\_intannual = \pi_{interannual}$  ;  $l\_y\_gap = \widehat{y}$  ;  $l\_ci\_gap = \widehat{c}$  ;  $l\_g\_gap = \widehat{g}$  ;  $l\_x\_gap = \widehat{x}$  ;  $dl\_s = \Delta s$  ;  $l\_z\_gap = \widehat{z}$  ;  $l\_em\_gap = \widehat{em}$  ;  $l\_m2\_gap = \widehat{m}$  ;  $l\_cred\_gap = \widehat{cr}$  ;  $l\_di\_gap = \widehat{di}$  ;  $l\_de\_gap = \widehat{de}$  ; and  $l\_ingtrib\_gap = \widehat{it}$  .

**Figura 2. Un choque a la tasa de interés de política monetaria**

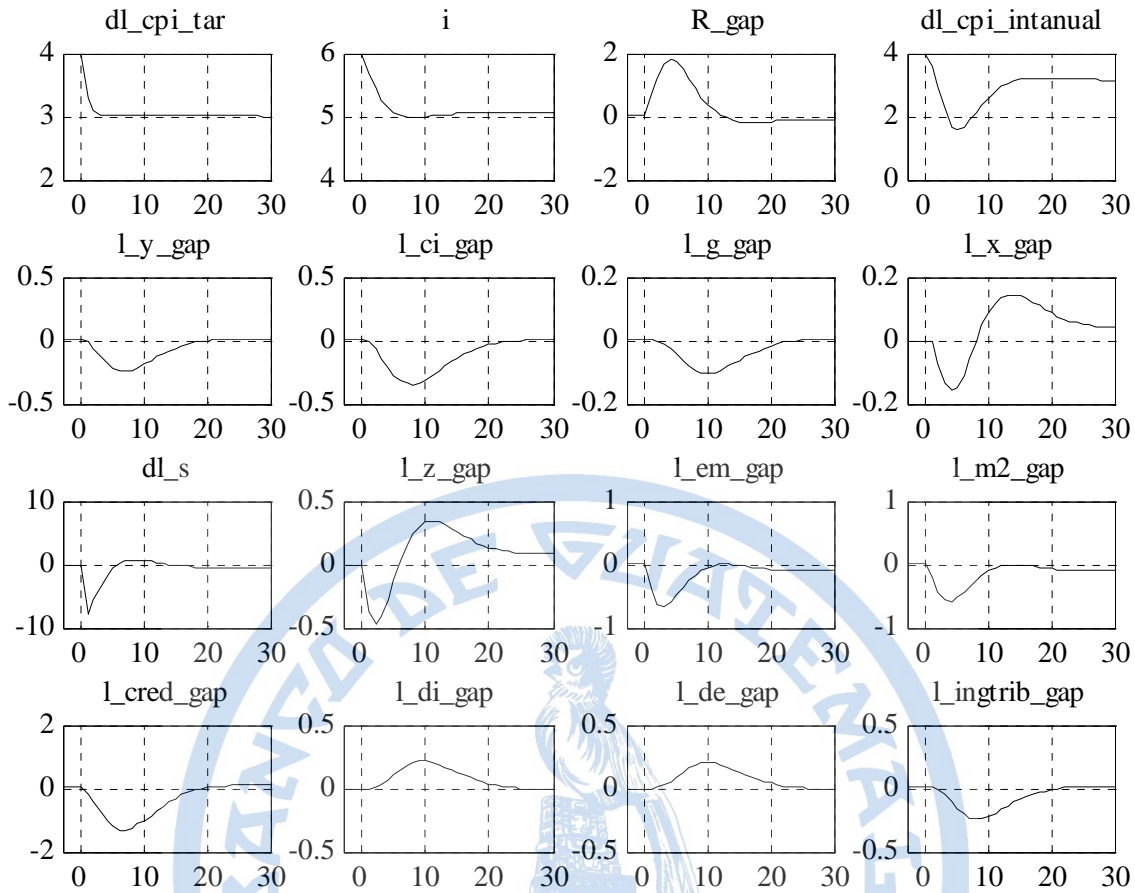


El resultado anterior da cuenta del comportamiento procíclico del gasto público en la economía guatemalteca, fenómeno generalizado de las economías emergentes, particularmente en Latinoamérica, tal como se indicó previamente. La estabilización económica luego del choque ocurre dentro de los primeros 10 trimestres (dos años y medio) para las variables nominales y luego de 20 períodos (5 años) para las variables del sector real. En este punto, la tasa de interés de política monetaria se reduce a su valor original, corrigiendo el incremento inicial y propiciando el retorno de las variables del modelo a su valor de estado estacionario.

**b) Una reducción permanente a la meta de inflación**

Un choque permanente a la meta de inflación de largo plazo modifica las propiedades de estado estacionario del modelo DSGE. Por consiguiente, ello podría ser más informativo sobre la capacidad del modelo para replicar características particulares de la economía guatemalteca observadas en el pasado. En este sentido, el choque de desinflación es uno de los más importantes choques para propósito de análisis de las características del modelo estimado, dado que permite establecer los efectos de una política monetaria desinflacionaria en la actividad económica interna (la razón de sacrificio). La Figura 3 ilustra el choque en mención por medio de una reducción permanente a la meta de inflación,  $\bar{\pi}_t$ , en un punto porcentual. El supuesto principal en este choque es que el banco central goza de una amplia credibilidad ante los agentes económicos internos. En este caso, tanto la tasa de interés de política monetaria,  $i_t$ , como la tasa de interés nominal de mercado de largo plazo,  $I_t$ , convergen gradualmente hacia un valor, inferior en 1%, respecto de su valor original. No obstante, las expectativas de inflación de mediano plazo se reducen inmediatamente luego del anuncio de una disminución en la meta de inflación, lo cual

ocasiona un aumento temporal en la tasa de interés real de mercado y, por consiguiente, en su brecha,  $\hat{R}$ . Dicho incremento produce una disminución en el crédito bancario al sector privado,  $\hat{c}r$ , lo que reduce el consumo y la inversión del sector privado,  $\hat{c}i$ , así como la demanda agregada interna,  $\hat{y}$ . La reducción en la actividad económica de corto plazo genera una disminución en las fuentes netas de financiamiento del gobierno, lo cual produce una desaceleración en el gasto público,  $\hat{g}$ . Con respecto a la reducción gradual en la tasa de interés de política monetaria, es importante hacer mención que su trayectoria de largo plazo tiende a reducirse más rápidamente, lo que ocasiona un aumento temporal en el componente cíclico de esta variable. Por consiguiente, se genera un Efecto Liquidez, el cual conlleva una reducción temporal en la emisión monetaria,  $\hat{e}m$ , el cual se traslada, a los medios de pago totales,  $\hat{m}p$ . En este sentido, la contracción monetaria genera una apreciación temporal en el tipo de cambio nominal y real, lo que a su vez produce una desaceleración de las exportaciones totales,  $\hat{x}$ .



Nota: Para propósitos de notación:  $R\_gap = \hat{R}$  ;  $dl\_cpi\_intanual = \pi_{interanual}$ ;  $l\_y\_gap = \hat{y}$  ;  $l\_ci\_gap = \hat{c}$  ;  $l\_g\_gap = \hat{g}$ ;  $l\_x\_gap = \hat{x}$ ;  $dl\_s = \Delta s$  ;  $l\_z\_gap = \hat{z}$  ;  $l\_em\_gap = \hat{em}$  ;  $l\_m2\_gap = \hat{m}$ ;  $l\_cred\_gap = \hat{cr}$  ;  $l\_di\_gap = \hat{di}$  ;  $l\_de\_gap = \hat{de}$  ; and  $l\_ingtrib\_gap = \hat{it}$  .

**Figura 3. Una reducción permanente a la meta de inflación**

Cabe señalar que las trayectorias de crecimiento de largo plazo de los componentes de la demanda agregada (consumo e inversión del sector privado, gasto público y exportaciones) se mantienen sin cambio, a pesar de que sí existe una desaceleración temporal en las trayectorias cíclicas de dichos componentes en el corto plazo.

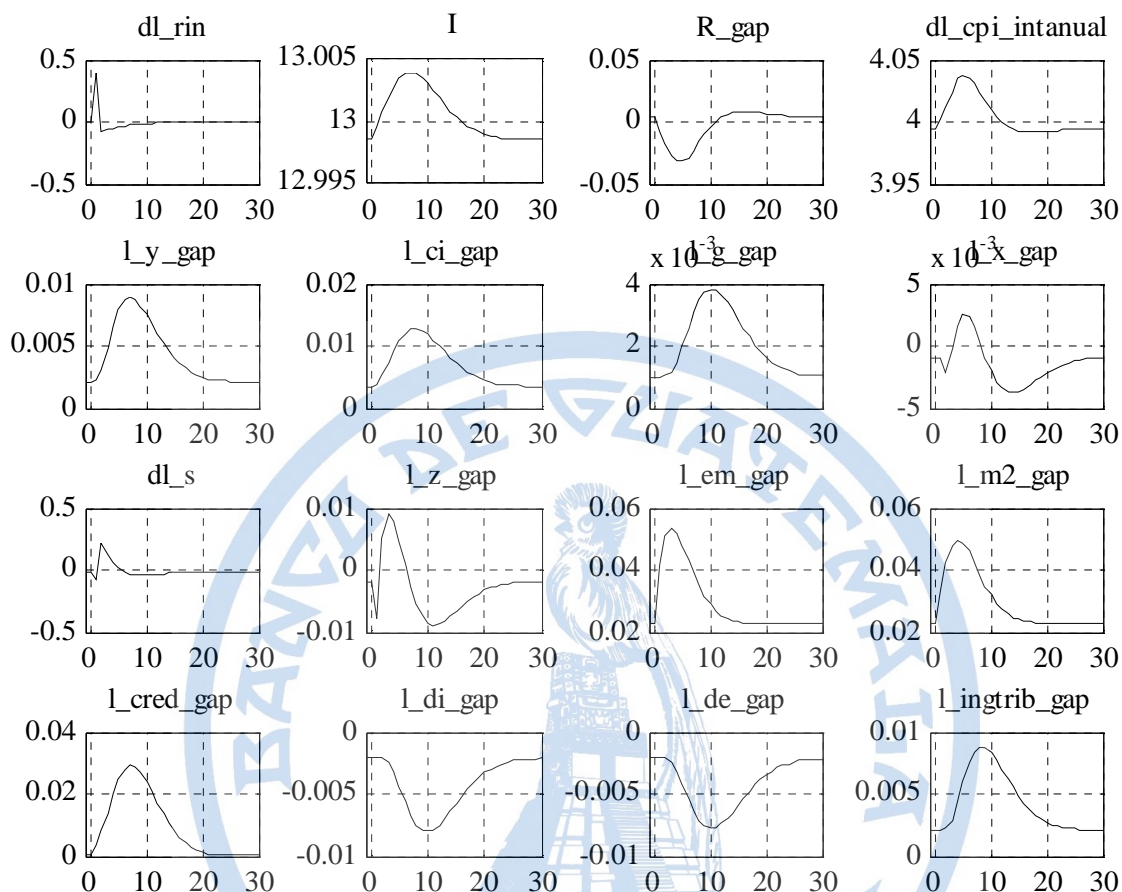
La razón de sacrificio, como su nombre lo indica, mide el “sacrificio” o la pérdida, en puntos porcentuales de actividad económica, que se producen como consecuencia de reducir la meta de inflación de largo plazo en un punto porcentual. En este caso, la razón de sacrificio se calcula por medio de la sumatoria acumulada de la brecha del producto,  $\hat{y}$ , de

la Figura 3, durante el período de duración del choque. El resultado obtenido es una disminución acumulada de 0.56%. Este resultado implica que una política desinflacionaria establecida por el banco central, consistente en una reducción de la meta de inflación de largo plazo en un punto porcentual, tiene un costo, en términos de crecimiento económico, equivalente a 0.56% del PIB; no obstante, este costo es distribuido a lo largo de un horizonte de aproximadamente 5 años, es decir, alrededor de 0.1% por año.

**c) Choque a la Reservas Monetarias Internacionales originado por una intervención cambiaria del banco central**

Como se ha indicado previamente, el banco central cuyo comportamiento se modela en el presente estudio, tiene dos objetivos de política monetaria, una meta de inflación y una meta de volatilidad cambiaria. Para el logro simultáneo de ambos objetivos, el banco central emplea dos instrumentos de política, la tasa de interés de referencia y las intervenciones en el mercado cambiario. En este sentido, este último instrumento produce fluctuaciones adicionales en las Reservas Monetarias Internacionales (RIN) que administra la autoridad monetaria. En el choque que se presenta en este apartado, se pretende ilustrar los efectos de una intervención de compra de divisas (dólares de los Estados Unidos) en el mercado cambiario, la cual se esteriliza parcialmente en el mercado de dinero. Ello implica que los efectos de dicha intervención se trasladan, en parte, a la demanda agregada interna, por medio del efecto de la variación de RIN en la emisión monetaria. La Figura 4 ilustra un

choque a las reservas monetarias internacionales generado por la compra de una cantidad de divisas equivalente al monto máximo diario establecido por el Banco de Guatemala.<sup>42</sup>



Nota: Para propósitos de notación:  $dl\_rin = \Delta rin$ ;  $R\_gap = \hat{R}$ ;  $dl\_cpi\_intannual = \pi_{interannual}$ ;  $l\_y\_gap = \hat{y}$ ;  $l\_ci\_gap = \hat{ci}$ ;  $l\_g\_gap = \hat{g}$ ;  $l\_x\_gap = \hat{x}$ ;  $dl\_s = \Delta s$ ;  $l\_z\_gap = \hat{z}$ ;  $l\_em\_gap = \hat{em}$ ;  $l\_m2\_gap = \hat{m}$ ;  $l\_cred\_gap = \hat{cr}$ ;  $l\_di\_gap = \hat{di}$ ;  $l\_de\_gap = \hat{de}$ ; and  $l\_ingtrib\_gap = \hat{it}$ .

**Figura 4. Choque a las reservas monetarias internacionales**

Como se ilustra en la figura anterior, un incremento en la tasa de variación de las RIN,  $\Delta rin$ , originado por una compra directa de divisas del banco central en el mercado cambiario, genera un aumento temporal en la emisión monetaria,  $\hat{em}_t$ , el cual se traslada a

<sup>42</sup> El Banco de Guatemala ha establecido un monto máximo diario de intervención en el mercado cambiario equivalente a US\$24 millones, el cual representa alrededor de 0.4% del saldo de las reservas monetarias internacionales del país a diciembre de 2011 (US\$6,187.90 millones).



la oferta monetaria total,  $\widehat{mp}_t$ , lo que aumenta la cantidad de recursos disponibles para la adquisición de moneda extranjera, propiciado de esta manera, una depreciación temporal en el tipo de cambio nominal,  $\Delta s_t$ . Por una parte, el aumento en la emisión que se genera por una intervención cambiaria parcialmente esterilizada conlleva a un incremento en el consumo e inversión del sector privado,  $\hat{c}_t$  y, por consiguiente, en la demanda agregada total,  $\hat{y}_t$ . Por su parte, la depreciación cambiaria originada por la intervención genera una depreciación cambiaria real, lo que propicia un alza temporal en las exportaciones totales,  $\hat{x}_t$ , así como en la demanda agregada total,  $\hat{y}_t$ .

En este punto, es importante resaltar que el incremento en la actividad económica, producto de la intervención cambiaria del banco central, se traslada a los precios internos, generando de esta manera un aumento temporal en la inflación. Si bien la Figura 4 indica que el incremento en los precios, producto de una sola intervención en el mercado cambiario, no es de una magnitud relevante. No obstante, intervenciones más frecuentes por parte del banco central, producto del temor a flotar, tendrán un mayor efecto en los precios internos. En este sentido, se llevó a cabo una simulación similar a la presentada en la Figura 4, pero con un monto de intervención equivalente a la compra de US\$100 millones a lo largo de un período (un trimestre).<sup>43</sup> En este caso, el efecto acumulado en los precios internos aumenta a 3.4 puntos porcentuales distribuidos a lo largo de 2.5 años, lo cual representa un incremento anual de 1.36% en la inflación interna. Los resultados anteriores implican que un banco central que establece dos objetivos simultáneos, deberá coordinar el manejo y la intensidad de uso de sus dos instrumentos de política, con el objeto que el uso de un instrumento no interfiera con el logro del otro objetivo de política.

---

<sup>43</sup> Cabe indicar que el Banco de Guatemala efectuó intervenciones de compra de moneda extranjera que superan los US\$100 que se simulan en el ejercicio anterior, durante el primer trimestre de 2010 y de 2011.

## VI. CONCLUSIONES

Este documento presenta la estructura, metodología de estimación y principales características de un modelo macroeconómico dinámico estocástico de equilibrio general (DSGE) que ilustra una economía que ha establecido un régimen de metas explícitas de inflación y que adicionalmente, su banco central también establece una meta sobre la volatilidad permisible en el tipo de cambio nominal. Para la consecución eficiente y simultánea de ambos objetivos, el modelo DSGE establece dos instrumentos de política, como lo sugiere la condición Timbergen-Aoki. En este sentido, como lo dicta la teoría económica, así como los procedimientos operativos tradicionales a nivel de banca central, la tasa de interés de política monetaria es el instrumento establecido para el logro de la meta de inflación, mientras que las reservas monetarias internacionales (RMI) constituyen el instrumento empleado para moderar las fluctuaciones cambiarias que superan un máximo de fluctuación permisible predeterminado por la autoridad monetaria.

La estructura del modelo DSGE toma en consideración el efecto liquidez que se produce en los agregados monetarios ante cambios en la tasa de interés de política monetaria, el impacto de las fluctuaciones del crédito bancario en la demanda agregada, el efecto de la política fiscal en la actividad económica y los efectos de la intervención cambiaria del banco central en el mecanismo de transmisión monetario. Los valores de los parámetros se obtienen por medio de métodos bayesianos que emplean el algoritmo de Metrópolis-Hastings, el cual incorpora conjuntamente las distribuciones probabilísticas a priori para cada parámetro, particularmente distribuciones Beta y Gamma Inversa, con la distribución de máxima verosimilitud que se obtiene para el modelo DSGE por medio del Filtro de Kalman, para obtener las distribuciones probabilísticas posteriores. Estas últimas

proporcionan el valor modal de cada parámetro, los cuales se sustituyen en vez de los valores a priori predeterminados, con el objeto de obtener las funciones de impulso-respuesta para cada choque exógeno que se establece dentro del modelo DSGE. Dichas funciones de reacción indican las características empíricas del modelo y son empleadas, en el presente estudio, para medir los efectos macroeconómicos de: i) un incremento de un punto porcentual en la tasa de interés de política monetaria; ii) una disminución permanente de un punto porcentual en la meta de inflación de largo plazo; iii) una intervención cambiaria en la cual el banco central adquiere dólares de los Estados Unidos de América en el mercado de divisas por un monto equivalente al máximo diario establecido por el Banco de Guatemala.

El modelo DSGE estimado permite desplegar características importantes del mecanismo de transmisión monetario de la economía guatemalteca, lo cual podría contribuir a cuantificar los efectos macroeconómicos de diversos choques que podrían suscitarse en una economía pequeña y abierta. En particular, los choques analizados para efectos del presente estudio sugieren que el banco central debe coordinar la ejecución de sus dos instrumentos de política monetaria (cambios en la tasa de interés de referencia y cambios en las RIN, producto de intervenciones cambiarias) con el objeto de lograr de forma eficiente el logro simultáneo de sus dos objetivos de política. De otra manera, podría poner en peligro el logro de alguno de los objetivos preestablecidos.

## REFERENCIAS

- [1] Adjemian, Stéphane, Houtan Bastani, Michel Juilliard, Ferhat Mihoubi, George Perencha, Marco Ratto, and Sebastien Villenrot (2011). *Dynare: Reference Manual, Versión 4*. Dynare Working Papers, 1, CEPREMAP.
- [2] Aghion, Philippe and Iona Marinesu (2006). *Cyclical Budgetary Policy and Economic Growth: What Do We Learn from OECD Panel Data?* In *NBER Macroeconomics Annual 2007, Volume 22*, pp. 251-278.
- [3] Aizenman, Joshua, Michael Gavin, and Ricardo Hausmann (1996). *Optimal Tax Policy with Endogenous Borrowing Constraints*. NBER Working Paper No.5558.
- [4] Alexius, A. (2001). *Uncovered Interest Parity Revisited*. *Review of International Economics*, Vol. 9, No. 3.
- [5] An, S. and F. Schorfheide (2007). *Bayesian Analysis of DSGE Models*. *Econometric Reviews*, Vol. 26, No. 2-4, pp. 113-172.
- [6] Aoki, Masanao (1975). *On a Generalization of Tinbergen's Condition in the Theory of Policy to Dynamic models*. *Review of Economic Studies*, Vol. 42, No. 2, April.
- [7] Ball, Laurence and Dean Croushore (1995). *Expectations and the Effects of Monetary Policy*. *Journal of Money, Credit and Banking*, Vol. 35, No. 2003.
- [8] Barro, Robert (1979). *On the Determination of Public Debt*. *The Journal of Political Economy*, Vol. 87, No. 5, pp: 940-971.
- [9] Barro, R. and David Gordon (1983). *A Positive Theory of Monetary Policy in a Natural Rate Model*. *The Journal of Political Economy*, Vol. 91, No. 4, pp:589-610.
- [10] Basile, G. y Marro, G. (1971). *On the Perfect Output Controllability of Linear Dynamic Systems*. *Ricerche di Automatica*, Vol. 2 (1971), 1-10.
- [11] Batini, Nicoleta, Kenneth Kuttner, and Douglas Laxton (2005). *Does Inflation Target Works in Emerging Markets?* Chapter IV, *World Economic Outlook*, September.
- [12] Beneš, Jaromir, Jaromir Hurnik and David Vávra (2008). *Exchange Rate Management and Inflation Targeting: Modeling the Exchange Rate in Reduced-Form New Keynesian Models*. *Czech Journal of Economics and Finance*, Vol. 58, No. 8.
- [13] Beckett, S., and G. Sellon (1999), "Has Financial Market Volatility Increased?", *Economic Review*, Federal Reserve Bank of Kansas City, June.

- [14] Berg, Andrew, Philippe Karam and Douglas Laxton (2006a). A Practical Model-Based Approach to Monetary Policy Analysis – Overview. IMF Working Paper WP/06/80.
- [15] Berg, Andrew, Philippe Karam and Douglas Laxton (2006b). A Practical Model-Based Approach to Monetary Policy. --A-How-to-Guide." IMF Working Paper 06/81.
- [16] Bernanke, Ben, and Ilian Mihov (1998). The Liquidity Effect and Long-Run Neutrality. NBER Working Papers Series No. 6608, National Bureau of Economic Research.
- [17] Bernanke, Ben S., and Frederic S. Mishkin (1997). Inflation targeting: A new framework for monetary policy. *Journal of Economic Perspectives* 11 (2): 97–116.
- [18] Bernanke, Ben, Thomas Laubach, Frederic Mishkin y Adam Posen (1999). *Inflation Targeting: Lessons from International Experience*. Princeton University Press.
- [19] Bonser-Neil, Catherine, and Glenn Tanner (1996), “Central Bank Intervention and the volatility of Foreign Exchange Rates: Evidence from the Options Market”, *Journal of International Money and Finance*, vol. 15, 6.
- [20] Borensztein, E., José De Gregorio and J-W. Lee (1998). How does foreign direct investment affect economic growth? *Journal of International Economics*, Vol. 45, pp: 115–135.
- [21] Bridgen, A., and P. Mizen (1999). Money, Credit and Investment in the UK Corporate Sector. Bank of England Working Paper No. 100.
- [22] Brockett, R. y Mesarovic, M (1965). The Reproductability of Multivariable Systems. *Journal of Applied Mathematical Analysis*, Vol. 2 (1965), 548-563.
- [23] Brooks, Stephen, and Andrew Gelman (1998). General Methods for Monitoring Convergence of Iterative Simulations. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, Vol. 7, No. 4, December, pp: 434-455.
- [24] Caballero, Ricardo and Vittorio Corbo (1989). The Effect of Real Exchange Rate Uncertainty on Exports: Empirical Evidence. *The World Bank Economic Review*, Vol. 3, No. 2.
- [25] Calvo, G. y Reinhart, C. (2000). "Fear of Floating". *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 107, No. 2, Mayo.
- [26] Caputo, Rodrigo, Felipe Liendo and Juan Pablo Medina (2006). New Keynesian Models for Chile in the Inflation Targeting Period: A Structural Investigation. Central Bank of Chile Working Paper Series, Working Paper No. 402, December.



- [27] Carlin, Bradley and Thomas Louis (1996). Bayes and Empirical Bayes Methods for Data Analysis. Monographs on Statistics and Applied Probability No. 69, Chapman and Hall Editorial.
- [28] Castillo, Carlos (2006). The Liquidity Effect and the Long Run Neutrality of Money in Guatemala. Banca Central, Vol. 51, Enero-Junio.
- [29] \_\_\_\_\_ (2010). Efectividad de la intervención cambiaria en Guatemala. El Trimestre Económico. Vol. LXXVII (3), No. 307, julio-septiembre 2010, pp. 557-583.
- [30] Castillo, Carlos, and Douglas Galindo (2011). Un Modelo Trimestral de Pronósticos para Guatemala. Serie de Documentos de Trabajo del Banco de Guatemala, Documento de Trabajo No. 121.
- [31] Castillo, Carlos, and Fidel Pérez (2011). Theoretical and Empirical Exchange Rate Models: Do they aim to forecast the Quetzal? Forthcoming at the Journal of Applied Economics.
- [32] Chinn, Menzie; and Guy Meredith (2005). Testing Uncovered Interest Parity at Short and Long Horizons during the Post-Bretton Woods Era. National Bureau of Economic Research, January.
- [33] \_\_\_\_\_ (2004). Monetary Policy and Long-Horizon Uncovered Interest Rate Parity. IMF Staff Papers, Vol. 51, No. 3.
- [34] Christiano, Lawrence, Martin Eichenbaum and Charles Evans (1994). The Effects of Monetary Policy Shocks: Some Evidence from the Flow of Funds. NBER Working Papers Series No. 4699, National Bureau of Economic Research.
- [35] Christiano, Lawrence, and Martin Eichenbaum (1992). Liquidity Effects and the Monetary Transmission Mechanism. Federal Reserve Bank of Minneapolis, Research Department Staff Report 150.
- [36] De Gregorio, José (2006). Esquema de Metas de Inflación en Economías Emergentes. Documentos de Política Económica, Banco Central de Chile, No. 18, Octubre.
- [37] Dell’Ariccia, Giovanni (1998). Exchange Rate Fluctuations and Trade Flows: Evidence from the European Union. IMF Working Paper 98/107.
- [38] Edwards, Sebastian (2006). The Relationship Between Exchange Rates and Inflation Targeting Revisited. Central Bank of Chile Working Papers, No. 49, December 2006.
- [39] \_\_\_\_\_ (2002). The Great Exchange Rate Debate after Argentina. National Bureau of Economic Research. Working Paper 9257, October.

- [40] Engel, Charles (2011). The Real Exchange Rate, Real Interest Rates, and the Risk Premium. NBER Working Paper Series, Working Paper 17116, June.
- [41] Freedman, Charles and Douglas Laxton (2009). Why Inflation Targeting? IMF Working Paper Series, Working Paper Number WP/09/86, April.
- [42] Gavin, Michael, y Roberto Perotti (1997). Fiscal Policy in Latin America. NBER Macroeconomics Annual, Cambridge, Mass., MIT Press, 1997, pp. 11-61.
- [43] Galí, J., M. Gertler, and J.D. López-Salido (2001). European Inflation Dynamics. European Economic Review, Vol. 45, No. 7, pp: 1237-70.
- [44] Galí, Jordi (1994). Government Size and Macroeconomic Stability. European Economic Review, Vol. 38, No. 1, pp. 117-32.
- [45] \_\_\_\_\_ (2008), Monetary Policy Inflation, and the Business Cycle: An Introduction to the New Keynesian Framework. Princeton University Press.
- [46] Green, D., R. King, and M. Miller-Dawkins (2010). The Global Economic Crisis and Developing Countries: Impact and Response. International Research Report, Oxfam International, New York.
- [47] Griffoli, Tommaso M. (2010). Dynare User Guide: An Introduction to the Solution and Estimation of DSGE Models. June.
- [48] Hamilton, James D. (1994). Time Series Analysis. Princeton University Press.
- [49] Hauser, Andrew, and Andrew Bridgen (2002). Money and Credit in an Inflation Targeting Regime. Bank of England Quarterly Bulletin, Autumn.
- [50] Holub, Tomáš (2004). Foreign Exchange Interventions Under Inflation Targeting: The Czech Experience. CNB Internal Research and Policy Note.
- [51] Ilbas, Pelin (2010). Estimation of Monetary Policy Preferences in a Forward-Looking Model: A Bayesian Approach. International Journal of Central Banking, Vol. 6, No. 3, September, pp: 169-209.
- [52] International Monetary Fund (2005). Does Inflation Targeting Work in Emerging Markets? World Economic Outlook, Chapter 4, September.
- [53] Janssen, N. (1996). The Demand for Divisia Money by the Personal Sector and by Industrial and Commercial Companies. Bank of England Quarterly Bulletin, Vol. 36.
- [54] Juselius, Katarina (2000). Do Purchasing Power Parity and Uncovered Interest Rate Parity Hold in the Long Run? An Example of Likelihood Inference in a Multivariate Times Series Model. Journal of Econometrics, Vol. 69, September, pp: 211-240.

- [55] Kydland, F.E. and Edward Prescott (1977). Rules Rather Than Discretion: The Inconsistency of Optimal Plans. *The Journal of Political Economy*, Vol. 85, No. 3, pp: 473-492.
- [56] Lane, Phillip (2003). The Cyclical Behavior of Fiscal Policy: Evidence from the OECD. *Journal of Public Economics*, Vol. 87, pp. 2661–75.
- [57] Lane, Phillip, and Aaron Tornell (1999). The Voracity Effect. *American Economic Review*, Vol. 89 (1999), pp. 22-46.
- [58] Lucas, Robert (1972). Expectations and the Neutrality of Money. *Journal of Economic Theory*, Vol. 4, No. 2, pp: 103-124.
- [59] MacDonald, Ronald; and Jun Nagayasu (2000). The Long-Run Relationship between Real Exchange Rates and Real Interest Rate Differentials: A Panel Study. IMF Staff Paper 99/37.
- [60] Mishkin, Frederic S. (2007). *Monetary Policy Strategy*. MIT Press.
- [61] Morán, H. y Valle, H. (2002). Un modelo básico de política monetaria para Guatemala. Serie de Documentos de Trabajo del Banco de Guatemala, Documento de Trabajo No. 71.
- [62] Nessén, Mariane and David Vestin (2005). *Journal of Money, Credit and Banking*, Vol. 37, No. 5, Oct, pp. 837-863.
- [63] Osang, Thomas and Alfredo Marvao (1997). Foreign Growth and Domestic Performance in a Small Open Economy. *Journal of International Economics*, Vol. 43, pp: 499-512.
- [64] Rabanal, P. and J. Rubio-Ramírez (2005). Comparing New Keynesian Models of the Business Cycle: A Bayesian Approach. *Journal of Monetary Economics*, Vol. 52, No. 6, pp: 1151-66.
- [65] Reinhart, Carmen (2000), “The Mirage of Floating Exchange Rates”, *American Economic Review*, vol. 90, No. 2, May.
- [66] Rogoff, Kenneth (1985). The Optimal Degree of Commitment to an Intermediate Monetary Target. *The Quarterly Journal of Economics*, Vol. 100, No. 4, November, pp: 1169-1189.
- [67] Roubini, Nouriel, and Vittorio Grilli (1995). Liquidity Models in Open Economies: Theory and Empirical Evidence. NBER Working Papers Series No. 5313, National Bureau of Economic Research.
- [68] Salemi, M. (2006). Econometric Policy Evaluation and Inverse Control. *Journal of Money, Credit and Banking*, Vol. 38, No. 7, pp: 1737-64.

- [69] Smets, Frank and Raf Wouters (2002). An Estimated Stochastic Dynamic General Equilibrium Model of the Euro Area. European Central Bank Working Paper Series, Working Paper No. 171.
- [70] Smets, Frank and Raf Wouters (2003a). An Estimated Dynamic Stochastic General Equilibrium Model of the Euro Area, Journal of the European Economic Association 1 (5), September, pp. 1123-1175.
- [71] Smets, F. and Raf Wouters (2003b). Shocks and frictions in US business cycles: a Bayesian DSGE approach, mimeo, European Central Bank.
- [72] Smets, F. and Raf Wouters (2003c). Comparing shocks and frictions in US and euro business cycles: a Bayesian DSGE approach, Journal of Applied Econometrics vol. 20(2), pages 161-183.
- [73] Smith, Mark (2004). Impact of the Exchange Rate on Export Volumes. Reserve Bank of New Zealand Bulletin, Vol. 67, No. 1.
- [74] Talvi, Ernesto and Carlos Végh (2005). Tax Base Variability and Procyclical Fiscal Policy in Developing Countries. Journal of Development Economics, Vol. 78, No. 1, October, pp: 156-190.
- [75] Thomas R. (1996). Understanding broad money. Bank of England Quarterly Bulletin, Vol. 36.
- [76] Thomas R. (1997a). The Demand for M4: A Sector Analysis, Part 1: The Personal Sector. Bank of England Working Paper No. 61.
- [77] Thomas R. (1997b). The Demand for M4: A Sector Analysis, Part 2: The Corporate Sector. Bank of England Working Paper No. 62.
- [78] Thornton, Daniel (2001). Identifying the Liquidity Effect at the Daily Frequency. Federal Reserve Bank of St. Louis, July/August.
- [79] Timbergen, J. (1963). On the Theory of Economic Policy (North-Holland, 1963).
- [80] Truman, Edwin (2003). Inflation Targeting in the World Economy. Institute for International Economics, Washington D.C.
- [81] Valle, Héctor (2003). Pronósticos de inflación con modelos ARIMA y Vectores Autoregresivos en Guatemala. Serie de Documentos de Trabajo del Banco de Guatemala, Documento de Trabajo No. 76.

## APÉNDICE A

### A.1 Variables del Modelo DSGE

#### A.1.1 Variables Endógenas: en ecuaciones de comportamiento

$\hat{y}$	Brecha del producto
$\hat{c}$	Brecha del consumo e inversión del sector privado neto de importaciones
$\widehat{em}$	Brecha de la emisión monetaria
$\hat{c}r$	Brecha del crédito bancario al sector privado
$\widehat{mp}$	Brecha de los medios de pago (M2)
$\widehat{mc}$	Brecha del medio circulante (M1)
$\hat{x}$	Brecha de las exportaciones totales
$\hat{z}$	Brecha del tipo de cambio real
$\hat{g}$	Brecha del gasto público
$\widehat{de}$	Brecha de la deuda pública externa
$\widehat{di}$	Brecha de la deuda pública interna
$\widehat{it}$	Brecha de los ingresos tributarios
$\pi$	Inflación trimestral anualizada
$\pi_{interanual}$	Inflación interanual



$\pi^e$	Expectativas de inflación trimestral anualizadas
$\pi_{interanual}^e$	Expectativas de inflación interanuales
$\Delta fpi$	Variación trimestral anualizada en los precios internacionales de los bienes importados en el mercado interno
$i$	Tasa de interés nominal de política monetaria
$\hat{i}$	Brecha de la tasa de interés de política monetaria
$i_{tend}$	Componente tendencial de la tasa de interés nominal de política monetaria
$I$	Tasa de interés nominal de mercado de largo plazo
$rin$	Reservas monetarias internacionales (RIN)
$\Delta rin$	Variación trimestral anualizada de las reservas monetarias internacionales
$s^e$	Variación trimestral anualizada de las expectativas cambiarias
$\hat{s}$	Brecha del tipo de cambio nominal
$\hat{R}$	Brecha de la tasa de interés real de mercado de largo plazo

### A.1.2 Variables endógenas: definiciones

$\Delta y$	Variación trimestral anualizada del producto interno bruto guatemalteco
$\pi_{dev}$	Desvíos de la inflación respecto de su meta de largo plazo
$r$	Tasa de interés de política monetaria en términos reales
$\hat{r}$	Brecha de la tasa de interés de política monetaria en términos reales
$R$	Tasa de interés real de mercado de largo plazo
$s$	Tipo de cambio nominal
$s_{tend}$	Componente tendencial del tipo de cambio nominal
$\widehat{rin}$	Brecha de las reservas monetaria internacionales

$\Delta rin_{tend}$	Variación trimestral anualizada del componente tendencial de las RIN
---------------------	--

### A.1.3 Variables exógenas: en sus respectivas leyes de movimiento

$\Delta y_{tend}$	Variación trimestral anualizada del producto interno bruto potencial
$\bar{\pi}$	Meta de inflación
$R_{tend}$	Componente tendencial de la tasa de interés real de mercado de largo plazo
$term$	Prima por plazo
$prem$	Prima por riesgo país
$\Delta z_{tend}$	Variación trimestral anualizada del componente tendencial del tipo de cambio real
$\pi^*$	Inflación externa (promedio ponderado de las inflaciones de los principales socios comerciales de Guatemala)
$I^*$	Tasa de interés nominal externa de largo plazo (Libor a un año plazo)
$\hat{y}^*$	Brecha del producto externo (de los Estados Unidos de América)

### A.1.4 Otras definiciones

$IPC$	Índice de precios al consumidor
$r_{tend}$	Componente tendencial de la tasa de interés real de política monetaria
$rin_{tend}$	Componente tendencial de las reservas monetarias internacionales
$\Delta s$	Variación trimestral anualizada del tipo de cambio nominal

$\Delta s_{tnd}$	Variación trimestral anualizada del componente tendencial del tipo de cambio nominal
$z_{tend}$	Componente tendencial del tipo de cambio real
$z$	Tipo de cambio real
$y$	Producto interno bruto guatemalteco
$IPC^*$	Índice de precios al consumidor externo (promedio ponderado de los índices de precios de los principales socios comerciales de Guatemala)

## A.2 Ecuaciones del Modelo DSGE

### A.2.1 Ecuaciones de Comportamiento

Demanda agregada total (Brecha del producto)

$$\hat{y}_t = A_1 \hat{c}_t + A_2 \hat{x}_t + A_3 \hat{g}_t + \varepsilon_t^y \quad (1)$$

Demanda privada (Brecha del consume e inversión netos de importaciones)

$$\hat{c}_t = A_4 \hat{c}_{t-1} + (1 - A_4)(A_5 \widehat{mp}_t + A_6 \widehat{cr}_t) + \varepsilon_t^c \quad (2)$$

Demanda de exportaciones (Brecha de las exportaciones)

$$\hat{x}_t = A_7 \hat{x}_{t-1} + (1 - A_7)(A_8 \hat{z}_{t-1} + A_9 \hat{y}_{t-1}^*) + \varepsilon_t^x \quad (3)$$

Gasto público (Brecha de los gastos de gobierno)

$$\hat{g}_t = A_{10} \hat{g}_{t-1} + (1 - A_{10})(A_{11} \widehat{di}_t + A_{12} \widehat{de}_t + A_{13} \widehat{it}_t) + \varepsilon_t^g \quad (4)$$

Curva de Phillips

$$\pi_t = B_1 \pi_{t+1}^e + (1 - B_1)(\Delta fpi_t - z_{tend,t}) + B_2 \hat{y}_{t-1} + \varepsilon_t^\pi \quad (5)$$

Definición del tipo de cambio nominal del quetzal respecto del dólar estadounidense

$$s_t = s_{tend,t} + \hat{s}_t \quad (6)$$

Paridad descubierta de tasas de interés (*Uncovered Interest Rate Parity Condition, UIP*)

$$(I_t - I_t^*) = 4(s_t^e - s_{tend,t}) + prem_t + \varepsilon_t^s \quad (7)$$

Brecha del tipo de cambio nominal del quetzal respecto del dólar estadounidense

$$\hat{s}_t = E_1 \hat{s}_{t-1} + (1 - E_1)(E_2 \widehat{m}_t + E_3 \hat{y}_t^* + E_4 \widehat{r} \widehat{m}_t) + \varepsilon_t^{\hat{s}} \quad (8)$$

Función de reacción de la tasa de interés (regla de tasa de interés)

$$i_t = D_1 i_{t-1} + (1 - D_1)(i_{tend_t} + D_2(\pi_{t+4} - \bar{\pi}_{t+4}) + D_3 \hat{y}_t) + \varepsilon_t^i \quad (9)$$

Regla de intervención cambiaria

$$\Delta rin_t = H_1 \Delta rin_{t-1} + (1 - H_1) (\Delta rin_{tnd_t} + H_2(1 - \bar{s})(\Delta S_{t+1})) + \varepsilon_t^{rin} \quad (10)$$

Variación en los precios internacionales de los commodities expresada en moneda local

$$\Delta fpi_t = B_3(\Delta fpi_{t-1}) + (1 - B_3)(\pi_t^*) + B_4 \Delta S_t + B_5 \Delta \hat{y}_t + \varepsilon_t^{fpi} \quad (11)$$

Annualized Quarterly Inflation Expectations

$$\pi_t^e = B_6 \pi_{t+1} + (1 - B_6) \pi_{t-1} + \varepsilon_t^{\pi^e} \quad (12)$$

Interannual Inflation Expectations

$$\pi_{interannual,t}^e = B_7 \pi_{interannual,t+1} + (1 - B_7) \pi_{interannual,t-1} + \varepsilon_t^{\pi_{interannual}^e} \quad (13)$$

Curva de rendimientos

$$I_t = F_1 I_{t-1} + (1 - F_1)((i_{t-1} + i_t + i_{t+1} + i_{t+2})/4 + term_t) + \varepsilon_t^I \quad (14)$$

Brecha de la emisión monetaria

$$\widehat{em}_t = W_1 \widehat{em}_{t-1} + W_2 \widehat{rin}_t - W_3 \hat{i}_t + \varepsilon_t^{em} \quad (15)$$

Expectativas cambiarias

$$s_t^e = E_5 s_{t+1} + (1 - E_5)(s_{t-1} + 1/2(\Delta z_{tend_t} + \bar{\pi} + \pi_{ss}^*)) + \varepsilon_t^{s^e} \quad (16)$$

Brecha del tipo de cambio real

$$\hat{z}_t = E_6 z_{t-1} + (1 - E_6)(\Delta S_t + \pi_t^* - \pi_t - \Delta z_{tend,t}) \quad (17)$$

Brecha del medio circulante (M1)

$$\widehat{mc}_t = W_4 \widehat{mc}_{t-1} + (1 - W_4) \widehat{em}_t + \varepsilon_t^{\widehat{m}} \quad (18)$$

Brecha de la oferta monetaria total (medios de pago, M2)

$$\widehat{mp}_t = W_5 \widehat{mp}_{t-1} + (1 - W_5) \widehat{mc}_t + \varepsilon_t^{\widehat{m}} \quad (19)$$

Brecha del crédito bancario al sector privado

$$\widehat{cr}_t = W_6 \widehat{cr}_{t-1} + W_7 \hat{y}_{t-1} - W_8 \hat{R}_t - W_9 \hat{dl}_t + W_{10} \widehat{mp}_t + \varepsilon_t^{cred} \quad (20)$$

Brecha de la deuda pública interna

$$\widehat{d}i_t = Y_1 \widehat{d}i_{t-1} - (1 - Y_1) \widehat{y}_{t-1} + \varepsilon_t^{\widehat{d}i} \quad (21)$$

Brecha de la deuda pública externa

$$\widehat{d}e_t = Y_2 \widehat{d}e_{t-1} - (1 - Y_2) \widehat{y}_{t-1} + \varepsilon_t^{\widehat{d}e} \quad (22)$$

Brecha de los ingresos tributarios

$$\widehat{i}t_t = Y_3 \widehat{i}t_{t-1} + (1 - Y_3) \widehat{y}_{t-1} + \varepsilon_t^{\widehat{i}t} \quad (23)$$

## A.2.2 Ecuaciones de las variables exógenas

Tendencia de la tasa de interés real de largo plazo

$$R_{tend,t} = F_2 R_{tend,t-1} + (1 - F_2) ((r_{tend,t-1} + r_{tend,t} + r_{tend,t+1} + r_{tend,t+2})/4 + term_t) \quad (24)$$

Variación trimestral anualizada del producto potencial

$$\Delta y_{tend,t} = T_1 \Delta y_{tend,t-1} + (1 - T_1) \Delta y_{ss} + \varepsilon_t^{\Delta y_{tnd}} \quad (25)$$

Variación trimestral anualizada de la tendencia del tipo de cambio real

$$\Delta z_{tend,t} = T_2 \Delta y_{tend,t-1} + (1 - T_2) \Delta z_{ss} + \varepsilon_t^{\Delta z_{tnd}} \quad (26)$$

Meta de inflación

$$\bar{\pi}_t = T_3 \bar{\pi}_{t-1} + (1 - T_3) \pi_{ss} + \varepsilon_t^{\bar{\pi}} \quad (27)$$

Prima por plazo

$$term_t = T_4 term_{t-1} + (1 - T_4) term_{ss} + \varepsilon_t^{term} \quad (28)$$

Prima por riesgo país

$$prem_t = T_5 prem_{t-1} + (1 - T_5) prem_{ss} + \varepsilon_t^{prem} \quad (29)$$

Variación del componente tendencial de las reservas monetarias internacionales

$$\Delta rin_{tend,t} = T_6 \Delta rin_{tend,t-1} + \varepsilon_t^{rin_{tnd}} \quad (30)$$

Inflación externa

$$\pi_t^* = A_1^* \pi_{t-1}^* + (1 - A_1^*) \pi_{ss}^* + \varepsilon_t^{\pi^*} \quad (31)$$



Tasa de interés externa real de largo plazo

$$I_t^* = B_1^* I_{t-1}^* + (1 - B_1^*) (R_{ss}^* + \pi_{ss}^*) + \varepsilon_t^{I^*} \quad (32)$$

Brecha del producto externo

$$\hat{y}_t^* = C_1^* \hat{y}_{t-1}^* + \varepsilon_t^{\hat{y}^*} \quad (33)$$

### A.2.3 Definiciones de variables endógenas

Tasa de crecimiento trimestral del producto interno bruto

$$\Delta y_t = \Delta y_{tend,t} + 4(\hat{y}_t - \hat{y}_{t-1}) \quad (34)$$

Desvíos de la inflación esperada respecto de la meta de largo plazo

$$\pi_{dev,t} = \pi_{interanual,t+4} - \bar{\pi}_{t+4} \quad (35)$$

Definición de la tasa de interés de política monetaria

$$i_t = i_{tend,t} + \hat{i}_t \quad (36)$$

Ecuación de Fisher de corto plazo

$$r_t = i_t - \pi_{t,t}^e \quad (37)$$

Brecha de la tasa de interés real de corto plazo

$$\hat{r}_t = r_t - r_{tend,t} \quad (38)$$

Ecuación de Fisher de largo plazo

$$R_t = I_t - \pi_{interanual,t}^e \quad (39)$$

Brecha de la tasa de interés real de largo plazo

$$\hat{R}_t = R_t - R_{tend,t} \quad (40)$$

Brecha de las reservas monetarias internacionales

$$\widehat{rin}_t = rin_t - rin_{tend,t} \quad (41)$$

## A.2.4 Otras definiciones

Inflación trimestral anualizada

$$\pi_t = 4(IPC_t - IPC_{t-1}) \quad (42)$$

Inflación interanual

$$\pi_{interanual,t} = (IPC_t - IPC_{t-4}) \quad (43)$$

Variación trimestral anualizada del tipo de cambio nominal

$$\Delta s_t = 4(s_t - s_{t-1}) \quad (44)$$

Variación trimestral anualizada de la tendencia del tipo de cambio nominal

$$\Delta s_{tend,t} = 4(s_{tend,t} - s_{tend,t-1}) \quad (45)$$

Variación trimestral anualizada de las reservas monetarias internacionales

$$\Delta rin_t = 4(rin_t - rin_{t-1}) \quad (46)$$

Variación trimestral anualizada del componente tendencial de las RIN

$$\Delta rin_{tnd,t} = 4(rin_{tnd,t} - rin_{tnd,t-1}) \quad (47)$$

Variación trimestral anualizada de la tendencia del tipo de cambio real

$$\Delta z_{tend,t} = 4(z_{tend,t} - z_{tend,t-1}) \quad (48)$$

Definición del tipo de cambio real

$$z_t = z_{tend,t} + \hat{z}_t \quad (49)$$

Tendencia de la tasa de interés real de corto plazo

$$r_{tend,t} = i_{tend,t} - \bar{\pi}_{t+1} \quad (50)$$

Paridad descubierta de la tasa de interés real de largo plazo

$$r_{tend,t} - R_{ss}^* = \Delta z_{tend,t+1} - term_t + prem_t \quad (51)$$

Variación trimestral anualizada del producto interno bruto

$$\Delta y_t = 4(y_t - y_{t-1}) \quad (52)$$

Inflación externa

$$\pi_t^* = 4(IPC_t^* - IPC_{t-1}^*)$$

(53)

### A.3 Definición de los parámetros del modelo DSGE

Parámetro	Definición
$A_1$	Proporción del consumo y la inversión del sector privado netos de importaciones en el producto interno bruto (PIB) de Guatemala
$A_2$	Proporción de las exportaciones totales en el PIB
$A_3$	Proporción del gasto público en el PIB
$A_4$	Persistencia del consumo y la inversión del sector privado
$A_5$	Elasticidad del consumo y la inversión del sector privado respecto de la emisión monetaria
$A_6$	Elasticidad del consumo y la inversión del sector privado respecto del crédito bancario al sector privado
$A_7$	Persistencia de las exportaciones totales
$A_8$	Elasticidad de las exportaciones totales al tipo de cambio real
$A_9$	Elasticidad de las exportaciones totales a la demanda externa
$A_{10}$	Persistencia del gasto público
$A_{11}$	Elasticidad del gasto público respecto de la deuda pública interna
$A_{12}$	Elasticidad del gasto público respecto de la deuda pública externa
$A_{13}$	Elasticidad del gasto público respecto de los ingresos tributarios
$B_1$	Importancia de las expectativas de inflación en la inflación interna
$B_2$	Importancia de los factores de demanda en la inflación interna

$B_3$	Persistencia de los precios internacionales de los bienes importados en el mercado interno
$B_4$	Elasticidad de los precios internacionales de los bienes importados en el mercado interno al tipo de cambio
$B_5$	Elasticidad de los precios internacionales de los bienes importados en el mercado interno a la actividad económica externa
<b>Parámetro</b>	<b>Definición</b>
$B_6$	Persistencia de las expectativas de inflación trimestrales
$B_7$	Persistencia de las expectativas de inflación interanuales
$D_1$	Preferencia del banco central por ajustes graduales de la tasa de interés de política monetaria
$D_2$	Reacción del banco central ante desvíos de la inflación respecto de su meta
$D_3$	Reacción del banco central ante la brecha del producto
$E_1$	Persistencia de la brecha del tipo de cambio nominal
$E_2$	Elasticidad del tipo de cambio nominal al medio circulante
$E_3$	Elasticidad del tipo de cambio nominal al producto externo
$E_4$	Elasticidad del tipo de cambio nominal a fluctuaciones en las RIN
$E_5$	Elasticidad de las expectativas cambiarias al tipo de cambio esperado
$E_6$	Persistencia del tipo de cambio real
$F_1$	Persistencia de la tasa de interés nominal de largo plazo
$F_2$	Persistencia de la tasa de interés real de largo plazo
$H_1$	Persistencia de las reservas monetarias internacionales
$H_2$	Reacción del banco central a fluctuaciones cambiarias por arriba de lo permisible

$W_1$	Persistencia de la brecha de la emisión monetaria
$W_2$	Elasticidad de la emisión monetaria a la tasa de interés de política monetaria (Efecto Liquidez)
$W_3$	Elasticidad de las expectativas cambiarias al rezago del tipo de cambio nominal
$W_4$	Persistencia de la brecha del medio circulante
<b>Parámetro</b>	<b>Definición</b>
$W_5$	Persistencia de la brecha de la oferta monetaria
$W_6$	Persistencia de la brecha del crédito bancario al sector privado
$W_7$	Elasticidad del crédito bancario al sector privado a la tasa de interés real
$W_8$	Elasticidad del crédito bancario al sector privado a la deuda interna
$W_9$	Elasticidad del crédito bancario al sector privado a los medios de pago
$W_{10}$	Elasticidad del crédito bancario al sector privado a la actividad económica interna
$Y_1$	Persistencia de la brecha de la deuda pública interna
$Y_2$	Persistencia de la brecha de la deuda pública externa
$Y_3$	Persistencia de la brecha de los ingresos tributarios
$T_1$	Persistencia de la tasa de crecimiento del producto potencial
$T_2$	Persistencia del componente tendencial del tipo de cambio real
$T_3$	Velocidad de convergencia de la inflación hacia su meta
$T_4$	Persistencia de la prima por plazo
$T_5$	Persistencia de la prima por riesgo país
$T_6$	Persistencia del componente tendencial de las RIN
$A_1^*$	Persistencia de la inflación externa



$B_1^*$	Persistencia de la tasa de interés nominal externa
$C_1^*$	Persistencia de la brecha de la demanda externa

#### A.4 Definiciones y valores de los estados estacionarios

Parámetro	Definición	Valor (%)
$\bar{\pi}$	Meta de inflación	4.0
$\bar{s}$	Fluctuación permisible del tipo de cambio nominal	0.0
$\bar{\Delta y}$	Estado estacionario de la tasa de crecimiento económico interno	3.5
$\bar{\Delta z}_{tnd}$	Estado estacionario de la depreciación del tipo de cambio real	-2.5
$\bar{prem}$	Estado estacionario de la prima por riesgo país	11.5
$\bar{term}$	Estado estacionario de la prima por plazo	7.0
$\bar{\pi}^*$	Estado estacionario de la inflación externa	1.5
$\bar{R}^*$	Estado estacionario de la tasa de interés real externa	0.0

#### A.5 Definiciones de los choques exógenos

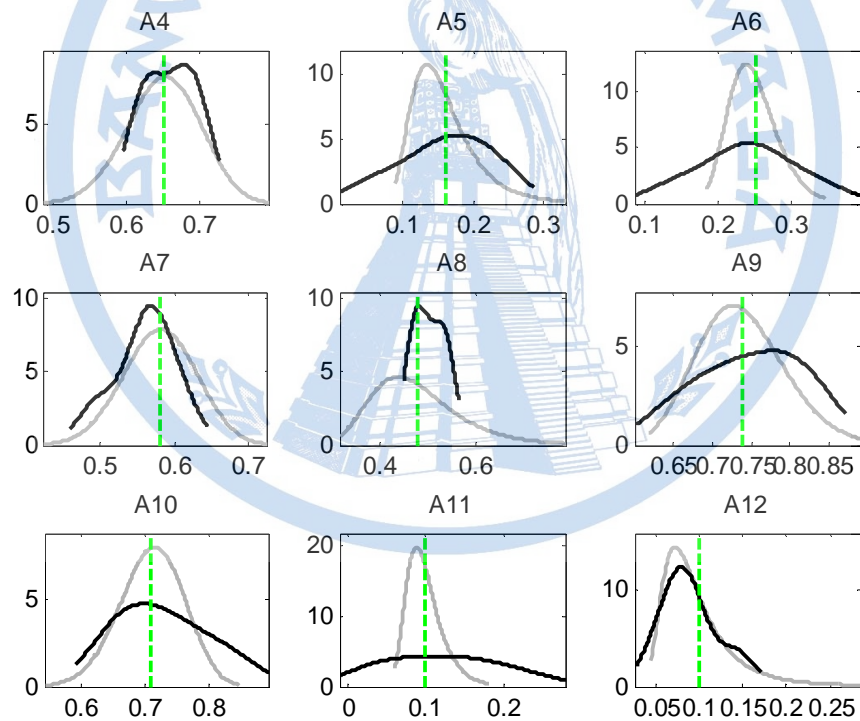
Choque	Definición
$\varepsilon_t^y$	Choque a la brecha del producto
$\varepsilon_t^c$	Choque a la brecha del consumo e inversión privados
$\varepsilon_t^x$	Choque a la brecha de las exportaciones totales
$\varepsilon_t^g$	Choque a la brecha del gasto público

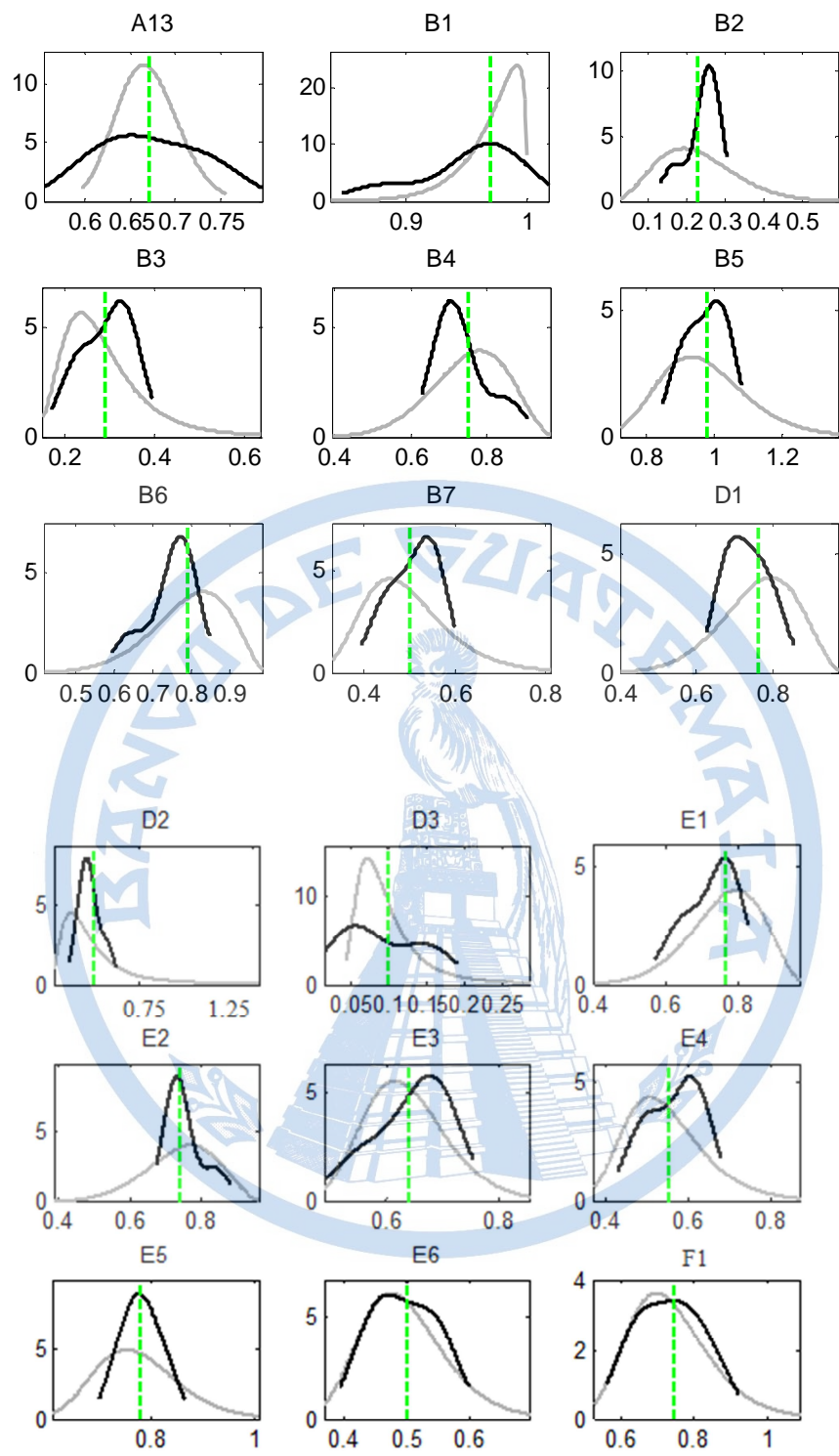
$\varepsilon_t^\pi$	Choque a la Curva de Phillips
$\varepsilon_t^{pet}$	Choque a las variaciones en los precios internacionales del petróleo
$\varepsilon_t^{\pi^e}$	Choque a las expectativas de inflación trimestrales
$\varepsilon_t^{\pi^e_{interanual}}$	Choque a las expectativas de inflación interanuales
$\varepsilon_t^i$	Choque a la regla de tasa de interés
$\varepsilon_t^{rin}$	Choque a la regla de intervención cambiaria
<b>Choque</b>	<b>Definición</b>
$\varepsilon_t^l$	Choque a la curva de rendimientos
$\varepsilon_t^{forex}$	Choque a la paridad descubierta de tasas de interés
$\varepsilon_t^s$	Choque al tipo de cambio nominal
$\varepsilon_t^{\hat{s}}$	Choque a la brecha del tipo de cambio nominal
$\varepsilon_t^{s^e}$	Choque a las expectativas cambiarias
$\varepsilon_t^{\hat{z}}$	Choque a la brecha del tipo de cambio real
$\varepsilon_t^{em}$	Choque a la brecha de la emisión monetaria
$\varepsilon_t^{\hat{m}}$	Choque a la brecha de la oferta monetaria total
$\varepsilon_t^{cred}$	Choque a la brecha del crédito bancario al sector privado
$\varepsilon_t^{\hat{t}}$	Choque a la brecha de los ingresos tributarios
$\varepsilon_t^{\hat{di}}$	Choque a la brecha de la deuda pública interna
$\varepsilon_t^{\hat{de}}$	Choque a la brecha de la deuda pública externa
$\varepsilon_t^{rintnd}$	Choque a la tendencia de las reservas monetarias internacionales
$\varepsilon_t^{\Delta y_{tnd}}$	Choque al producto potencial
$\varepsilon_t^{\Delta z_{tnd}}$	Choque a las variaciones en la tendencia del tipo de cambio real
$\varepsilon_t^{\bar{\pi}}$	Choque a la meta de inflación

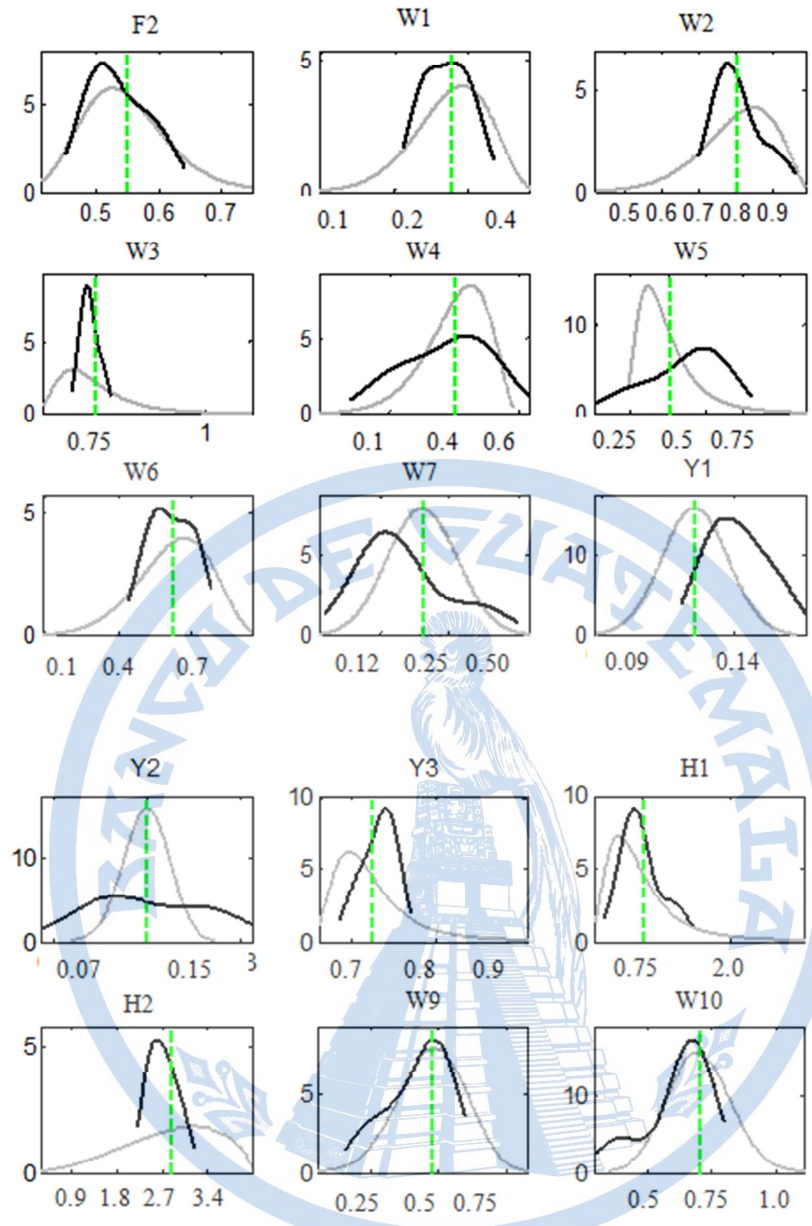
$\varepsilon_t^{term}$	Choque a la prima por plazo
$\varepsilon_t^{prem}$	Choque a la prima por riesgo país
$\varepsilon_t^{\pi^*}$	Choque a la inflación externa
$\varepsilon_t^{I^*}$	Choque a la tasa de interés externa nominal de largo plazo
$\varepsilon_t^{\hat{y}^*}$	Choque a la brecha del producto externo

## A.6 Distribuciones posteriores y parámetros bayesianos estimados

Las distribuciones a priori se identifican por medio de las líneas tenues, mientras que las distribuciones posteriores se identifican por medio de las líneas más oscuras. El valor modal de la distribución posterior se indica por medio de la línea vertical.



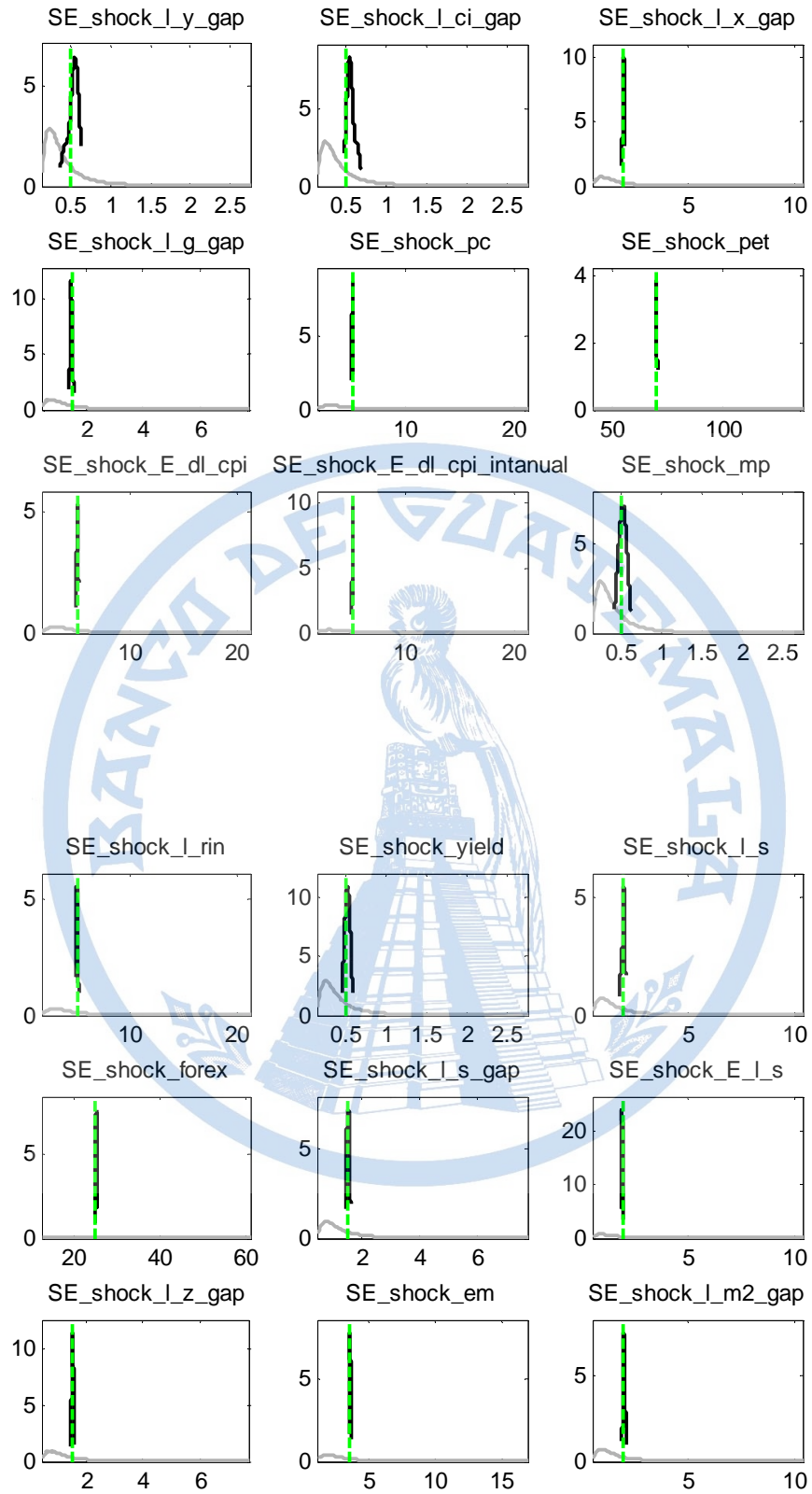


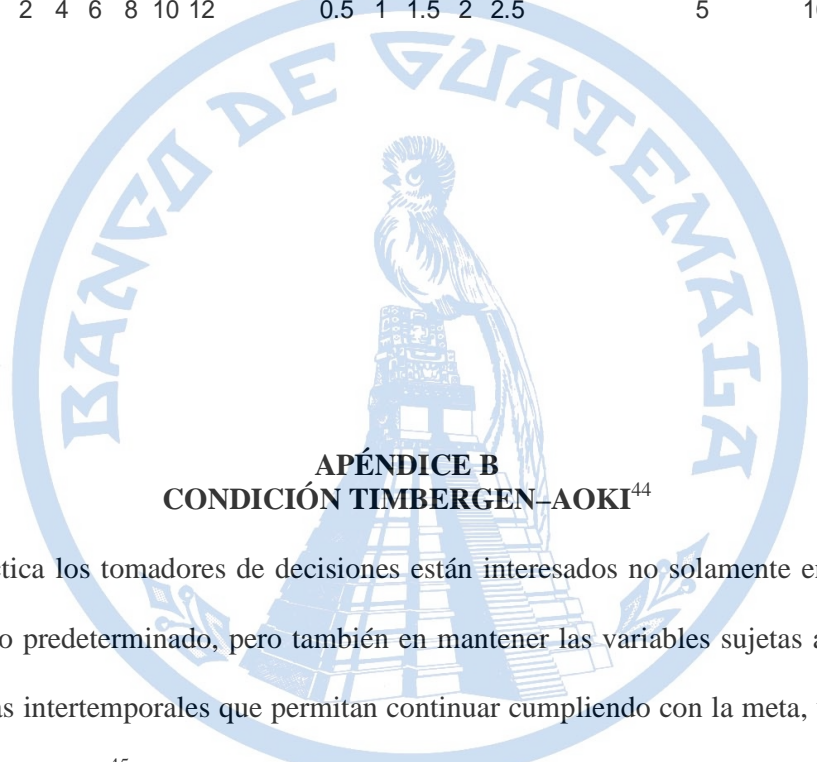
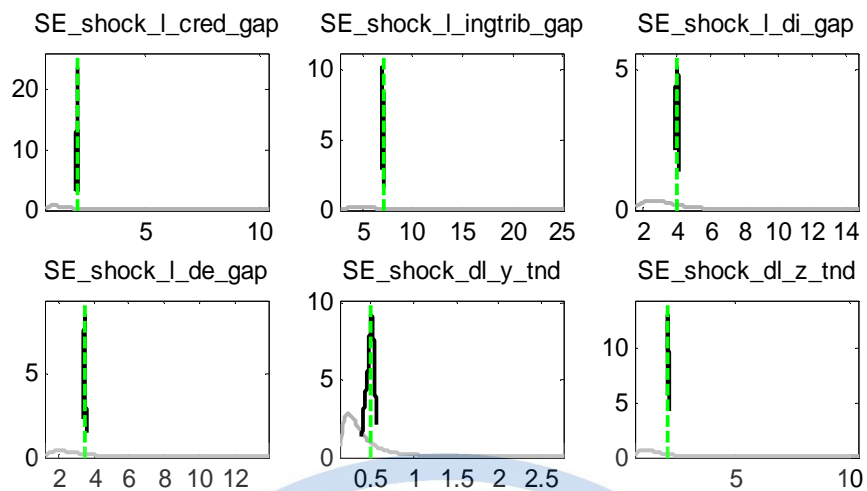


## A.7 Distribuciones posteriores de los choques exógenos

Las distribuciones a priori se identifican por medio de las líneas tenues, mientras que las distribuciones posteriores se identifican por medio de las líneas más oscuras. El valor modal de la distribución posterior se indica por medio de la línea vertical.







**APÉNDICE B**  
**CONDICIÓN TIMBERGEN-AOKI<sup>44</sup>**

En la práctica los tomadores de decisiones están interesados no solamente en alcanzar un objetivo predeterminado, pero también en mantener las variables sujetas a meta, en trayectorias intertemporales que permitan continuar cumpliendo con la meta, una vez la misma es obtenida.<sup>45</sup> En este apartado se describirán las condiciones que requieren los tomadores de decisiones para que las variables objetivo, así como las condiciones de estado estacionario, sigan una trayectoria predeterminada o “controlable” a lo largo del tiempo. Debido a que ello requiere de la condición original de Tinbergen para la

<sup>44</sup> Este apartado se basa en: Aoki, Masanao (1975). *On a Generalization of Tinbergen's Condition in the Theory of Policy to Dynamic Models*. The Review of Economic Studies, Vol. 42, No. 2 (Abril 1975), pp. 293-296.

<sup>45</sup> Por ejemplo, los tomadores de decisiones están interesados no solamente, en alcanzar una meta de inflación o un nivel de reservas monetarias internacionales (RIN) predeterminado, pero también en mantener dichos valores/niveles para la inflación/RIN a lo largo del tiempo, una vez los mismos se han obtenido.

efectividad de la política económica, la condición que se deriva en el presente apartado puede considerarse como una generalización de dicha condición para sistemas dinámicos.<sup>46</sup>

## MODELOS ECONÓMICOS LINEALES

### Control de resultados

Considerar el modelo macroeconómico que se describe en la Ecuación (A1):

$$\left. \begin{array}{l} \dot{x} = Ax + Bg \\ y = Cx \end{array} \right\} \quad (A1)$$

Donde A y B son matrices de constantes reales de dimensión  $n \times n$ , mientras que C es una matriz de constantes reales de dimensión  $m \times n$ . El vector “x”, de dimensión n, es el vector de variables de estado, “g” es el vector de instrumentos (controles), y “y” es el vector de variables objetivo (metas) de política económica. Adicionalmente, se asume que el resultado del sistema es controlable,<sup>47</sup> lo cual requiere que el rango (*rank*) de la matriz de resultados sea completo (*full-rank*):

$$\text{Rango}(CB, CAB, \dots, CA^{n-1}B) = m \quad (A2)$$

Por lo tanto, si el resultado de un sistema es controlable, dado cualquier vector constante de dimensión m, tal como  $f^d$ , existe un tiempo finito, T, y el vector de instrumentos  $g(s)$ , donde  $0 \leq s \leq T$ , tal que:

$$y(T) = f^d \quad (A3)$$

Cabe indicar que muchos economistas no se dan cuenta que el valor  $f^d$  podría no ser mantenido invariable a lo largo de un intervalo de tiempo. Es decir, podría no existir un vector de instrumentos a lo largo del intervalo  $[T, T + \delta]$ , tal que:

<sup>46</sup> La condición de Tinbergen para la efectividad de la política económica fue establecida formalmente en Tinbergen, J. (1963). *On the Theory of Economic Policy*, North-Holland. Dicha condición establece que para el logro efectivo de n objetivos, los tomadores de decisiones deben establecer un número equivalente (n) de instrumentos. Es decir, un instrumento para el logro de cada objetivo.

<sup>47</sup> Un sistema dinámico es controlable si es posible dirigir el sistema dinámico de un estado inicial arbitrario hacia un estado final arbitrario utilizando un conjunto de controles admisibles.

$$y(t) = f^d, \quad T \leq t \leq T+\delta \quad (A4)$$

para  $\delta > 0$ . De manera más general, la Ecuación (2) no implica la existencia de un vector de instrumentos, tal que:

$$y(t) = f^d(t), \quad T \leq t \leq T+\delta \quad (A5)$$

para  $\delta > 0$ , donde  $f^d(t)$  es la trayectoria intertemporal deseada para las variables objetivo.

### Control perfecto de resultados

Las condiciones para obtener los resultados descritos por las ecuaciones (A4) y (A5) han sido definidas previamente por la teoría de control óptimo.<sup>48</sup> Esas condiciones se denominan “control perfecto de resultados”. Cabe indicar que cuando el objetivo es una variable escalar, tal como  $m=1$ , las condiciones de control perfecto de resultados se reducen a lo establecido por la ecuación (A2).

Asumamos que  $f^d(t)$  es la trayectoria intertemporal deseada del vector de variables objetivo. Por lo tanto, el vector de errores, cuando el vector de instrumentos es equivalente a  $g^0$ , se define de la siguiente manera:

$$E(t; g^0) = f^d(t) - C\varphi(t; g^0, x^0, 0) \quad (A6)$$

Donde:

$$\varphi(t; g^0, x^0, 0) = e^{At}x^0 + e^{At} \int_0^t e^{As}B g^0(s)ds \quad (A7)$$

Donde  $g^0$  equivale a los valores históricos, a lo largo del tiempo, del vector de instrumentos. En este sentido, la pregunta que es necesario responder es la siguiente: para cualquier  $\eta > 0$ , y  $\tau > 0$ , ¿Existe un valor  $\delta(\eta, \tau) > 0$  y  $g(t)$  en el intervalo  $T \leq t \leq T+\tau$ , tal que  $\|E(t; g)\| < \delta(\eta, \tau)$  en el intervalo  $T \leq t \leq T+\tau$ ?<sup>49</sup>

<sup>48</sup> Ver Basile y Marro (1971), y Brockett y Mesarovic (1965).

<sup>49</sup> Dónde  $\|\cdot\|$  es una norma apropiadamente definida, por ejemplo:

Asumamos en primer lugar que  $D(t) = f^d(t) - Ce^{At}x^0$ . Por lo tanto, si utilizamos el argumento “s” para definir la Transformación de Laplace,  $E(t; g) = 0$ , ello implica que:

$$D(s) = N(s)g(s), \text{ donde } N(s) = C(sI-A)^{-1}B \quad (A8)$$

Si la matriz  $N(s)$ , de dimensión  $m \times r$ , tiene un rango  $m$ , entonces existe  $g(s)$  que satisface la ecuación (A8), el cual se define de la siguiente forma:  $g(s) = N^T(s)[N(s)N(s)^T]^{-1}D(s)$ . Por lo tanto, el rango  $N = m$  si y solo si, el rango  $M_n$  de la Ecuación (9) es igual a  $mn$ .

**Prueba.** El rango de  $N$  es igual a  $m$ , si y solo si, no existe un vector de fila de dimensión  $m$ , denominado  $K(s)$ , tal que  $K(s)N(s) \equiv 0$ . Dado que  $N(s)$  es racional en  $s$ , sin pérdida de generalidad podemos asumir que  $K(s)$  es de la siguiente forma:  $K_0 + K_1s + \dots + K_{q-1}s^{q-1}$ , para cualquier valor de  $q$ . De la ecuación (8) se deduce la existencia de una expresión  $K(s)$ , tal que  $K(s)D(s) = 0$ . En este sentido,  $D(t)$  satisface una ecuación diferencial de la siguiente forma:  $K_q D_{(q-1)}(t) + \dots + K_0 D(t) \equiv 0$ . Por lo tanto, al expresar las derivadas de  $D$  en términos equivalentes a las de  $g(s)$ , se observa que la expresión  $K(s)$  no existe, si y solo si, el rango de  $M_q$  es igual a  $mq$ , donde  $M_q$  se define análogamente a  $M_n$ . Por consiguiente,  $\text{rango } M_q = \text{rango } M_n = mn$ , para  $q \geq n$ .

**Proposición 1.**  $C(sI-A)^{-1}B$  es de rango  $m$ , si y solo si, la matriz  $M_n$  es de rango  $mn$ , donde la matriz  $M_n$ , de dimensión  $mn \times (2n-1)r$  se define de la siguiente manera:

$$M_n = \begin{bmatrix} CB & CAB & \dots & \dots & CA^{2n-2}B \\ \vdots & \vdots & \dots & \dots & CA^{2n-3}B \\ 0 & \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ 0 & CB & CAB & \dots & CA^{n-1}B \end{bmatrix} \quad (A9)$$

**Corolario 1.** Si el rango  $M_n = mn$  entonces el modelo macroeconómico que se describe en la ecuación (A1) tiene un resultado controlable.

---


$$E(g) = \max_{0 \leq k \leq n} \sup_{0 \leq t \leq \infty} |E^{(k)}(t; g)|$$



**Corolario 2.** El modelo macroeconómico que se describe en la ecuación (A1) tiene un resultado perfectamente controlable solamente si  $m \leq (2 - 1/n)r$ , o solamente si el número de variables objetivo es menor que o igual al número de instrumentos.

Por lo tanto, cuando los tomadores de decisiones desean establecer una trayectoria intertemporal para las variables objetivo (meta), se requiere que el número de instrumentos establecidos para el logro de dichos objetivos, sea mayor o igual al número de variables objetivo.

