Estimando fricciones nominales y reales para Bolivia

Martín Vallejos*

* El contenido del presente documento es de responsabilidad del autor y no compromete la opinión de ninguna otra institución.
Comentarios y sugerencias adicionales son bienvenidos a: m.vallejos@outlook.es.
Nota. El autor del presente documento fue ganador del primer puesto en la categoría Tema Central del 9no Encuentro de Economistas de Bolivia organizado por el Banco Central de Bolivia los días 6 y 7 de octubre de 2016 en la ciudad de Oruro, Bolivia.

Resumen

En una economía pequeña y abierta, se presentan varias fricciones nominales y reales que generan distorsiones en la función de bienestar económico social. El objeto del presente trabajo es estimar la duración y magnitud de estas rigideces mediante un modelo DSGE para la economía boliviana; luego, se analiza las fuerzas y mecanismos que inciden en la trayectoria de las principales variables de interés a través de la Función Impulso Respuesta. En este sentido, se estima parámetros de reacción del sector fiscal y monetario ante distintos *shocks* que se presentan en la economía. Los principales resultados muestran que las rigideces de salarios y precios son elementos importantes para diseñar las políticas económicas en Bolivia. Por otro lado, los *shocks* analizados sugieren que las políticas fiscal y monetaria deben ser coordinadas en la ejecución de sus instrumentos para alcanzar sus objetivos de forma eficiente y simultánea.

Clasificación JEL: *C11, C61, C87, E42, E47, E61*

Palabras clave: *Economía abierta, modelos macroeconómicos, estimación bayesiana, política monetaria, política fiscal*

Estimating nominal and real frictions for Bolivia

Abstract

In a small and open economy, there are several nominal and real frictions that generate distortions in the social-economic welfare function. The objective of the present work is to estimate the duration and magnitude of these rigidities through a DSGE model for the Bolivian economy; then, we analyze the forces and mechanisms that influence on the path of the main variables of interest through the Impulse-Response Function. In this sense, parameters of reaction of the fiscal and monetary sectors to different shocks that appear in the economy are estimated. The main results show that rigidity of wages and prices is an important element in designing economic policies in Bolivia. On the other hand, the shocks analyzed suggest that fiscal and monetary policies must be coordinated for the implementation of their instruments in order to achieve their objectives efficiently and simultaneously.

JEL Classification: *C11, C61, C87, E42, E47, E61*

Keywords: *Open economy, macroeconomic models, bayesian estimation, monetary policy, fiscal policy*

I. Introducción

Durante los últimos años, ha crecido el interés sobre el estudio de la extensión y magnitud de la rigidez de precios y salarios, tanto nominales y reales y la interacción de la política fiscal y monetaria.

Estos elementos se han convertido en una estrategia clave para controlar los ciclos económicos y de esa manera elevar el nivel de bienestar económico social dada la estructura económica de un país. Bolivia no ha sido la excepción. Por el lado monetario, el Banco Central de Bolivia (BCB) en coordinación con el Ministerio de Economía y Finanzas Públicas (MEFP) establecen la ejecución del Programa Fiscal Financiero (PFF) a principios de cada año, donde se prevé los principales indicadores económicos en el marco de contribuir al desarrollo económico social; por otro lado, el sector monetario mantiene una política expansiva orientada al sector productivo. Por el lado fiscal, a partir de 2006 con la implementación del Modelo Económico Social Comunitario y Productivo (MESCP), el Estado se transformó en el principal actor fundamental de la economía que incluso juega el rol de corrector de fallas de mercado (Bolívar & Ugarte, 2015); el Estado, considerado como el principal agente representativo del mercado, toma las decisiones para dinamizar el sector estratégico[1] con el fin de alcanzar mayor desarrollo económico social. En ese sentido, surgen las preguntas como: ¿cuál es la importancia de la rigidez de precios y salarios en el diseño de política monetaria en coordinación con el Estado?, ¿es relevante la interacción de políticas fiscal y monetaria para suavizar los ciclos y garantizar la estabilidad económica que incentive al mayor desarrollo económico?

Para responder a estas interrogantes, el presente trabajo tiene como principal propósito plantear y estimar un Modelo de Equilibrio General Dinámico Estocástico (DSGE, por sus siglas en inglés) con rigideces en precios y salarios de pequeña escala. Para ello se utiliza técnicas bayesianas, donde primero se estructura los parámetros *a priori* para luego obtener valores posteriores mediante el método de Markov–Chain Monte Carlo (MCMC) y el algoritmo de Metrópolis-Hastings

1 Es donde se genera la mayor parte del excedente del país; para más detalle ver Arce (2016).

(MH). Para la estimación de parámetros se utiliza variables de frecuencia trimestral entre 1996:Q1 hasta 2015:Q2; dichas series se obtuvieron del BCB, Instituto Nacional de Estadísticas (INE), Unidad de Análisis de Políticas Sociales y Económicas (UDAPE) y *World Economic Outlook* del Fondo Monetario Internacional (WEO-IMF). Algunas series originales presentan conductas de estacionalidad, para lo cual se aplicaron procedimientos de desestacionalización como CensusX–12, luego se aplicaron logaritmos y finalmente se extrajeron sus componentes tendencial y cíclico, utilizando filtros como Hodrick-Prescott, Christiano-Fitzgerald y Baxter-King. Después de esta introducción el trabajo se divide en seis partes; en la parte II se hace una revisión a la literatura; en la parte III se describe hechos estilizados; en la parte IV se estructura el modelo teórico DSGE, se discute el ámbito de econometría, se estima y se calibra los parámetros; en la parte V se muestra los resultados del modelo DSGE, y en la parte VI se realizan algunos comentarios finales.

II. Revisión de la literatura

En los años 1960 y 1970, la economía mundial ingresó en una desaceleración donde los modelos macroeconómicos tradicionales han sido incapaces de dar solución y fueron objeto de muchas críticas; la necesidad de un nuevo paradigma surgió y se convirtió en una herramienta clave para los macroeconomistas. Kydland y Prescott (1982) en un artículo seminal, fueron los primeros en proponer la estimación del modelo DSGE, micro-fundamentado y con agentes optimizadores en contribución a ciclos económicos reales (RBC, por sus siglas en inglés)[2].

La publicación de este trabajo pronto se convirtió en una herramienta importante para el análisis de fluctuaciones macroeconómicas que integra estudios sobre el crecimiento económico de largo plazo y las fluctuaciones en el corto plazo; estos autores aseveran que los *shocks*

2 Cabe mencionar que los modelos teóricos de DSGE parten de los trabajos de Ramsey (1928); posteriormente fue profundizado por Cass (1965), Koopmans (1965) y Brock y Mirman (1972) realizaron contribuciones en la línea de Ramsey. No obstante, por los avances informáticos, los modelos DSGE recobran mayor protagonismo a partir de la década de los 80, específicamente con el trabajo de Kydland & Prescott (1982) que se enmarca dentro de la teoría de RBC.

tecnológicos son clave para el crecimiento de largo plazo, pero también señalan que al mismo tiempo puede generar fluctuaciones de corto plazo. El enfoque de RBC está orientado al análisis del sector real y bajo una economía de competencia perfecta con precios flexibles. No obstante, aunque fue fundamental su contribución metodológica de RBC, pronto se evidenció que era insuficiente, especialmente para el análisis de la economía imperfecta; dicha situación generó un nuevo debate en el campo macroeconómico.

A principios de la década de los 90 surgió un nuevo pensamiento macroeconómico llamado la Nueva Macroeconomía Keynesiana (NKM, por sus siglas en inglés); este nuevo pensamiento fue un gran éxito, no solo en la parte académica, sino también en las instituciones de formulación de políticas económicas. Este enfoque introdujo nuevos supuestos, aunque con algunos fundamentos basados en RBC; los principales supuestos que diferencia son: las rigideces nominales y reales, siendo estas la clave para entender el mundo real; dichos elementos adicionales se han introducido para generar el grado de persistencia que se observa en la inflación, salarios reales y el producto (Caputo et al., 2006); sobre esta línea se introdujo la competencia monopolística con varios tipos de rigideces nominales y reales, así como un amplio conjunto de *shocks*. Algunos ejemplos de introducción de precios rígidos es: Calvo (1983), Abel (1990) y Erceg et al. (2000) entre otros, que han demostrado la importancia de tomar en cuenta la dinámica de la inflación y del producto, así como la indexación de precios de salario, la inclusión de costos de ajustes de inversión y la persistencia de los hábitos de consumo; por otro lado Christiano et al. (2005) mejoraron la capacidad de modelos DSGE para capturar la persistencia de la inflación y la dinámica de la inversión.

Los modelos DSGE de paradigma neokeynesiano, hoy por hoy son una herramienta atractiva, muy útil para la modelización macroeconómica moderna, debido a que permiten analizar la efectividad de las políticas económicas diseñadas para una economía a través de las perturbaciones estocásticas, y han servido para un conjunto de ejercicios de previsiones. Por otro lado, el desarrollo teórico de los modelos DSGE, ha sido acompañado por

la evolución de técnicas econométricas; dichas técnicas se fueron ampliando en su ámbito de aplicación, no solo por ser consistentes, sino que han demostrado la calidad y eficiencia en ajustar los datos a la teoría económica. Estas herramientas en la actualidad, se basan en técnicas bayesianas, las mismas que han demostrado ser superiores a las clásicas. Los resultados de modelos DSGE con técnicas bayesianas se pueden encontrar en diferentes trabajos de investigación de referencia como: Smets y Wouters (2003), Fernández-Villaverde y Rubio-Ramírez (2004) Caputo et al. (2006), Adolfson et al. (2007) entre otros.

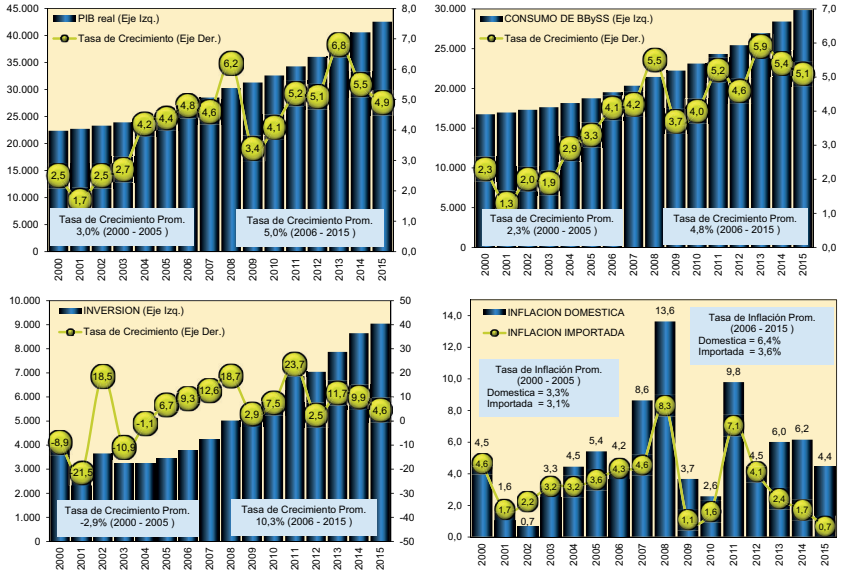
Para el caso boliviano, los modelos DSGE fueron poco utilizados; por ejemplo, Vargas (2010) plantea un modelo DSGE del enfoque neoclásico, donde, mediante la simulación logra reproducir el comportamiento en estado estacionario de los principales agregados económicos, llegando a la principal conclusión que la economía boliviana tiene bajo nivel de crecimiento y poco volátil. Por su parte Cerezo (2010) desarrolla un modelo DSGE de paradigma neokeynesiano para evaluar la efectividad de política monetaria ante distintos *shocks*. Los resultados obtenidos en este trabajo indican que una orientación monetaria que se preocupa únicamente de los desvíos de la inflación es menos exitosa para estabilizar la economía real e incluso los precios.

Por otro lado, Montenegro y Valdivia (2008) simulan un modelo DSGE neokeynesiano introduciendo dos reglas fiscales; como principal resultado indican que las reglas introducidas en el modelo logran estabilizar la economía. Valdivia y Pérez (2013) mediante un modelo DSGE evalúan la interacción de las políticas fiscal y monetaria para un conjunto de países de América Latina, obteniendo como principal resultado que la coordinación de política fiscal y monetaria es más efectiva en amortiguar los *shocks* adversos. Sin embargo, si bien los autores que se mencionaron en el apartado anterior realizaron modelos DSGE micro-fundados para la economía boliviana, las técnicas bayesianas aun no fueron exploradas, lo cual se intentará implementar en el presente trabajo.

III. Hechos estilizados

Cualquier tipo de proceso de modelación debe contar con la conformidad de datos para replicar el proceso de información de datos. En el Gráfico 1 se muestra la evolución de algunas variables relevantes para la economía boliviana durante el periodo 2000 hasta 2015. El comportamiento de la producción boliviana estuvo influenciado por distintos factores externos e internos.

Gráfico 1: PRINCIPALES VARIABLES DE LA ECONOMÍA BOLIVIANA
(En millones de bolivianos y en porcentaje)



Fuente: INE y BCB

Entre 2000–2002, la economía nacional tuvo un comportamiento moderado como consecuencia de la desaceleración de la economía mundial y la reversión de los flujos de capital; a ello se agrega los conflictos sociales que estallaron en 2003; estos eventos significaron para Bolivia costos de pérdida en términos de ingreso y empleo. A partir de 2004, la economía boliviana empezó a mostrar un nuevo panorama; el aumento consecutivo de precios internacionales de materias primas y el dinamismo simultáneo del consumo interno, la

inversión (principalmente inversión pública) y el comercio exterior fueron los principales sectores que contribuyeron al buen desempeño económico.

Específicamente a partir de 2006, con la implantación del MESCP, el crecimiento económico se mantuvo alrededor de 5,0% promedio; dicha situación muestra un buen desempeño económico además de estable a comparación del periodo previo 1996–2005 donde la tasa de crecimiento económico fue de 3,1% promedio, (ver Tabla 1).

Tabla 1: CRECIMIENTO DEL PRODUCTO INTERNO BRUTO POR EL LADO DEL GASTO
(En porcentaje)

PERIODO	GASTO PÚBLICO	CONSUMO DE HOGARES	VAREX	FORMACIÓN BRUTA DE CAPITAL FIJO	EXPORTACIONES DE BB y SS	IMPORTACIONES DE BB y SS
2000 - 2005	3,1	2,3	-46,3	-2,9	11,0	5,7
2006 - 2015	5,5	4,8	-87,1	10,3	4,3	5,9
Todo el periodo	**4,6**	**3,8**	**-71,8**	**5,4**	**6,8**	**5,8**

Fuente: Elaboración propia con datos del INE

Tabla 2: INCIDENCIA EN EL PRODUCTO INTERNO BRUTO POR EL LADO DEL GASTO
(En porcentaje)

PERIODO	GASTO PÚBLICO	CONSUMO DE HOGARES	VAREX	FORMACIÓN BRUTA DE CAPITAL FIJO	EXPORTACIONES DE BB y SS	IMPORTACIONES DE BB y SS
2000 - 2005	0,4	1,7	0,2	-0,7	3,0	1,6
2006 - 2015	0,6	3,4	-0,2	1,7	1,4	1,9
Total Periodo	**0,5**	**2,7**	**0,0**	**0,8**	**2,0**	**1,8**

Fuente: Elaboración propia con datos del INE

Si se analiza el PIB por el lado del gasto, en todo el periodo de estudio, el consumo fue el principal sector que dinamizó la economía boliviana; entre 2000 y 2005 su incidencia fue 1,7%, mientras que desde 2006 hasta 2015, la participación del consumo en el PIB se incrementó sustancialmente con una incidencia de 3,4%; esta mayor incidencia es producto de las políticas redistributivas (Bono Juancito Pinto,

2006; Renta Dignidad, 2008; y Bono Juana Azurduy, 2009) de rentas obtenidas por la venta de hidrocarburos. Otro componente importante es la Formación Bruta de Capital Fijo (FBKF); entre 2000 y 2005, su incidencia ha sido negativa en 0,7%, mientras que desde 2006 hasta 2015 la participación de la FBKF fue más importante con una incidencia de 1,7%, mostrando un buen desempeño de la inversión, principalmente del sector público que fue orientada a los sectores de infraestructura y la construcción de plantas procesadoras de industrialización[3] con el fin de obtener mayor valor agregado. El sector externo también tuvo una incidencia importante; las exportaciones registraron una incidencia de 1,8% entre 2000 y 2005, mientras que desde 2006 hasta 2015, su incidencia fue 1,4%. Dicha situación se debe al aumento de productos manufactureros, agrícolas y materias primas; las importaciones tuvieron una incidencia de 1,6% en el primer periodo, mientras que en el segundo periodo la participación en el producto se volvió más significativa, con una incidencia de 1,9%. El aumento de las importaciones se debe básicamente a la adquisición de los bienes de capital y bienes intermedios para la industria, agricultura y materias primas.

Por otro lado, se puede apreciar una reducción consecutiva de la inflación desde 2000 hasta 2007. Sin embargo, en el año 2008 la economía boliviana fue víctima de escasez de productos alimenticios debido a factores climatológicos, aspectos especulativos y el incremento de divisas (ingresos hidrocarburíferos y remesas) que dinamizaron la demanda interna. Estos fueron los factores que incidieron significativamente en la inflación boliviana; durante este periodo la inflación registró valores altos (13,6% en 2008) después de 22 años de la época de hiperinflación. A partir de 2009, la inflación disminuyó considerablemente aunque en 2011:Q1 hubo repunte hacia el alza de precios[4]. Sin embargo, en líneas generales la inflación se mantuvo acorde a las metas intermedias establecidas por la autoridad

3 Entre los proyectos de industrialización, se destacan las plantas de separación de líquidos Río Grande y Gran Chaco, la planta de Amoniaco y Urea que producirá fertilizantes, además del complejo petroquímico compuesto por las plantas de Propileno-Polipropileno (plásticos duros) y Etileno-Polietileno (plásticos blandos).

4 El aumento de precios fue de origen externo, factores climatológicos y los efectos de la nivelación transitoria.

monetaria[5] en coordinación con el Estado, principalmente desde la implantación del Modelo Económico Social Comunitario Productivo en 2006.

El comportamiento de la inflación estable, ha sido producto de la coordinación entre las políticas fiscal y monetaria; por el lado fiscal, se efectivizaron las políticas de control de precios para productos alimenticios que escasearon debido a las actividades especulativas y por factores climatológicos adversos; también se aplicaron políticas arancelarias mediante la liberalización de aranceles de importación para algunos productos básicos, prohibición temporal de exportación de productos alimenticios y el control del gasto corriente; estas políticas se aplicaron con el principal objetivo de abastecer la demanda interna. Por el lado monetario, el Banco Central de Bolivia se caracterizó por una orientación contra-cíclica con el fin de controlar la liquidez y de esa forma mantener la inflación baja y estable; el comportamiento contra-cíclico consistió en la reducción de la liquidez sin mucha alteración de las tasas de interés en épocas de auge y una expansión de liquidez mediante otorgamiento de créditos orientados al sector productivo en tiempos de austeridad; para tal efecto se utilizaron instrumentos como: encaje legal, operaciones de mercado abierto (OMA), certificado de depósitos (CD), reservas complementarias (RC), colocaciones de títulos en subasta, entre otros. Estas políticas implementadas del sector monetario en coordinación con el Estado, están en el marco de contribuir a mayor desarrollo económico y social de Bolivia como encomienda la Constitución Política del Estado Plurinacional.

La tasa de interés activa de corto plazo mostró una reducción desde 24,5% a principios de periodo, hasta llegar a valores inferiores a 1%, aunque en 2008 tuvo un repunte de 9% para contraer la inflación; no obstante, en los últimos periodos se sitúa en valores cercanos a cero; las bajas tasas de interés coadyuvaron al incremento de inversión en

5 Un aspecto importante a resaltar para la administración monetaria ha sido la promulgación de la Ley 1670 del Banco Central de Bolivia en octubre de 1995, en donde se encomienda al Ente Emisor de mantener la estabilidad interna del poder adquisitivo de la moneda nacional para contribuir al mayor desarrollo económico, el mismo que se interpretó como mantener bajas tasas de inflación. Además desde 1996 se comenzó a anunciar a principios de cada año las metas máximas de inflación como una guía de las políticas monetaria y cambiaria (Mendieta, 2007).

el sector productivo a través del otorgamiento de créditos, fomentando el mayor desarrollo económico social. Por otro lado, el salario real definido como el salario nominal monetario ajustado a la tasa inflación, muestra evolución positiva, excepto para los periodos 2007-2008 donde la inflación registró valores superiores al salario nominal.

IV. Metodología

- ***Presentación del modelo teórico***

La estructura del modelo sigue la línea de Adolfson et al. (2007) con 4 tipos de firma: una orientada al sector no transable que produce únicamente para la economía nacional y el resto corresponde a la producción del sector transable; también cuenta con una regla de Taylor para explicar el comportamiento de la tasa de política monetaria e incluye las variables del sector externo y sector fiscal, los mismos que serán modelados con un VAR.

- ***Productores***

Existe un grupo de firmas (i) orientadas a producir bienes no transables (j); estas firmas siguen una elasticidad de producción de tipo CES (elasticidad constante de sustitución) que se expresa de la siguiente manera:

$$Y_t = \left[\int_0^1 (Y_{i,t})^{\frac{1}{\lambda_t^d}} \right]^{\lambda_{d,t}}, 1 \leq \lambda_{d,t} < \infty \qquad (1)$$

donde $\lambda_{d,t}$ es un *shock* aleatorio en el *markup* de precios que sigue un proceso:

$$\lambda_{d,t} = (1-\rho\lambda_d)\lambda_d + \rho\lambda_{d,t-1} + \varepsilon\lambda_{d,t} \qquad (2)$$

donde $\rho = 0$ y $\lambda_d > 1$ que representan el ratio entre el precio y coste marginal.

Las firmas fijan un precio *input* y *output* bajo el siguiente proceso de maximización.

$$\frac{Y_{i,t}}{Y_t} = \left(\frac{P_t}{P_{i,t}}\right)^{\frac{\lambda_{d,t}}{\lambda_{d,t-2}}} \quad (3)$$

Combinando las ecuaciones (1) y (3) e integrando se obtiene la relación de precios de *input* y *output*.

$$P_t = \left[\int_0^1 (P_{i,t})^{\frac{1}{1-\lambda_{d,t}}}\right]^{(1-\lambda_{d,t})} \quad (4)$$

La función de producción del bien (i) está determinada por:

$$Y_{i,t} = z_t^{1-\alpha} \in_t K_{i,t}^{\alpha} H_{i,t}^{1-\alpha} - z_t \phi \quad (5)$$

donde: K y H representan servicios de capital y trabajo respectivamente, z_t es un *shock* tecnológico con raíz unitaria que captura la productividad, $z_t\ \phi$ es el coste fijo para la producción, donde ϕ es un parámetro que hace que las ganancias sean cero en estado estacionario.

Cada firma (i) para optimizar sus ganancias debe minimizar sus costes de producción bajo la siguiente función:

$$\min_{K_{i,t}H_{i,t}} W_t R_t^f H_{i,t} + R_t^k K_{i,t} + \lambda_t P_{i,t} [Y_{i,t} - z_t^{1-\alpha} \in_t K_{i,t}^{\alpha} H_{i,t}^{1-\alpha} + z_t \phi] \quad (6)$$

donde: R_t^k es la tasa de interés por servicios de capital, α es el porcentaje de capital en producción. Además:

$$R_t^f \equiv v_t R_{t-1} + 1 - v_t$$

Aplicando las condiciones de primer orden respecto a: $H_{t,t}$ y $K_{i,t}$ se tiene:

$$W_t R_t^f = (1-\alpha)\lambda_t P_{i,t}\ z_t^{1-\alpha} \in_t K_{i,t}^{\alpha} H_{i,t}^{1-\alpha} \quad (7)$$

$$R_t^k = \alpha \lambda_t P_{i,t}\ z_t^{1-\alpha} \in_t K_{i,t}^{\alpha} H_{i,t}^{1-\alpha} \quad (8)$$

De la ecuación anterior, algunas las variables no son estacionarias debido a los *shocks* permanentes de tecnología y su presencia de raíz unitaria. Para volverla estacionaria, dividimos por los precios o el *shock* de tecnología.

$$r_t^k = \frac{R_t^k}{P_t}, \qquad \overline{w}_t = \frac{w_t}{P_t z_t}, \qquad k_{t+1} = \frac{K_{t+1}}{z_t}, \qquad \overline{k}_{t+1} = \frac{\overline{K}_{t+1}}{z_t}$$

El multiplicador Lagrange $\lambda_t P_{i,t}$ de la ecuación (6) es el coste marginal de producción nominal y el coste marginal real está dado por λ_t. Combinando las ecuaciones (7) y (8) se obtiene el coste marginal de equilibrio.

$$MC_t^d = \frac{1}{(1-\alpha)^{1-\alpha}}\left(\frac{1}{\alpha^\alpha}\right)\left(R_t^k\right)^\alpha\left[W_t\left(1+\left(R_{t-1}-1\right)\right)\right]^{1-\alpha}\frac{1}{(z_t)^{1-\alpha}}\frac{1}{\in_t} \quad (9)$$

El proceso de maximización de beneficios sigue el siguiente proceso:

$$\begin{aligned} &Max_{P_t^{new}} E_t \sum_{s=0}^{\infty}(\beta\xi_d)^s v_{t+1}\Big[\Big((\pi_t\pi_{t+1}\dots\dots\dots\pi_{t+s+1})^{k_d} \\ &(\overline{\pi}_{t+1}\overline{\pi}_{t+2}\dots\dots\dots\overline{\pi}_{t+s})^{1-k_d}\Big)Y_{i,t+1} - MC_{i,t+s}\left(Y_{i,t+e}+z_{t+s}\phi\right)\Big] \end{aligned} \quad (10)$$

donde: β es el factor de descuento intertemporal, ξ_d es el parámetro que refleja la rigidez de precios acorde a la Calvo (1983). Sin embargo, existe otro grupo de firmas que no forman parte de precios rígidos y solamente indexan su precio mediante la siguiente ecuación:

$$P_{t+1}^d = \left(\pi_t^d\right)^{k_d}\left(\overline{\pi}_{t+1}^c\right)^{1-k_d}P_t^d \quad (11)$$

donde: k_d es el parámetro de indexación que refleja la importancia de la inflación presente respecto a las expectativas, debido a que las firmas no pueden fijar precios en ese periodo.

Aplicando las condiciones de primer orden a la ecuación (10) se tiene:

$$E_t\sum_{s=0}^{\infty}(\beta\xi_d)^s v_{t+s}\left(\frac{\left(\frac{P_{t+s-1}}{P_{t-1}}\right)^{k_d}\left(\overline{\pi}_{t+1}^c\overline{\pi}_{t+2}^c\dots\dots\dots\overline{\pi}_{t+s}^c\right)^{1-k_d}}{\left(\frac{P_{t+1}}{P_t}\right)}\right)^{-\frac{\lambda_{d,t+1}}{\lambda_{d,t+s-1}}} Y_{t+s}P_{t+s}$$

$$*\left[\frac{\left(\frac{P_{t+s-1}}{P_{t-1}}\right)^{k_d}\left(\overline{\pi}_{t+1}^c\overline{\pi}_{t+2}^c\dots\dots\dots\overline{\pi}_{t+s}^c\right)^{1-k_d}}{\left(\frac{P_{t+s}}{P_t}\right)}\frac{P_t^{new}}{P_t} - \frac{\lambda_{d,t}MC_{i,t+s}}{P_{t+s}}\right] = 0 \quad (12)$$

El precio agregado de ξ_d y k_d viene dado por:

$$P_t = \left[\left(\int_0^{\xi_d} \left(P_{t-1}(\pi_{t-1})^{k_d}(\overline{\pi}_t^c)^{1-k_d}\right)^{\frac{1}{1-\lambda_{d,t}}} + \int_{\xi_d}^{1} (P_t^{new})^{\frac{1}{1-\lambda_{d,t}}}\right) di\right]^{1-\lambda_{d,t}}$$

$$= \left[\xi_d\left(P_{t-1}(\pi_{t-1})^{k_d}(\overline{\pi}_t^c)^{1-k_d}\right)^{\frac{1}{1-\lambda_{d,t}}} + (1-\xi_d)(P_t^{new})^{\frac{1}{1-\lambda_{d,t}}}\right]^{1-\lambda_{d,t}} \quad (13)$$

Combinando las ecuaciones (12) y (13) se obtiene la Nueva Curva de Phillips log linealizada.

$$\left(\widehat{\pi}_t - \widehat{\overline{\pi}}_t^c\right) = \frac{\beta}{1+k_d\beta}\left(E_t\widehat{\pi}_{t+1} - \rho_\pi\widehat{\overline{\pi}}_t^c\right) + \frac{k_d}{1+k_d\beta}\left(\widehat{\pi}_{t-1} - \widehat{\overline{\pi}}_t^c\right)$$
$$- \frac{k_d\beta(1-\rho_\pi)}{1+k_d\beta}\widehat{\overline{\pi}}_t^c + \frac{(1+\xi_d)(1+\beta\xi_d)}{\xi_d(1+k_d\beta)}\left(\widehat{mc}_t + \hat{\lambda}_{d,t}\right) \quad (14)$$

donde las variables con $\widehat{\cdot}$ representan desviaciones respecto a su estado estacionario, β es el factor de descuento intertemporal, $\hat{\lambda}_{d,t}$ es el *markup* de precios, $\widehat{\overline{\pi}}_t^c$ es tasa de inflación fijada por la autoridad monetaria; además se incluyen los parámetros de rigidez *a la* Calvo ξ_d, e indexación de precios k_d.

Siguiendo a Adolfson et al. (2007) la ecuación (14) se replica para el sector importador de bienes de consumo, importador de bienes de inversión y para sector exportador.

Según Adolfson et al. (2007), los tres tipos de empresas restantes están representados bajo una función de producción de elasticidad de sustitución constante (CES).

$$C_t^m = \left[\int \left(C_{i,t}^m\right)^{\frac{1}{\lambda_t^{mc}}} di\right]^{\lambda_t^{mc}}, \; I_t^m = \left[\int \left(I_{i,t}^m\right)^{\frac{1}{\lambda_t^{mi}}} di\right]^{\lambda_t^{mi}}, \; X_t = \left[\int \left(X_{i,t}\right)^{\frac{1}{\lambda_t^{x}}} di\right]^{\lambda_t^{x}} \quad (15)$$

donde λ_t es el *markup* de precios.

- ***Consumidores***

Existe un conjunto de familias que pretenden maximizar su función de utilidad dado un nivel de consumo $C_{j,t}$ y el ocio $h_{j,t}$ que representa la

cantidad de horas trabajadas, de manera tal que la función de utilidad a maximizar es:

$$E_0^j \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t \left[\zeta_t^c \ln\left[C_{j,t} - bC_{j,t-1}\right] - \zeta_t^h A_L \frac{\left(h_{j,t}\right)^{1+\sigma_L}}{1-\sigma_L} + A_q \frac{\left(\frac{Q_{j,t}}{z_t P_t^d}\right)^{1-\sigma_q}}{1-\sigma_q} \right] \quad (16)$$

donde: b es el grado de formación de hábitos de consumo del periodo (t-1) y sigue un proceso autorregresivo de orden uno AR(1), h es la oferta de trabajo y $\frac{Q_{j,t}}{P_t^d}$ es la tenencia de dinero en efectivo, ζ_t^c y ζ_t^h son *shocks* exógenos de consumo y trabajo, que siguen un proceso AR(1) y están $iid(0,\sigma^2)$. Para que la tenencia de dinero sea estacionaria se debe dividir entre el *shock* de raíz unitaria de tecnología.

El consumo agregado sigue una función de elasticidad de sustitución constante (CES)

$$C_t = \left[(1-\omega_c)^{\frac{1}{\eta_c}} \left(C_t^d\right)^{\frac{\eta_c - 1}{\eta_c}} + \omega_c^{\frac{1}{\eta_c}} \left(C_t^m\right)^{\frac{\eta_c - 1}{\eta_c}} \right]^{\frac{\eta_c}{\eta_c - 1}} \quad (17)$$

donde ω_c es el parámetro que indica el grado de apertura de la economía nacional al resto del mundo, $\eta > 0$ representa la elasticidad de sustitución entre un bien nacional y extranjero, C_t^d y C_t^m representan el consumo de bienes nacionales y extranjeros que está dado por:

$$C_t^d = (1-\omega_c)\left(\frac{P_t}{P_t^c}\right)^{-\eta_c} C_t \quad (18)$$

$$C_t^m = \omega_c \left(\frac{P_t^{m,c}}{P_t^c}\right)^{-\eta_c} C_t \quad (19)$$

donde: C_t^d y P_t es la demanda y el precio de las firmas productoras de bienes de consumo nacional, C_t^m y $P_t^{m,c}$ es el precio y demanda de las firmas importadoras de bienes de consumo.

El índice de precios de consumo viene dado por:

$$P_t^c = [(1-\omega_c)(P_t)^{1-\eta_c} + \omega_c(P_t^{m,c})^{1-\eta_c}]^{\frac{1}{(1-\eta_c)}} \quad (20)$$

La ecuación de acumulación de capital de las familias es la siguiente:

$$\overline{K}_{t+1} = (1-\delta)\overline{K}_t + \gamma_t\left[1 - \breve{S}\left(\frac{I_t}{I_{t-1}}\right)\right]I_t \quad (21)$$

donde las familias pueden optimizar incrementar la cantidad de servicios de capital K_t invirtiendo una unidad adicional en capital físico $\overline{K}_t$ y $\breve{S}\left(\frac{I_t}{I_{t-1}}\right)$ es el coste de ajuste de inversión S", γ_t es un *shock* estacionario de inversión en tecnología.

La inversión también sigue una función de elasticidad de sustitución constante (CES) y es explicado por la inversión doméstica e importada.

$$I_t = \left[(1-\omega_i)^{\frac{1}{\eta_i}}\left(I_t^i\right)^{\frac{\eta_i-1}{\eta_i}} + \omega_i^{\frac{1}{\eta_i}}(I_t^m)^{\frac{\eta_i-1}{\eta_i}}\right]^{\frac{\eta_i}{\eta_i-1}} \quad (22)$$

I_t^i y I_t^m son la inversión doméstica e importada, ω_i es el coste de inversión importada sobre el total de inversión, η_i es la elasticidad de sustitución entre la inversión importada y nacional.

Las familias pueden ahorrar en capital como también en bonos nacionales y extranjeros. La elección entre bonos nacionales y extranjeros depende de la expectativa del tipo de cambio; además la inversión en bonos extranjeros tiene una prima de riesgo que está dada por:

$$\Phi\left(a_t, \widetilde{\phi}_t\right) = e^{\left(-\breve{\phi}_a(a_t-\bar{a})+\widetilde{\phi}_t\right)} \quad (23)$$

donde: $a_t = \frac{S_t B_t^*}{P_t Z_t}$ es la posición neta de activos del extranjero y $\widetilde{\phi}_t$ es un *shock* de prima de riesgo dependiente de expectativas del tipo de cambio S_t.

La restricción presupuestaria de los hogares viene dada por:

$$M_{j,t+1} + S_t B^*_{j,t+1} + (1+\tau^c_t)P^c_t C_{j,t} + P^i_t I_{j,t} + P_t\left(c(u_{j,t})\overline{K}_{j,t} + P_{k',t}\Delta_t\right)$$
$$= R_{t-1}\left(M_{j,t} - Q_{j,t}\right) + Q_{j,t} + \left(1-\tau^k_t\right)\Pi_t + \left(1-\tau^y_t\right)\frac{W_{j,t}}{1+\tau^l_t}h_{j,t} + \left(1-\tau^k_t\right)R^k_t u_{j,t}\overline{K}_{j,t}$$

$$+R^*_{t-1}\Phi\left(\frac{A_{t-1}}{z_{t-1}}, \breve{\phi}_{t-1}\right)S_t B^*_{j,t} - \tau^k_t\left[\begin{array}{c}(R_{t-1}-1)\left(M_{j,t}-Q_{j,t}\right)\\ +\left(R^*_{t-1}\Phi\left(\frac{A_{t-1}}{z_{t-1}}, \breve{\phi}_{t-1}\right)-1\right)S_t B^*_{j,t}\\ +S_t B^*_{j,t}(S_t - S_{t-1})\end{array}\right] + TR_t + D_{j,t} \quad (24)$$

Combinando las ecuaciones (16), (21) y (24) se plantea la siguiente función de maximización de Lagrange.

$$\text{Max}_{C_{j,t},M_{j,t+1},\Delta_t,\overline{K}_{j,t+1},I_{j,t},u_{j,t},Q_{j,t},B^*_{j,t},h_{j,t}}\ E^j_0\sum_{t=0}^{\infty}\beta^t\left[\breve{L}_t\right]$$

$$\breve{L}_t = \Bigg\{ \zeta^c_t \ln\left[C_{j,t} - bC_{j,t-1}\right] - \zeta^h_t A_L\frac{\left(h_{j,t}\right)^{1+\sigma_L}}{1-\sigma_L} + A_q\frac{\left(\frac{Q_{j,t}}{z_t P^d_t}\right)^{1-\sigma_q}}{1-\sigma_q}$$
$$+ v_t\Bigg[R_{t-1}\left(M_{j,t}-Q_{j,t}\right) + Q_{j,t} + \left(1-\tau^k_t\right)\Pi_t + \left(1-\tau^y_t\right)\frac{W_{j,t}}{1+\tau^l_t}h_{j,t} + \left(1-\tau^k_t\right)R^k_t u_{j,t}\overline{K}_{j,t}$$
$$+ R^*_{t-1}\Phi\left(\frac{A_{t-1}}{z_{t-1}}, \breve{\phi}_{t-1}\right)S_t B^*_{j,t}$$
$$- \tau^k_t\left[\left(R_{t-1}-1\right)\left(M_{j,t}-Q_{j,t}\right) + \left(R^*_{t-1}\Phi\left(\frac{A_{t-1}}{z_{t-1}}, \breve{\phi}_{t-1}\right)-1\right)S_t B^*_{j,t} + S_t B^*_{j,t}(S_t - S_{t-1})\right] \quad (25)$$
$$+ TR_t + D_{j,t} - \left(M_{j,t+1} + S_t B^*_{j,t+1} + (1+\tau^c_t)P^c_t C_{j,t} + P^i_t I_{j,t} + P_t\left(c(u_{j,t})\overline{K}_{j,t} + P_{k',t}\Delta_t\right)\right)$$
$$+ \omega_t\left((1-\delta)\overline{K}_t + \gamma_t F(i_t - i_{t-1}) + \Delta_t - \overline{K}_{j,t+1}\right)\Bigg]\Bigg\}$$

Aplicando las condiciones de primer orden se obtiene las siguientes ecuaciones:

$$\text{w. r. t. } c_t: \frac{\zeta^c_{t+1}}{c_t - bc_{t-1}\frac{1}{\mu_{z,t}}} - \beta b E_t\frac{\zeta^c_{t+1}}{c_{t+1}\mu_{z,t+1} - bc_t} - \psi_{z,t}\frac{P^c_t}{P_t}(1+\tau^c_t) = 0 \quad (26)$$

$$\text{w. r. t. } m_{t+1}: -\psi_{z,t} + \beta E_t\left[\frac{\psi_{z,t+1}}{\mu_{z,t+1}}\frac{R_t}{\pi_{t+1}} - \frac{1}{\mu_{z,t+1}}\frac{\psi_{z,t+1}}{\pi_{t+1}}\tau^k_{t+1}(R_t - 1)\right] = 0 \quad (27)$$

$$\text{w. r. t. } \Delta_t = -\psi_t P_{k',t} + \omega_t = 0 \tag{28}$$

$$\text{w. r. t. } \bar{k}_{t+1}: -P_{k',t}\psi_{z,t} + \beta E_t\left[\frac{\psi_{z,t+1}}{\mu_{z,t+1}}\Big((1-\delta)P_{k',t+1} + (1-\tau_t^k)r_t^k u_{j,t+1} - a(u_{t+1})\Big)\right] = 0 \tag{29}$$

$$\text{w. r. t. } i_t: \quad -\psi_{z,t}\frac{P_t^i}{P_t} + P_{k',t}\psi_{z,t}\Upsilon_{t+1}F_1(i_t, i_{t-1}, \mu_{z,t}) + \beta E_t\left[P_{k',t}\frac{\psi_{z,t+1}}{\mu_{z,t+1}}\Upsilon_{t+1}F_2(i_{t+1}, i_t, \mu_{z,t+1})\right] = 0 \tag{30}$$

$$\text{w. r. t. } u_t: \quad \psi_{z,t}\Big((1-\tau_t^k)r_t^k - a'(u_t)\Big) = 0 \tag{31}$$

$$\text{w. r. t. } q_t: \quad \zeta_t^q A_q q_t^{-\sigma_q} - (1-\tau_t^k)\psi_{z,t}(R_{t-1}-1) = 0 \tag{32}$$

$$\text{w. r. t. } b_{t+1}^*: -\psi_{z,t}S_t + \beta E_t\left[\frac{\psi_{z,t+1}}{\mu_{z,t+1}\pi_{t+1}}\Big(S_{t+1}R_{t-1}^*\Phi(a_t, \tilde{\phi}_t) - \tau_{t+1}^k S_{t+1}\Big(R_{t-1}^*\Phi(a_t, \tilde{\phi}_t) - 1\Big) - \tau_{t+1}^k(S_{t+1}-S_t)\Big)\right] = 0 \tag{33}$$

Combinando la ecuación (26) y (33), se puede obtener la paridad de tasas de interés:

$$\hat{R}_t - \hat{R}_t^* = E_t\Delta\hat{S}_{t+1} - \bar{\phi}_a\hat{a}_t + \hat{\tilde{\phi}}_t \tag{34}$$

- ***Política monetaria***

La autoridad monetaria sigue una regla a la Taylor para determinar su política monetaria y se representa en la siguiente ecuación.

$$\hat{R}_t = \rho_R\hat{R}_{t-1} + (1-\rho_R)\left[\hat{\bar{\pi}}_t^c + \tau_\pi(\hat{\bar{\pi}}_t^c - \hat{\bar{\pi}}_t^c) + \tau_y\hat{y}_{t-1} + \tau_x\hat{x}_{t-1}\right] + \tau_{\Delta\pi}\Delta\hat{\bar{\pi}}_t^c + \tau_{\Delta y}\Delta\hat{y}_t + \varepsilon_{R,t} \tag{35}$$

- ***Sector público***

El sector público se representa mediante al gasto fiscal y el cobro de impuestos al capital, consumo, salarios y ganancia de las familias: τ_k, τ_c, τ_w y τ_y; dichas variables se introducen mediante un modelo de VAR al igual que en Adolfson et al. (2007). El modelo VAR cuenta con dos rezagos para las variables g_t, τ_c y τ_y, mientras que para las variables τ_k y τ_w sigue un proceso autorregresivo de orden uno AR(1).

- ***Sector externo***

Las variables que interrelacionan la economía nacional y el sector externo son: la inflación importada $\hat{\pi}_t^*$, producción del resto del mundo $\hat{y}_t^*$ y la tasa de interés internacional $\hat{R}_t^*$; estas variables son consideradas como exógenas y se incluyen al modelo VAR con cuatro rezagos.

- ***Perturbaciones estocásticas***

En línea de González (2015), el modelo cuenta con 21 *shocks*; mismos que siguen un proceso autorregresivo de orden uno AR(1).

$$\zeta_t = \rho\zeta_{t-1} + \varepsilon_{\zeta_t} \qquad 0 < \rho < 1\ ;\ \varepsilon_{\zeta_t} \sim \text{iid}(0, \sigma^2) \tag{36}$$

Los *shocks* que serán analizados son:

- *Shock* de tecnología $\sigma_{\mu z}$
- *Shock* del gasto público σ_g
- *Shock* de política monetaria σ_R
- *Shock* de oferta monetaria σ_R
- *Shock* de prima de riesgo (variación del tipo de cambio real) $\sigma_{\tilde{\phi}}$
- *Shock* de demanda externa σ_{yf}

- ***Inferencia bayesiana***

Las técnicas bayesianas consisten en realizar inferencia sobre un conjunto de datos mediante el uso de métodos bayesianos para

cantidades observadas y para cantidades sobre las que se desea aprender (Moreno, 2010); la principal diferencia entre la estadística clásica y bayesiana radica básicamente en la forma de cómo tratar los parámetros desconocidos que se quieren estimar: mientras los clásicos consideran a los parámetros como desconocidos y fijos (constantes), los bayesianos interpretan estos parámetros como aleatorios, a las cuales se les puede asignar cierta distribución de probabilidad y cuya función es analizada mediante el teorema de Bayes. Según Caputo et al. (2006) el método bayesiano se puede resumir de la siguiente forma: primero, se establece una distribución con densidad $p(\theta)$ para los parámetros estructurales, θ. Esta corresponde a la distribución *a priori*. Luego los datos estructurales son utilizados para calcular la función de máxima verosimilitud $L\left(\theta/Y\right)$; ambos se combinan (la distribución *a priori* como la función de máxima verosimilitud) para obtener la distribución posterior de, θ de acuerdo al teorema de Bayes. Utilizando este teorema podemos construir la densidad *a posteriori* de la siguiente forma:

$$p\left(\theta/Y\right) = \frac{L\left(\theta/Y\right)p(\gamma)}{\int\left(\theta/Y\right)p(\theta)d\theta}\alpha L\left(Y/\theta\right)p(\theta) \qquad (37)$$

donde: $L\left(\theta/Y\right)$ es la densidad *a posteriori* de θ dado Y; además se considera que la distribución posterior de los parámetros es proporcional al producto de la distribución *a priori*; para obtener la distribución *a posteriori*, se recurre al metodo de Markov-Chain Monte Carlo (MCMC), en particular se utiliza el algoritmo de Metrópolis-Hastings (MH).

- ***Estimación bayesiana de un modelo DSGE***

La estimación bayesiana es un procedimiento que permite obtener una distribución posterior de los parámetros del modelo DSGE mediante el procedimiento de Markov-Chain Monte Carlo (MCMC). Sea $\theta \in \Theta$ el vector de parámetros estructurales del modelo DSGE que se desea estimar, siendo Θ el espacio de aleatoriedad de los parámetros; se asume que θ es aleatoria y que además se dispone de un vector de datos estructurales dado por $Y=\{Y_1,Y_2,Y_3,\ldots\ldots\ldots\ldots,Y_n\}$ cuya densidad marginal es conocida; además, mediante el método Markov-Chain Monte

Carlo (MCMC) se puede generar una gran variedad de simulaciones $\{\theta_1,\theta_2,\theta_3,\ldots\ldots\ldots\ldots,\theta_m\}$ de la función de probabilidad *a posteriori* $p\left(\theta/Y\right)$ correspondiente a la distribución condicional de los parámetros dados Y, los cuales nos permiten estimar los momentos condicionales de θ dada Y. Las simulaciones de la función de la probabilidad *a posteriori* $p\left(\theta/Y\right)$ se generan recurriendo a la ecuación (37).

$$p\left(\theta/Y\right) = \frac{L\left(\theta/\gamma\right)p(\gamma)}{\int\left(\theta/\gamma\right)p(\theta)d\theta}\alpha L\left(Y/\theta\right)p(\theta) \qquad (38)$$

- ***Representación de estado-espacio***

La representación del estado-espacio es esencialmente importante para la estimación de modelos DSGE donde se asumen errores en la medición del sistema; esta representación del estado-espacio es una forma de representar un sistema de ecuaciones en diferencia, a través de un mecanismo de predicción y corrección; para ello se hace uso del filtro de Kalman.

Después de log linealizar las condiciones de equilibrio del modelo DSGE, se introduce la representación del estado-espacio de la siguiente forma:

$$X_t = A_1X_{t-1} + C_t\varepsilon_t + E_tw_t \qquad w_t iid(0,\sigma^2) \qquad (39)$$

La ecuación (39) quiere decir que el estado del sistema X en el instante (t) está determinado por el sistema (t-1), por un vector de variables exógenas ε_t y por un vector de ruido w_t. Además se cuenta con un vector de variables observadas que se relacionan con el estado del sistema a través de la ecuación:

$$Z_t = H_1X_t + D_tu_t + G_tv_t \qquad v_t iid(0,\sigma^2) \qquad (40)$$

El modelo en forma de estado-espacio es definido en las ecuaciones (39) y (40), siendo (39) la ecuación de predicción y (40) la ecuación de corrección o de medida. En esta representación A_1,C_t,E_t,H_1,D_t y G_t son matrices características del sistema. Finalmente se obtiene un vector de datos Y con el que se estima la función de máxima verosimilitud $L\left(\theta/\gamma\right)$.

- ***Algoritmo de Metrópolis-Hastings***

El algoritmo de la Metrópolis-Hastings (MH) se basa en métodos de Markov-Chain Monte Carlo (MCMC) y se usa para la simulación de una distribución compleja; siguiendo a Castillo (2012), el procedimiento de la distribución *a posteriori* consta de dos etapas: en la primera etapa se encuentra la moda de la distribución y la matriz hesiana evaluada en la moda a través de un procedimiento de maximización estándar; en la segunda etapa se generan valores aleatorios de la posterior mediante el algoritmo de Metrópolis-Hastings (MH).

Este algoritmo se basa en la elección de una distribución instrumental para generar la siguiente observación en la cadena dado el estado actual, es decir, este algoritmo genera las distribuciones actuales apoyándose en valores pasados aleatorios. Sea $q\left('/_{\theta}\right)$ la densidad instrumental, una iteración ϕ generada por $q\left(\phi/_{\theta}\right)$ será aceptada con la probabilidad de:

$$\alpha\left(\theta^{j},\phi\right)=\min\left\{1,\frac{L\left(\theta^{1}/_{Y}\right)p(\theta^{1})}{L\left(\theta^{0}/_{Y}\right)p(\theta^{0})}\right\} \qquad (41)$$

De la ecuación (41) podemos señalar que si el iterado ϕ es aceptado se generará otro para luego evaluarlo. Si no es aceptado se vuelve a generar desde su valor inicial para luego evaluar; es decir, el iterado ϕ es aceptado cuando $L\left(\theta^{1}/_{Y}\right)p(\theta^{1})$ es mayor a $L\left(\theta^{0}/_{Y}\right)p(\theta^{0})$; por tanto la ecuación (41) requiere al menos que la densidad objetivo $L(.)$ sea calculable. Además, para implementar el algoritmo de la Metropolis-Hastings (MH) es necesario argumentar una densidad instrumental que genere el iterado ϕ de acuerdo a $\phi = \theta + \xi_t$, donde ξ_t tiene distribución normal con media cero y varianza constante. Al utilizar este instrumental, el algoritmo se denomina Metrópolis-Hastings (MH) paseo al azar (Moreno, 2010).

- ***Calibración de parámetros***

La fuente de calibración de parámetros son obtenidos por cuentas nacionales, resultado de estudios anteriores y estimaciones auxiliares.

A continuación, en la Tabla 3, se presenta los valores de parámetros obtenidos de cuentas nacionales.

Tabla 3: PARÁMETROS DE CUENTAS NACIONALES

DESCRIPCIÓN	VALOR ASIGNADO
Cash Money Ratio: M1/M3	0,70
Formación Bruta de Capital Fijo/ PBI	0,17
Gasto del Gobierno/PBI	0,11
Promedio Crecimiento de M3	0,25
Consumo Importado/Total Consumo	0,20
Inversión Extranjera Directa/Total Inversión	0,05
Impuesto al Consumo	0,20
Impuesto al retorno del capital	0,40
Impuesto al salario	0,13
Impuesto a ganancias de las familias	0,10

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 4 se presenta la calibración de parámetros considerando trabajos de otros autores y las estimaciones auxiliares.

Tabla 4: PARÁMETRO DE OTROS AUTORES Y DE ESTIMACIONES AUXILIARES

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN	TRABAJO DE REFERENCIA	VALOR ASIGNADO
β	Tasa de Descuento Inter-temporal	Valdivia (2013)	0,990
δ	Tasa de Depreciación del Capital	Valdivia (2013)	0,025
σL	Elasticidad Oferta de Trabajo	Valdivia (2013)	0,578
$\rho\bar{\pi}$	Autorregresivo Inflación *Target*	AR(1)	0,862
ξw	Calvo Rigidez en Salarios	Adolfson et al. (2007)	0,500
ξe	Calvo Rigidez en contratación mano de obra	Adolfson et al. (2007)	0,400
Kw	Parámetro Indexación Salarios	Adolfson et al. (2007)	0,500
Ke	Parámetro Indexación Precio Exportaciones	Adolfson et al. (2007)	0,500
S''	Costo de Ajuste de Inversión	De Castro et al. (2011)	3,420
B	Formación de hábito (persistencia utilidad)	AR(1)	0,878
μz	Crecimiento Tecnología	Adolfson et al. (2007)	1,009
$\tilde{\phi}$	PRIMA DE RIESGO	Valdivia (2013)	0,800
$\rho\mu z$	Autorregresivo *Shock* de Raíz Unitaria en Tecnología	AR(1)	0,941
$\rho\varepsilon$	Autorregresivo *Shock* Estacionario en Tecnología	AR(1)	0,900
$\rho\tilde{\phi}$	Autorregresivo *Shock* Expectativas Prima de Riesgo	Adolfson et al. (2007)	0,850
$\rho\lambda m,c$	Autorregresivo *Shock Markup* Bienes de Consumo Importados	Adolfson et al. (2007)	0,500
$\rho\lambda m,i$	Autorregresivo *Shock Markup* Bienes de Inversión Importados	Adolfson et al. (2007)	0,500

Tabla 4: PARÁMETRO DE OTROS AUTORES Y DE ESTIMACIONES AUXILIARES (Cont.)

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN	TRABAJO DE REFERENCIA	VALOR ASIGNADO
$\rho\lambda x$	Autorregresivo *Shock Markup* Bienes de Exportación	Adolfson et al. (2007)	0,500
ρy	Autorregresivo *Output Gap*	AR(1)	0,396
$\rho\tilde{\phi}*$	Autorregresivo *Shock* Prima de Riesgo Resto del Mundo	Adolfson et al. (2007)	0,730
ρR	Autorregresivo Tasa de Interés	AR(1)	0,989
$\rho\pi$	Autorregresivo Tasa de Inflación	AR(1)	0,915
ρx	Autorregresivo Tipo de Cambio Real	AR(1)	-0,040
ηc	Elasticidad de Sustitución Consumo	Valdivia (2008)	2,000
$\rho\zeta c$	Autorregresivo *Shock* Preferencias del Consumidor	AR(1)	0,432
AL	Función de Desutilidad del trabajo Constante	Adolfson et al. (2007)	7,500
λw	*Markup* Salarios	Adolfson et al. (2007)	1,200
σa	Costo de Utilización del Capital	Adolfson et al. (2007)	1000000
λd	*Markup* Bienes Domésticos	Adolfson et al. (2007)	1,200
$\lambda m,c$	*Markup* Bienes de Consumo Importación	Adolfson et al. (2007)	1,200
$\lambda m,i$	*Markup* Bienes de Inversión Importación	Adolfson et al. (2007)	1,200
ηi	Elasticidad de Sustitución en Inversiones	Adolfson et al. (2007)	1,696
ηf	Elasticidad de Sustitución Resto del Mundo	Adolfson et al. (2007)	1,486
ρY	Autorregresivo *Shock* de Inversión en Tecnología	Adolfson et al. (2007)	0,720
σq	Varianza de Dinero	Christiano et al. (2005)	1,970

Fuente: Elaboración propia

Para realizar la estimación bayesiana, primeramente se procede a definir la distribución *a priori* y luego aplicando el filtro de Kalman (estado-espacio) y las Cadenas de Markov Montecarlo se aproxima una distribución *a posteriori* para cada parámetro.

Previa estimación se observó que los parámetros estén identificados en un rango que garantice una única solución en el estado estacionario, con el fin de reducir la singularidad estocástica. Las variables endógenas

seleccionadas como observables son: producción, inversión, consumo, oferta monetaria y la inflación; dichas variables se seleccionaron por su relevancia para explicar la interacción de política fiscal y monetaria para reducir el ciclo económico. En total se consideraron 78 observaciones entre el período 1996:Q1 al 2015:Q2. Para estimar los parámetros se utilizó la distribución beta para garantizar que la estimación tome valores entre 0 y 1; por otro lado también se optó por la distribución gamma invertida para que los valores estimados tomen un valor positivo.

V. Resultados

Distribución a posteriori

En la siguiente tabla se presenta los principales resultados de la distribución *a posteriori* de los parámetros estimados.

Tabla 5: DISTRIBUCIÓN *A POSTERIORI*

Nombre	Densidad	prior media	Posterior media/ moda	Desv. Est./gl	Intervalo 90% HPD	
ξ_d	Beta	0,50	**0,11**	0,10	0,09	0,12
ξ_{mc}	Beta	0,50	**0,49**	0,10	0,41	0,55
ξ_{mi}	Beta	0,50	**0,17**	0,10	0,08	0,25
ξ_x	Beta	0,90	**0,92**	0,10	0,86	0,97
ξ_w	Beta	0,70	**0,68**	0,10	0,47	0,85
κ_d	Beta	0,50	**0,45**	0,10	0,31	0,64
κ_{mc}	Beta	0,50	**0,48**	0,10	0,21	0,84
κ_{mi}	Beta	0,50	**0,46**	0,10	0,33	0,58
κ_x	Beta	0,50	**0,47**	0,10	0,31	0,65
κ_w	Beta	0,50	**0,48**	0,10	0,33	0,61
η_i	Gamma Invertida	1,00	**1,72**	2,00	1,28	2,12
η_f	Gamma Invertida	1,00	**0,45**	2,00	0,33	0,57
σ_z	Gamma Invertida	0,10	**1,60**	1,00	1,42	1,79
σ_c	Gamma Invertida	0,21	**0,039**	1,00	0,033	0,05
σ_g	Gamma Invertida	0,10	**0,04**	1,00	0,029	0,053
σ_R	Gamma Invertida	0.25	**1,36**	1,00	1,15	1,53
$\sigma_{\tilde{\phi}}$	Gamma Invertida	0.25	**0,17**	1,00	0,08	0,34
σ_{Yf}	Gamma Invertida	0.10	**0,029**	1,00	0,021	0,037

Fuente: Elaboración propia

Habiendo definido los valores *a priori*, en el caso de rigidez de precios en las firmas que producen bienes no transables, la probabilidad de no ajustar óptimamente los precios es de 0,11; es decir, (1 – 0,11) = 89% de las firmas seleccionadas aleatoriamente puede optimizar su precio en el periodo (t), demandando entre 1,1 a 1,2 trimestres para que todas las firmas re-optimicen su precio, lo cual señala que las políticas adoptadas por parte de la autoridad monetaria es efectiva en la economía boliviana, requiriendo solamente 1 trimestre para completarse. En el caso de las firmas importadoras de bienes de consumo, la probabilidad de no optimizar los precios es de 0,49; es decir, (1 – 0,49) = 51% de las firmas seleccionadas aleatoriamente optimizan su precio en el periodo (t), lo cual significa que la política monetaria tardará en efectivizarse 2 trimestres. Estos resultados implican que las firmas que producen bienes no transables se re-optimizan más frecuentemente en las firmas importadoras de bienes. En el caso de las firmas importadoras de bienes de inversión, la probabilidad de no ajustar los precios es de 0,17, mientras que el de las firmas exportadoras es 0,92. En el sector importador de bienes de inversión, las firmas re-optimizan los precios en un periodo de 1,2 trimestres, mientras en el sector exportador la re-optimización de precios se completa en un plazo mayor a un año.

En promedio, la probabilidad de no ajustar óptimamente los precios es de 0,42; es decir, (1 – 0,42)=58% de las firmas seleccionadas aleatoriamente puede optimizar su precio en el periodo (t), requiriendo aproximadamente 2 trimestres para completar al 100%, lo cual significa que el diseño de las políticas implementadas por parte de la autoridad monetaria en coordinación con el Estado, requiere 2 trimestres para efectivizarse de manera completa.

Por otro lado, los salarios se ajustan en el periodo (t) con una probabilidad de 0,68, es decir (1 – 0,68) = 32% de los agentes seleccionados aleatoriamente puede optimizar su precio en el periodo (t), requiriendo 3 trimestres para re-optimizar la totalidad de sus precios. Estos resultados implican que el grado de rigidez de los salarios es mayor al grado de rigidez de los precios; sin embargo, también estos resultados implican que el análisis de rigidez de precios y salarios es un elemento muy importante en la implementación de políticas monetarias.

Los coeficientes estimados de indexación de precios en firmas de bienes no transables es 0,45, mientras que para firmas importadoras de bienes de consumo es 0,48, de inversión es 0,46, de bienes exportados 0,47 y salarios es 0,48 respectivamente; todos estos coeficientes son menores a 0,5. Considerando la ecuación (14) las firmas le dan una mayor importancia a la inflación objetivo (*target*) que al precio efectivo del período anterior para indexar su precio.

La elasticidad de sustitución entre bienes nacionales es de 1,72. Esto indica que los bienes producidos domésticamente presentan muy pocas diferencias entre sí para los consumidores, ya que ellos no tienen muchas dificultades para sustituirla. Mientras, la elasticidad de sustitución de bienes importados es de 0,45. Estos resultados muestran que los bienes domésticos son sustituidos frecuentemente que los bienes importados.

Función Impulso Respuesta (FIR)

La función impulso respuesta muestra el efecto de un *shock* a lo largo de un tiempo sobre las variables endógenas en el sistema. En el Apéndice B se muestra la función impulso respuesta ante distintos *shocks* que se van a analizar en este apartado.

En la primera figura de la función impulso respuesta, se muestra el *shock* de tecnología (productividad) σ_z. Este *shock* tiene efectos positivos y permanentes (largo plazo) en el producto, consumo, inversión, exportaciones y el empleo; mientras la tasa de política monetaria, la variación de precios tanto doméstico e importado, tienen una reacción negativa en su tasa de crecimiento; en el caso de precios domésticos se demanda 30 trimestres para volver a su estado estacionario; en el caso de las precios importados, este demanda más periodos para retornar a su estado estacionario debido a la rigidez de precios; el crecimiento del salario disminuye al principio, pero luego se incrementa a partir del trimestre 25. En resumen, el *shock* de tecnología (productividad) tiene efectos positivos y permanentes en el sector real de la economía boliviana.

El segundo *shock* que se analiza es el de gasto público σ_g; este genera un crecimiento temporal en la producción demandando 5 trimestres

para volver a su estado estacionario; el crecimiento del consumo al principio se torna negativa, pero después de 7 trimestres se vuelve positivo, generando la complementariedad entre gasto público y consumo privado. El crecimiento de los precios tanto domésticos como importados es temporal, volviendo a su estado estacionario en 3 a 4 trimestres; el crecimiento del empleo es positivo, este demanda 24 trimestres para volver a su estado estacionario.

El *shock* de la tasa de política monetaria σ_R, disminuye el crecimiento del producto, consumo, inversión y las exportaciones; en el caso del producto, consumo y la inversión demandan 8 trimestres para volver a su estado estacionario, mientras las exportaciones retornan al estado estacionario en 6 trimestres; la variación de los precios demandan menos tiempo para retornar a su estado estacionario, esto implica que la política monetaria es más efectiva en la estabilización de precios; el crecimiento del empleo es positivo y demanda mayor tiempo para situarse en su sendero de estado estacionario.

Por otro lado se analiza el *shock* de oferta monetaria σ_m (crecimiento del M1); este *shock* ha sido incorporado en el presente modelo y repercute positivamente en la tasa de variación de los precios debido a mayor circulante en poder del público; se incrementa la tasa de interés de política monetaria para amortiguar las presiones inflacionarias; el crecimiento del salario real se devalúa debido al incremento de los precios requiriendo mayor cantidad de periodos para retornar al estado estacionario.

También se analiza el *shock* de prima de riesgo σ_{ϕ}; este *shock* se puede interpretar como la expectativa del tipo de cambio nominal; se observa que este *shock* repercute en la tasa de variación de los precios de bienes domésticos e importados en el corto plazo, lo cual implica la efectividad de política monetaria (es decir, el efecto *pass-through* del tipo de cambio a precios es completo, ya que ambos retornan a su nivel de estado estacionario en el corto plazo). En el caso del producto, inversión, exportaciones y el salario real muestran un crecimiento temporal, mientras el consumo y el empleo tienen una caída temporal para luego retornar a su estado estacionario; sin embargo los

resultados permiten evidenciar que las variables observables tienen poca sensibilidad respecto a variaciones del tipo de cambio, lo cual implica que existen otros instrumentos más relevantes de política monetaria para dinamizar la economía, que la prima de riesgo.

Por último analizamos el *shock* del crecimiento de la demanda externa σ_{yf}; este genera mayor dinamismo en el producto, exportaciones e inversión. Este incremento es acompañado por un aumento de los precios en el corto plazo; sin embargo en otras variables como, consumo y empleo su impacto no es muy relevante, el crecimiento de salarios aumenta hasta el periodo 10, luego disminuye por debajo de su nivel de estado estacionario.

VI. Comentarios finales

En este documento hemos estimado un modelo de Equilibrio General Dinámico Estocástico (DSGE, por sus siglas en inglés) para la economía boliviana, empleando los siguientes supuestos: una economía pequeña y abierta, un mercado imperfecto con un conjunto de rigideces nominales y reales, formación de hábitos en la función de utilidad de consumo, rigidez en precios y salarios. Adicionalmente se incluyeron la indexación en la ecuación de precios y salarios, así como el efecto imperfecto del tipo de cambio al precio de productos transables y no transables (efecto *pass-through*).

Los resultados obtenidos mediante la inferencia bayesiana indican que existe mayor grado de rigidez en salarios que en precios; sin embargo, los datos muestran que estos se ajustan frecuentemente, lo cual significa mayor credibilidad en las políticas diseñadas por parte de la autoridad monetaria en coordinación con el Estado.

Otro de los elementos importantes que se incorporó dentro del modelo, es la indexación de precios y salarios. Los resultados indican que el grado de indexación es menor a 0,5. Este resultado implica que las firmas le dan una mayor preferencia a la inflación objetivo (*target*) que al precio efectivo del período anterior, para indexar su precio. Por otro lado, la elasticidad de sustitución de bienes nacionales es mayor respecto de los bienes de importación, lo cual induce a que los bienes

nacionales sean frecuentemente sustituidos, debiéndose a la poca diferenciación de estos bienes.

Analizando los resultados de la función impulso respuesta se verifica que la política fiscal debe enfocarse en garantizar la estabilidad macroeconómica a través de la diversificación de los ingresos y el control del déficit fiscal para mantener la solvencia de la deuda, mientras la política monetaria debe enfocarse de manera explícita en la estabilización de precios y de manera implícita en la estabilización de ciclos económicos.

En resumen, el análisis de rigidez en los precios y salarios, son un elemento importante para la forma en que se debería diseñar la política monetaria. Por otro lado, los *shocks* analizados en el presente trabajo, sugieren que las políticas fiscal y monetaria deben coordinar la ejecución de sus instrumentos con el objeto de lograr de forma eficiente el logro simultáneo de sus objetivos.

En línea con futuras extensiones del presente trabajo, las mismas vendrían dadas por la segunda iteración del modelo mediante la inferencia bayesiana: grado de rigidez en la demanda de empleo, reglas fiscales y el *shock* del sector externo.

Referencias bibliográficas

ABEL, A. (1990). "Asset Prices under Habit Formation and Catching up with the Joneses", *The American Economic Review,* 80(2), pp. 38-42

ADOLFSON, M., S. LASÉEN, J. LINDÉ, M. VILLANI (2005). "Bayesian estimation of an open economy DSGE model with incomplete pass-through", Sveriges Riksbank*,* Working paper series 179, March

ADOLFSON, M., S. LASÉEN, J. LINDÉ, M. VILLANI (2007). "Bayesian estimation of an open economy DSGE model with incomplete pass-through", *Journal of International Economics,* 72 (2), pp. 481-511

ARCE, L. (2016). *Modelo Económico Social Comunitario Productivo Boliviano*, Segunda Edición, Soipa Ltda., pp. 232-247.

BENIGNO, P. and M. WOODFORD (2004). "Inflation Stabilization and Welfare: The Case of a Distorted Steady State", National Bureau of Economic Research, Working Paper 10838, October

BOLÍVAR, O. y D. UGARTE (2015). "Demanda interna motor de crecimiento económico en Bolivia", Ministerio de Economía y Finanzas Públicas de Bolivia, *Cuadernos de Investigación Económica Boliviana,* 1 (1), pp. 7-44

BROCK, W. and L. J. MIRMAN (1972). "Optimal economic growth and uncertainty: The discounted case", *Journal of Economic Theory*, 4(3), pp. 479-513

CALVO, G. (1983). "Staggered prices in a utility-maximizing framework", *Journal of Monetary Economics,* 12(3), pp. 383-398

CAPUTO, R., F. LIENDO, J. P. MEDINA (2006). "New keynesian models for Chile in the inflation-targeting period: a structural investigation", Central Bank of Chile*,* Working Paper N° 402, December

CASS, D. (1965). "Optimum Growth in an Aggregative Model of Capital Accumulation", *The Review of Economic Studies,* 32 (3), pp. 233-240

CASTILLO, C. E. (2012). “Un modelo macroeconómico para Guatemala estimado por métodos bayesianos”, Banco de Guatemala, Documento de trabajo No. 124, junio

CEREZO, S. (2010). “Un Modelo de Equilibrio General Dinámico Estocástico para el análisis de la política monetaria en Bolivia”, Banco Central de Bolivia, *Revista de Análisis*, 13, pp. 49-89

CHRISTIANO, L. J. and M. EICHENBAUM (1992). “Current Real-Business-Cycle Theories and Aggregate Labor-Market Fluctuations”, *The American Economic Review*, 82 (3), pp. 430-450

CHRISTIANO L. J., M. EICHENBAUM, C. L. EVANS (2005). “Nominal Rigidities and the Dynamic Effects of a Shock to Monetary Policy”, *Journal of Political Economy*, 113 (1), pp. 1-45

DE CASTRO, M. R., S. N. GOUVEA, A. MINELLA, R. C. SANTOS, N. F. SOUZA-SOBRINHO (2011). “SAMBA: Stochastic Analytical Model with a Bayesian Approach”, Banco Central do Brasil, Working Paper 239, April

ERCEG, C., D. W. HENDERSON, A. LEVIN (2000). “Optimal monetary policy with staggered wage and price contracts”, *Journal of Monetary Economics,* 46 (2), pp. 281–313

ESTÉVEZ, G., S. INFANTE, F. SÁEZ (2012). “Estimación de modelos de equilibrio general en economías dinámicas por métodos de Monte Carlo y cadenas de Markov”, *Revista de Matemática: Teoría y Aplicaciones*, 19 (1), pp. 7-36

FERNÁNDEZ-VILLAVERDE, J. and J. F. RUBIO-RAMÍREZ (2003). “Comparing dynamic equilibrium models to data: a Bayesian approach”, Federal Reserve Bank of Atlanta, Working Paper 2001-23a, February

FERNÁNDEZ-VILLAVERDE, J. and J. F. RUBIO-RAMÍREZ (2004). “Comparing dynamic equilibrium models to data: a bayesian approach”, *Journal of Econometrics*, 123(1), pp 153-187

FERNÁNDEZ-VILLAVERDE, J. and J. F. RUBIO-RAMÍREZ (2005).

"Estimating Dynamic Equilibrium Economies: Linear versus Nonlinear Likelihood", *Journal of Applied Econometrics,* 20 (7), pp. 891–910

GONZÁLEZ, L. (2015). *Una estimación bayesiana de un modelo DSGE para analizar el pass through: el caso Brasil en el período 1999-2015*, Tesis de graduación de la Maestría de Econometría, Universidad Torcuato Di Tella*,* Departamento de Economía, Buenos Aires, Argentina, junio

HAMILTON, J. D. (1994). "*Time Series Analysis",* Princeton University Press, United States of America

KOOPMANS, C. *"*On The Concept of Optimal Economic Growth*",* in PONTIFICIA ACADEMIA SCIENTIARUM (1965) *Study Week on The Econometric Approach to Development Planning, October 7-13, 1963*, Cittá del Vaticano, pp. 225-287

KYDLAND, F. E. and E. C. PRESCOTT (1982). "Time to Build and Aggregate Fluctuations", *Econometrica,* 50 (6), pp. 1345-1370

MENDOZA, R. and R. BOYÁN (2001). "Metas explícitas de inflación y la política monetaria en Bolivia", Banco Central de Bolivia, *Revista de Analisis,* 4 (1), pp. 75-127

MONTENEGRO, M. and D. VALDIVIA (2008). "Bolivia's Fiscal Rules: Dynamic Stochastic General Equilibrium Model Approach", disponible en SSRN: https://ssrn.com/abstract=1583093 or http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1583093

MORENO, C. (2010). *Algoritmo de estimacion bayesiana para modelos macroeconómicos dinámicos*, informe de pasantía presentado ante Universidad Simon Bolivar como requisito parcial para optar al título de Licenciado en Matemáticas, opción Estadística y Matemáticas Computacionales, julio

QUIROZ, D. y L. ARCE (2015). "Fomalización matemática del Modelo Económico Social Comunitario Productivo", Ministerio de Economía y Finanzas Públicas de Bolivia, *Cuadernos de Investigación Económica Boliviana,* 1 (1), pp. 81-120

RAMSEY, P. (1928). "A Mathematical Theory of Saving", *The Economic Journal,* 38(152), pp. 543-559

REBELO, S. (2005). "Real Business Cycle Models: Past, Present and Future", *The Scandinavian Journal of Economics,* 107 (2), pp. 217-238

ROTEMBERG, J. J. and M. WOODFORD (1993). "Dynamic General Equilibrium Models with Imperfectly Competitive Product Markets", National Bureau of Economic Research, Working Paper No. 4502, October

SMETS, F. and R. WOUTERS (2003). "An estimated dynamic stochastic general equilibrium model of the euro area", *Journal of the European Economic Association*, 1 (5), pp. 1123-1175

SMETS, F. and R. WOUTERS (2007). "Shocks and frictions in US business cycles: a bayesian DSGE approach", European Central Bank, Working Paper No. 722, February

VALDIVIA, D. and D. PÉREZ (2013). "Dynamic economic and coordination on fiscal – monetary policies in Latin America: evaluation through a DSGE model", Munich Personal RePEc Archive Paper No. 51562, October

VARGAS, J. (2010). "Análisis del crecimiento y ciclos económicos: una aplicación general para Bolivia", Banco Central de Bolivia, *Revista de Análisis,* 13, pp. 9-47

WOODFORD, M. (2001). "Inflation Stabilization and Welfare", National Bureau of Economic Research, Working Paper 8071, January

WOODFORD, M. (2010). "Simple Analytics of the Government Expenditure Multiplier", prepared for the session "Fiscal Stabilization Policy" at the meetings of the Allied Social Science Associations, Atlanta, Georgia, January 3-5, 2010, Columbia University, June

APÉNDICES

Apéndice A

Modelo log linealizado

El modelo fue estimado en Matlab utilizando el aplicativo Dynare 4.4.3. A continuación las ecuaciones del modelo log linealizado. Para obtener más detalle consultar Adolfson et.al (2005).

Curva de Phillips de firmas productoras de bienes de consumo.

$$\begin{aligned}\hat{\pi}_t - \hat{\pi}_t^c = &-\frac{\beta}{1+\kappa_d\beta}\left(E_t\hat{\pi}_{t+1} - \rho_\pi\hat{\bar{\pi}}_t^c\right) + \frac{\kappa_d}{1+\kappa_d\beta}\left(E_t\hat{\pi}_{t-1} - \rho_\pi\hat{\bar{\pi}}_t^c\right) \\ &-\frac{\kappa_d\beta(1-\rho_\pi)}{1+\kappa_d\beta}\hat{\bar{\pi}}_t^c + \frac{(1-\xi_d)(1-\beta\xi_d)}{\xi_d(1+\beta\kappa_d)}\left(\widehat{mc}_t + \hat{\lambda}_{d,t}\right)\end{aligned} \tag{A.1}$$

Costo marginal doméstico

$$\begin{aligned}\widehat{mc}_t &= \alpha\hat{r}_t - (1-\alpha)\left[\hat{\bar{w}}_t + \hat{R}_t^f\right] - \hat{\epsilon}_t \\ &= \alpha\left(\hat{\mu}_{z,t} + \hat{H}_t - \hat{k}_t\right) + \hat{\bar{w}} + \hat{R}_t^f - \hat{\epsilon}_t\end{aligned}$$

Tasa de renta real de capital

$$\hat{r}_t^k = \hat{\mu}_{z,t} + \hat{\bar{w}}_t + \hat{R}_t^f + \hat{H}_t - \hat{k}_t$$

Curva de Phillips de firmas productoras de bienes de consumo.

$$\begin{aligned}\hat{\pi}_t^{m,c} - \hat{\pi}_t^c = &-\frac{\beta}{1+\kappa_d\beta}\left(E_t\hat{\pi}_{t+1}^{m,c} - \rho_\pi\hat{\bar{\pi}}_t^c\right) + \frac{\kappa_{m,c}}{1+\kappa_{m,c}\beta}\left(E_t\hat{\pi}_{t-1}^{m,c} - \rho_\pi\hat{\bar{\pi}}_t^c\right) \\ &-\frac{\kappa_{m,c}\beta(1-\rho_\pi)}{1+\kappa_{m,c}\beta}\hat{\bar{\pi}}_t^c + \frac{\left(1-\xi_{m,c}\right)\left(1-\beta\xi_{m,c}\right)}{\xi_{m,c}(1+i\beta)}\left(\widehat{mc}_t^{m,c} + \hat{\lambda}_t^{m,c}\right)\end{aligned} \tag{A.2}$$

Curva de Phillips de firmas productoras de bienes de inversión.

$$\begin{aligned}\hat{\pi}_t^{m,i} - \hat{\pi}_t^c = &-\frac{\beta}{1+\kappa_d\beta}\left(E_t\hat{\pi}_{t+1}^{m,i} - \rho_\pi\hat{\bar{\pi}}_t^c\right) + \frac{\kappa_{m,i}}{1+\kappa_{m,i}\beta}\left(E_t\hat{\pi}_{t-1}^{m,i} - \rho_\pi\hat{\bar{\pi}}_t^c\right) \\ &-\frac{\kappa_{m,i}\beta(1-\rho_\pi)}{1+\kappa_{m,i}\beta}\hat{\bar{\pi}}_t^c + \frac{\left(1-\xi_{m,i}\right)\left(1-\beta\xi_{m,i}\right)}{\xi_{m,i}(1+i\beta)}\left(\widehat{mc}_t^{m,i} + \hat{\lambda}_t^{m,i}\right)\end{aligned} \tag{A.3}$$

Costo marginal de importación de bienes de consumo y de inversión

$$\widehat{mc}_t^{m,c} = -\widehat{mc}_t^{x} - \hat{\gamma}_t^{x,*} - \hat{\gamma}_t^{m,c,d}$$

$$\widehat{mc}_t^{m,i} = -\widehat{mc}_t^{x} - \hat{\gamma}_t^{x,*} - \hat{\gamma}_t^{m,i,d}$$

Curva de Phillips de firmas productoras de bienes de consumo

$$\begin{aligned}\hat{\pi}_t^{x} - \hat{\pi}_t^{c} = &-\frac{\beta}{1+\kappa_x\beta}\left(E_t\hat{\pi}_{t+1}^{x} - \rho_\pi\hat{\bar{\pi}}_t^{c}\right) + \frac{\kappa_x}{1+\kappa_x\beta}\left(E_t\hat{\pi}_{t-1}^{x} - \rho_\pi\hat{\bar{\pi}}_t^{c}\right)\\ &-\frac{\kappa_x\beta(1-\rho_\pi)}{1+\kappa_x\beta}\hat{\bar{\pi}}_t^{c} + \frac{(1-\xi_x)(1-\beta\xi_x)}{\xi_x(1+i\beta)}\left(\widehat{mc}_t^{x} + \hat{\lambda}_t^{x}\right)\end{aligned} \tag{A.4}$$

Ecuación del salario real

$$\begin{aligned}E\big[&\eta_0\hat{\bar{\omega}}_{t-1} + \eta_1\hat{\bar{\omega}}_t + \eta_2\hat{\bar{\omega}}_{t+1} + \eta_3\left(\hat{\pi}_t^{d} - \hat{\bar{\pi}}_t^{c}\right) + \eta_4\left(\hat{\pi}_{t+1}^{d} - \rho_{\bar{\pi}^c}\hat{\bar{\pi}}_t^{c}\right)\\ &+ \eta_5\left(\hat{\pi}_{t-1}^{c} - \hat{\bar{\pi}}_t^{c}\right) + \eta_6\left(\hat{\pi}_t^{c} - \rho_{\bar{\pi}^c}\hat{\bar{\pi}}_t^{c}\right) + \eta_7\hat{\psi}_{z,t}^{r} + \eta_8\hat{H}_t\\ &+ \eta_9\hat{\tau}_t^{y} + \eta_{10}\hat{\tau}_t^{\omega} + \eta_{11}\hat{\zeta}_t^{h}\big] = 0\end{aligned} \tag{A.5}$$

$$b_\omega = \frac{\left[\left(\lambda_\omega\sigma_L - (1-\lambda_\omega)\right)\right]}{\left[(1-\beta\xi_\omega)(1-\xi_\omega)\right]}$$

$$\begin{pmatrix}\eta_0\\ \eta_1\\ \eta_2\\ \eta_3\\ \eta_4\\ \eta_5\\ \eta_6\\ \eta_7\\ \eta_8\\ \eta_9\\ \eta_{10}\\ \eta_{11}\end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b_\omega\xi_\omega\\ \left(\lambda_\omega\sigma_L - b_\omega(1+\beta\xi_\omega^2)\right)\\ b_{\omega\beta\xi_\omega}\\ -b_{\omega\xi_\omega}\\ b_{\omega\beta\xi_\omega}\\ b_{\omega\xi_\omega}K_\omega\\ -b_{\omega\xi_\omega}K_\omega\\ (1-\lambda_\omega)\\ -(1-\lambda_\omega)\sigma_L\\ -(1-\lambda_\omega)\dfrac{\tau^y}{(1-\tau^y)}\\ -(1-\lambda_\omega)\dfrac{\tau^\omega}{(1-\tau^\omega)}\\ -(1-\lambda_\omega)\end{pmatrix}$$

Derivada respecto a restricción presupuestaria

$$\mathrm{E}\Big[-\mathrm{b}\beta\mu_z\hat{c}_{t+1}+(\mu_z^2+\mathrm{b}^2\beta)\hat{c}_t+\mathrm{b}\mu_z\hat{c}_{t-1}+\mathrm{b}\mu_z\big(\hat{\mu}_{z,t}-\beta\hat{\mu}_{z,t+1}\big)+(\hat{\mu}_z-\mathrm{b}\beta)(\hat{\mu}_z-\mathrm{b})\widehat{\psi}_{z,t}+\frac{\tau^c}{(1-\tau^c)}(\hat{\mu}_z-\mathrm{b}\beta)(\hat{\mu}_z-\mathrm{b})\hat{\tau}_t^c+(\hat{\mu}_z-\mathrm{b}\beta)(\hat{\mu}_z-\mathrm{b})\hat{\gamma}_t^{c,d}-(\hat{\mu}_z-\mathrm{b})\big(\hat{\mu}_z\hat{\zeta}_t^c-\mathrm{b}\beta\hat{\zeta}_{t+1}^c\big)\Big]=0 \quad (A.6)$$

Derivada respecto a restricción presupuestaria

$$\mathrm{E}_t\big\{\widehat{P}_{k,t}+\hat{\gamma}_t+\hat{\gamma}_t^{i,d}+\mu_t^2\hat{S}''\big[(\hat{\imath}_t-\hat{\imath}_{t-1})-\beta(\hat{\imath}_{t+1}-\hat{\imath}_t)+\hat{\mu}_{z,t}-\beta\hat{\mu}_{z,t+1}\big]\big\}=0 \quad (A.7)$$

Derivada respecto a restricción presupuestaria

$$\mathrm{E}_t\Big\{-\mu\widehat{\psi}_{z,t}+\mu\widehat{\psi}_{z,t+1}+\mu\hat{\mu}_{z,t+1}+\big(\mu+\beta\tau^k\big)\widehat{R}_t-\mu\widehat{\pi}_{t+1}+\frac{\tau^k}{(1-\tau^k)}(\beta-\mu)\hat{\tau}_{t+1}^k\Big\}=0 \quad (A.8)$$

Derivada respecto a restricción presupuestaria

$$\mathrm{E}_t\Big\{\widehat{\phi}_{z,t}+\hat{\mu}_{z,t+1}+\widehat{\phi}_{z,t-1}+\frac{\beta(1-\delta)}{\mu_z}\widehat{P}_{k',t+1}+\widehat{P}_{k',t}-\frac{\mu_z-\beta(2-\delta)}{\mu_z}\hat{r}_{t+1}^k+\frac{\tau^k}{(1-\tau^k)}\frac{\mu_z-\beta(1-\delta)}{\mu_z}\hat{r}_{t+1}^k\Big\}=0 \quad (A.9)$$

Ecuación de paridad de poder adquisitivo

$$\mathrm{E}_t\Delta\hat{S}_{t+1}-\big(\widehat{R}_t-\widehat{R}_t^*\big)-\widetilde{\phi}_a\hat{a}_t+\widehat{\widetilde{\phi}}_t=0 \quad (A.10)$$

Restricción de recursos totales

$$(1-\omega_c)\big(\gamma^{c,d}\big)^{\eta_c}\frac{c}{y}\big(\hat{c}_t+\eta_c\hat{\gamma}_t^{c,d}\big)+(1-\omega_i)\big(\gamma^{i,d}\big)^{\eta_i}\frac{i}{y}\big(\hat{\imath}_t+\eta_i\hat{\gamma}_t^{i,d}\big)+\frac{g}{y}\hat{g}_t+\frac{y^*}{y}\big(\hat{y}_t^*-\eta_f\hat{\gamma}_t^{\alpha,*}+\hat{\tilde{z}}_t^*\big)=\lambda_d\big(\hat{e}_t+\alpha\big(\hat{k}_t-\hat{\mu}_{z,t}\big)+(1-\alpha)\hat{H}_t\big)-\big(1-\tau^k\big)r^k\frac{\bar{k}}{y}\frac{1}{\mu_z}\big(\hat{k}_t-\hat{\bar{k}}\big) \quad (B.11)$$

Ley de movimiento de capital

$$\hat{\bar{k}}_{t+1} = (1-\delta)\frac{1}{\mu_z}\hat{\bar{k}}_t - (1-\delta)\frac{1}{\mu_z}\hat{\mu}_{z,t} + \left(1-(1-\delta)\frac{1}{\mu_z}\right)\hat{\gamma}_t + \left(1-(1-\delta)\frac{1}{\mu_z}\right)\hat{\imath}_t \quad \text{(B.12)}$$

Tasa de capacidad instalada

$$\hat{\mu}_t = \hat{k}_t - \hat{\bar{k}}_t = \frac{1}{\sigma_a}\hat{r}_t^k - \frac{1}{\sigma_a}\frac{r^k}{(1-r^k)}\hat{r}_t^k \quad \text{(B.13)}$$

Primera derivada de tenencia de efectivo

$$\hat{q}_t = \frac{1}{\sigma_q}\left[\hat{\zeta}_t^q + \frac{r^k}{(1-r^k)}\hat{r}_t^k - \hat{\psi}_{z,t} - \frac{R}{(R-1)}\hat{R}_{t-1}\right]$$
$$\mu_t = \frac{M_{t+1}}{M_t} = \frac{\bar{m}_{t+1}z_t P_t}{\bar{m}_t z_{t-1}P_{t-1}} = \frac{\bar{m}_{t+1}\mu_{z,t}\pi_t}{\bar{m}_t}\hat{r}_t^k \quad \text{(B.14)}$$

Movimiento de oferta monetaria

$$\hat{\mu}_t - \hat{\bar{m}}_{t+1} - \hat{\mu}_{z,t} - \hat{\pi}_t + \hat{\bar{m}}_t = 0 \quad \text{(B.15)}$$

Condiciones *clearing* de mercado

$$v\bar{w}H\left(\hat{v}_t + \hat{\omega}_t + \hat{H}_t\right) = \frac{\mu\bar{m}}{\pi\mu_z}(\hat{\mu}_t + \hat{\bar{m}}_t - \hat{\pi}_t - \hat{\mu}_t) - q\hat{q}_t \quad \text{(B.16)}$$

Equilibrio en la ley de movimiento del saldo de activos del exterior

$$\hat{\mu}_t = -y^*\widehat{mc}_t^x - \eta_f y^*\hat{\gamma}_t^{x,*} + y^*\hat{y}_t^* + y^*\hat{\bar{z}}_t^* + (c^m + i^m)\hat{\gamma}_t^f$$
$$- \left(c^m\left(-\eta_c(1-\omega_c)\left(\gamma_t^{c,d}\right)^{-1(1-\eta_c)}\hat{\gamma}_t^{m,c,d} + \hat{c}_t\right)\right) \quad \text{(B.17)}$$
$$+ \left(i^m\left(-\eta_i(1-\omega_i)\left(\gamma_t^{i,d}\right)^{-1(1-\eta_i)}\hat{\gamma}_t^{m,i,d} + \hat{\imath}_t\right)\right) + \frac{R}{\pi\mu_z}\hat{\alpha}_{t-1}$$

Precios relativos

$$\hat{\gamma}_t^{m,c,d} = \hat{\gamma}_{t-1}^{m,c,d} + \hat{\pi}_t^{m,c} - \hat{\pi}_t^d \quad \text{(B.18)}$$

$$\hat{\gamma}_t^{m,i,d} = \hat{\gamma}_{t-1}^{m,i,d} + \hat{\pi}_t^{m,i} - \hat{\pi}_t^{d} \tag{B.19}$$

$$\hat{\gamma}_t^{x,*} = \hat{\gamma}_{t-1}^{x,*} + \hat{\pi}_t^{x} - \hat{\pi}_t^{*} \tag{B.20}$$

$$\widehat{mc}_t^{x} = \widehat{mc}_{t-1}^{x} + \hat{\pi}_t - \hat{\pi}_t^{x} - \Delta\hat{S}_t \tag{B.21}$$

Regla de Taylor

$$\begin{aligned}\hat{R}_t = \rho_R \hat{R}_{t-1} + (1-\rho_R)\left(\hat{\bar{\pi}}_t^{c} + r_\pi(\hat{\pi}_{t-1}^{c} - \hat{\bar{\pi}}_t^{c}) + r_y \hat{y}_{t-1} + r_x \hat{x}_{t-1}\right) \\ + r_{\Delta\pi}(\hat{\pi}_t^{c} - \hat{\bar{\pi}}_{t-1}^{c}) + r_{\Delta y}\Delta\hat{y}_{t-1} + \in_{R,t}\end{aligned} \tag{B.22}$$

Ecuación de Empleo

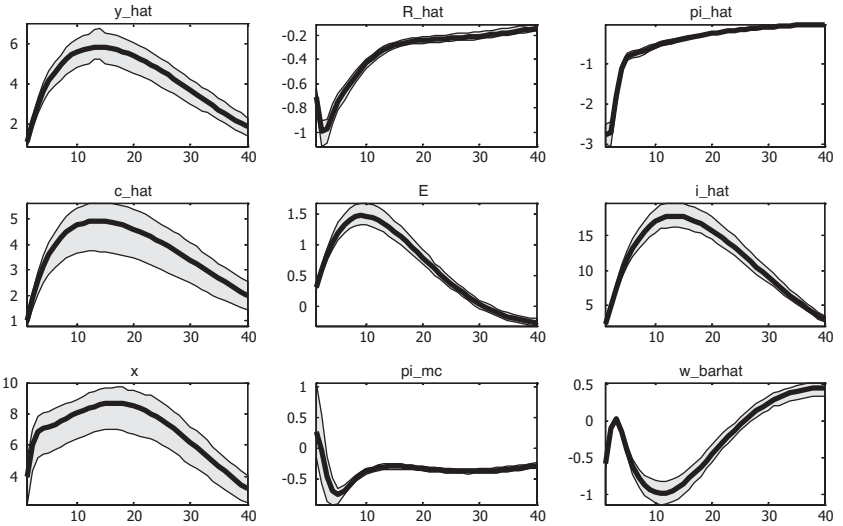
$$\hat{E}_t = \frac{\beta}{1-\beta} E_t \hat{E}_{t+1} + \frac{\beta}{1-\beta}\hat{E}_{t-1} + \frac{(1-\xi_e)(1-\beta\xi_e)}{(1-\beta)\xi_e}\left(\hat{H}_t - \hat{E}_t\right) \tag{B.23}$$

Apéndice B

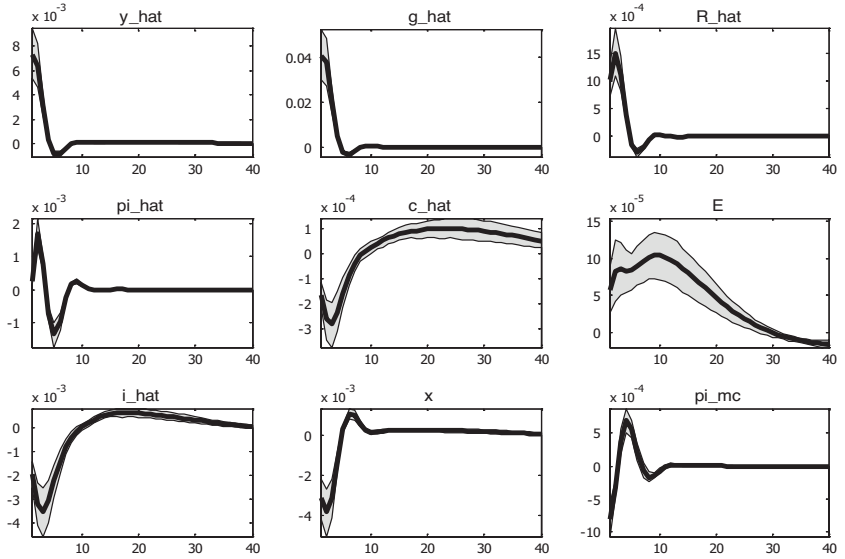
Función Impulso Respuesta (FIR)

Variables observables: **y_hat:** PIB real, **R_hat:** tasa de interés de política monetaria, **pi_hat:** variación de precio de bienes consumo interno, **c_hat:** consumo, **E:** empleo, **i_hat:** inversión, **x:** exportaciones, **pi_mc:** variación de precios importados, **w_barhat:** salario real.

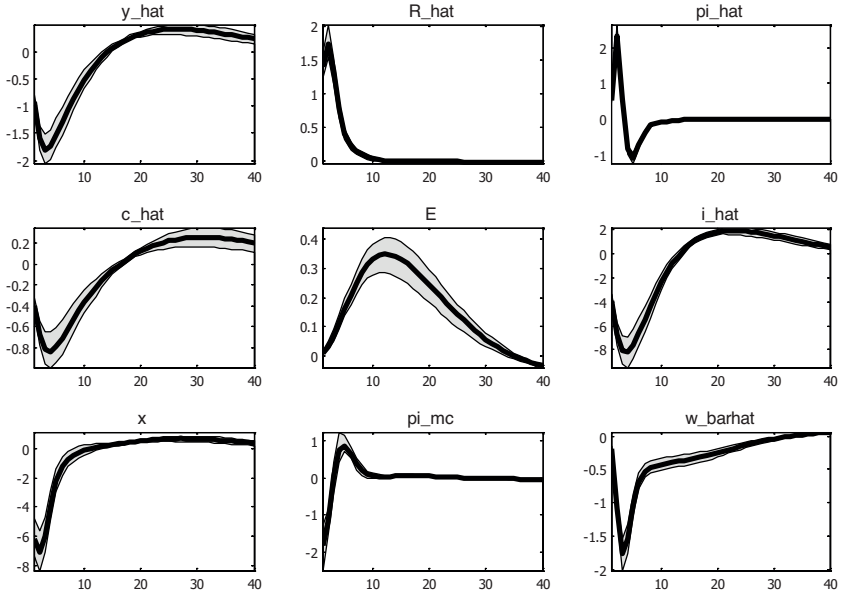
FUNCIÓN IMPULSO RESPUESTA ANTE UN *SHOCK* DE TECNOLOGÍA



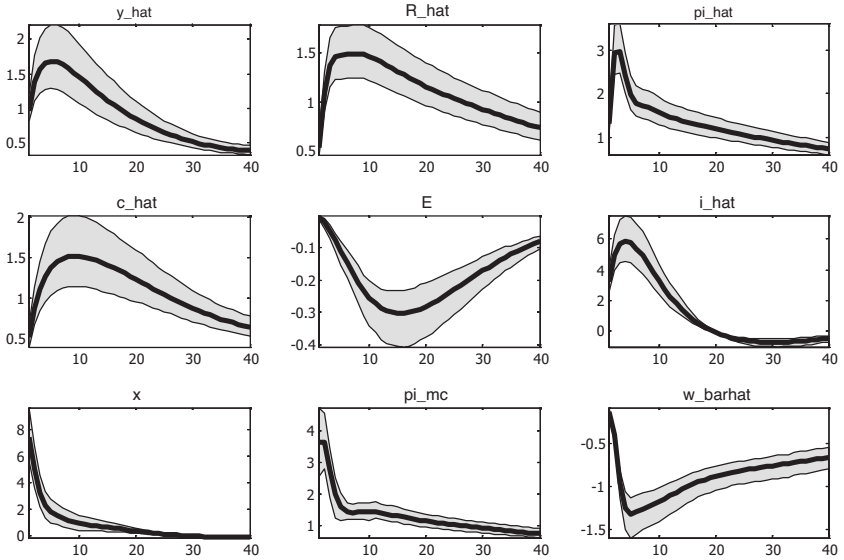
FUNCIÓN IMPULSO RESPUESTA ANTE UN *SHOCK* DE GASTO PÚBLICO



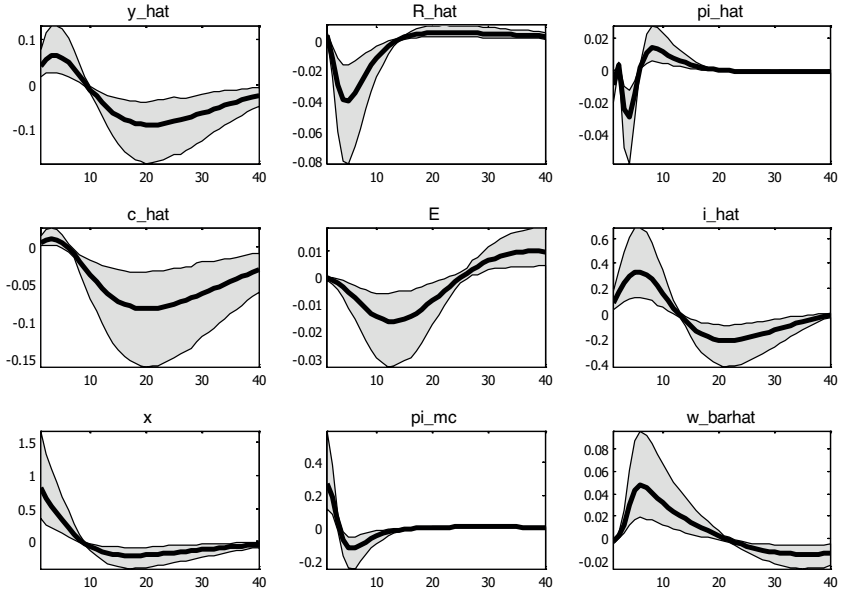
FUNCIÓN IMPULSO RESPUESTA ANTE UN *SHOCK* DE POLÍTICA MONETARIA (TASA DE INTERÉS)



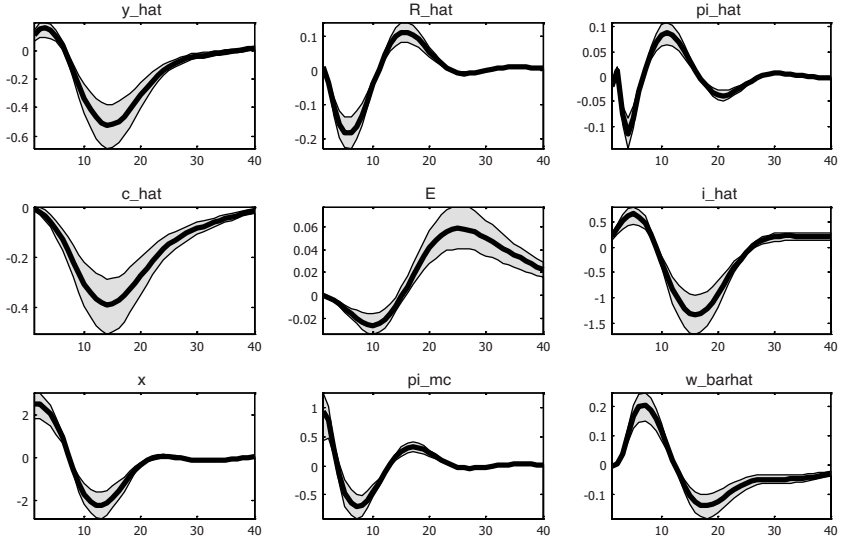
FUNCIÓN IMPULSO RESPUESTA ANTE UN *SHOCK* DE M1



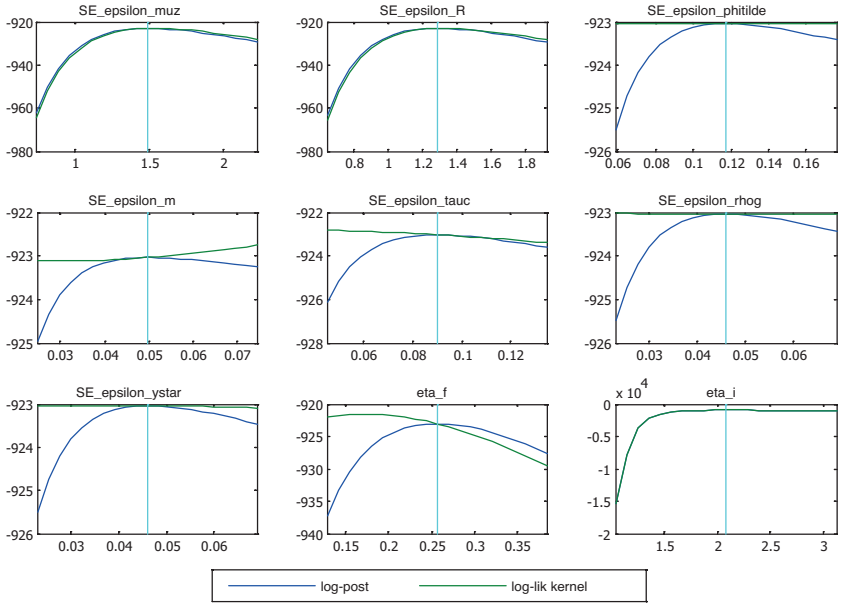
FUNCIÓN IMPULSO RESPUESTA ANTE UN *SHOCK* DE PRIMA DE RIESGO (TIPO DE CAMBIO)



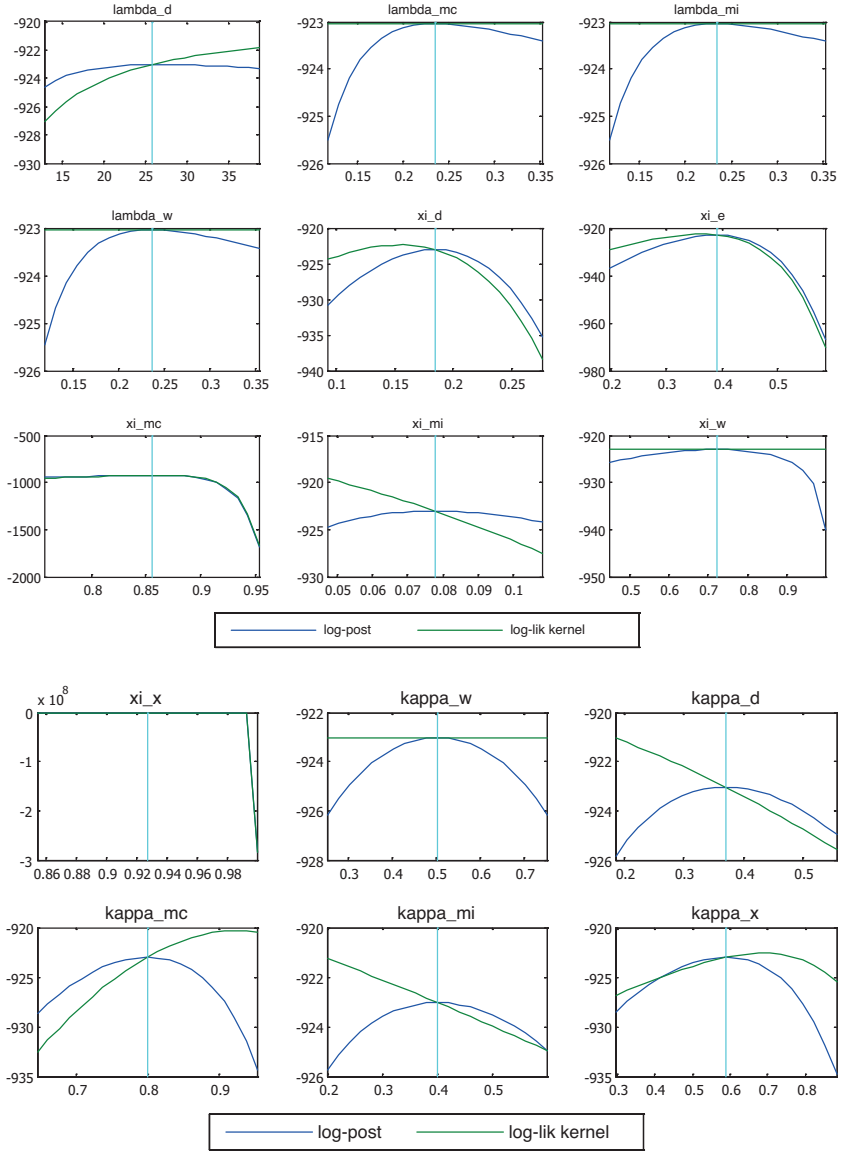
FUNCIÓN IMPULSO RESPUESTA ANTE UN *SHOCK* DE DEMANDA EXTERNA



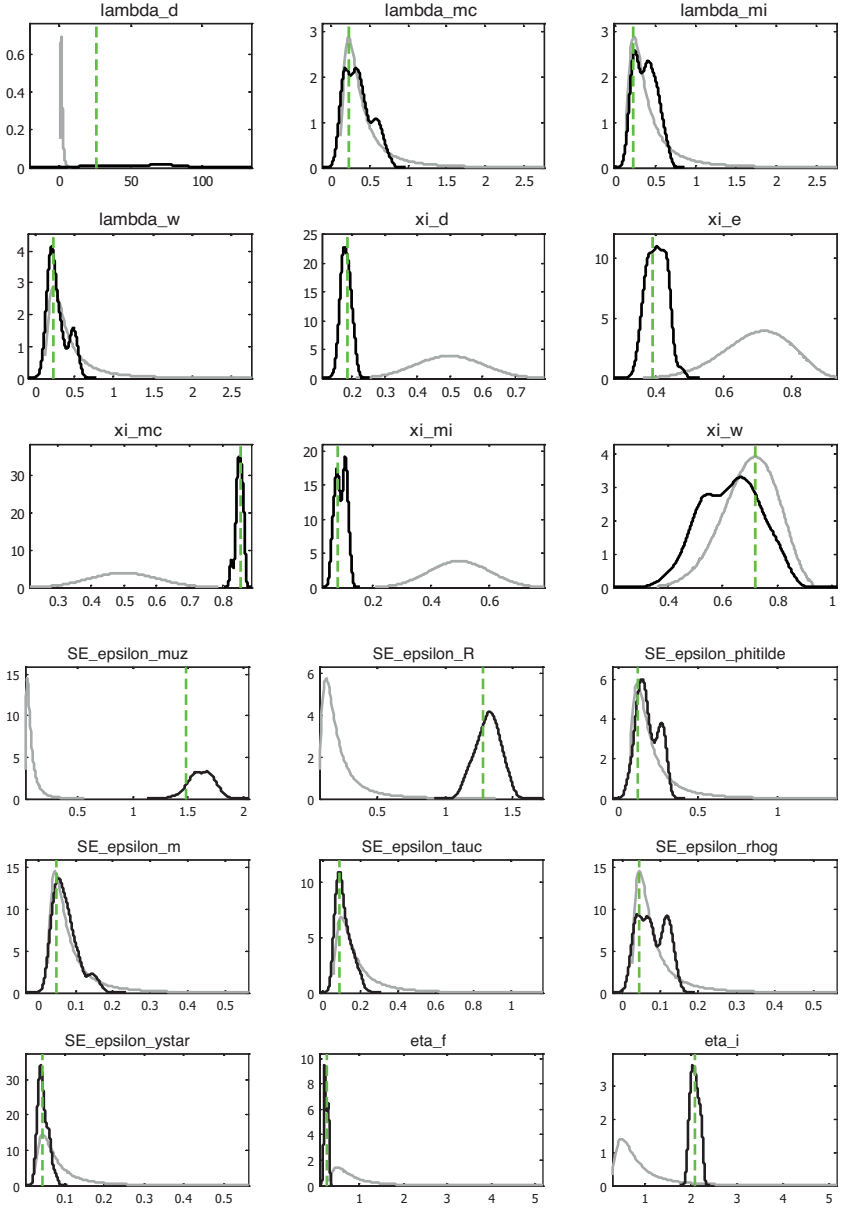
ESTIMACIÓN BAYESIANA: OPTIMIZACIÓN DE LOS ESTIMADORES



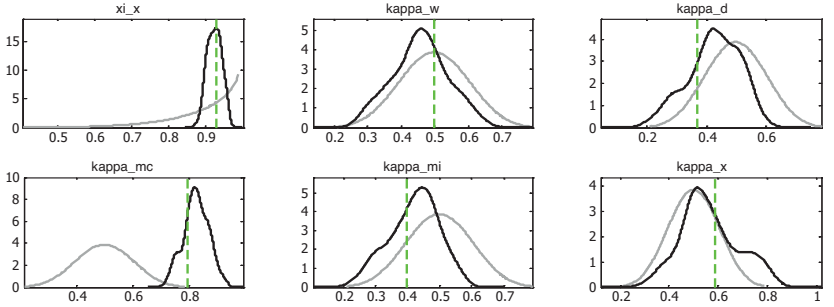
ESTIMACIÓN BAYESIANA: OPTIMIZACIÓN DE LOS ESTIMADORES (Cont.)



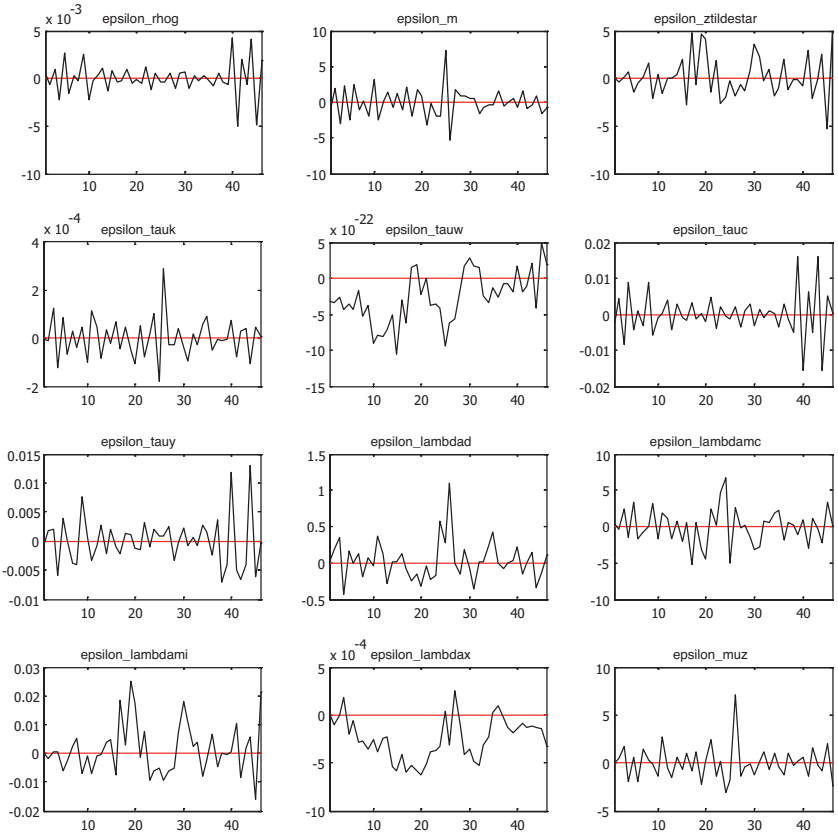
DISTRIBUCIÓN *A PRIORI* Y DISTRIBUCIÓN *A POSTERIORI* DE LOS TÉRMINOS DE ERROR



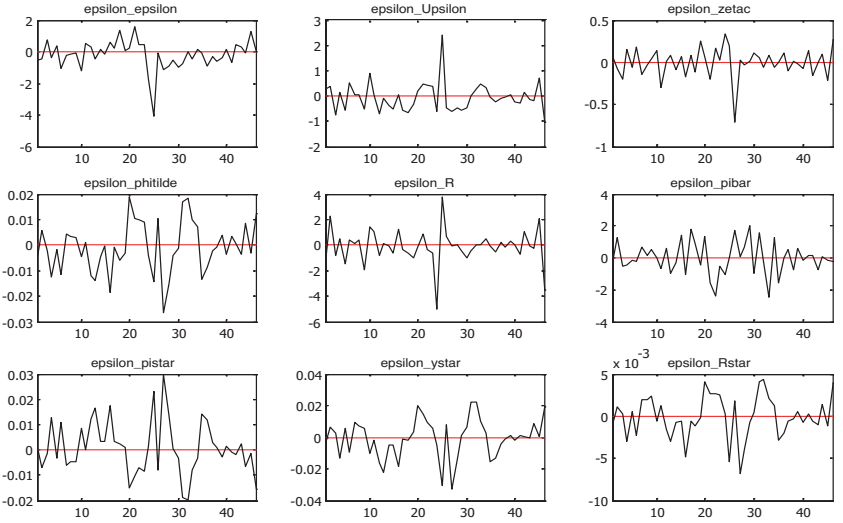
DISTRIBUCIÓN *A PRIORI* Y DISTRIBUCIÓN *A POSTERIORI* DE LOS TÉRMINOS DE ERROR (Cont.)



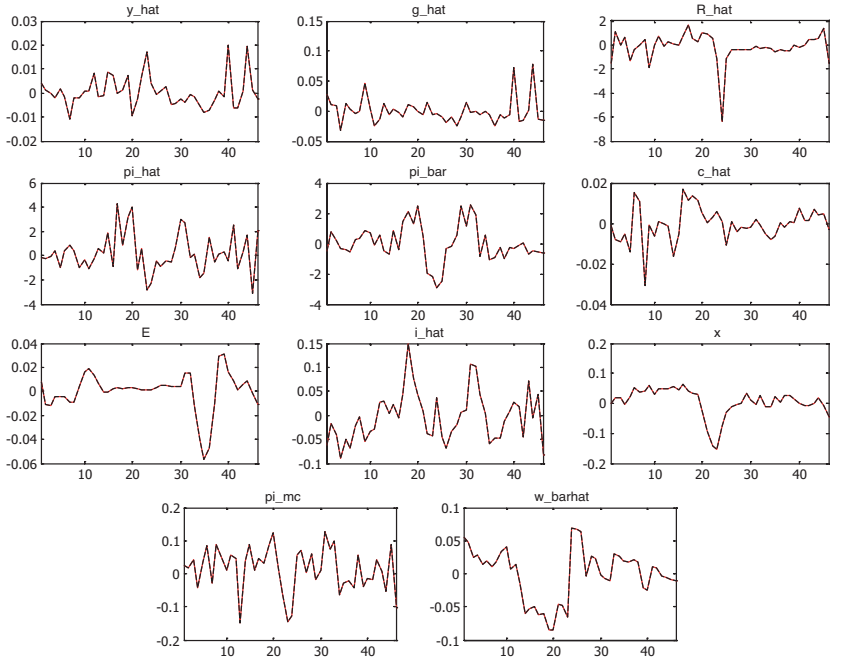
SHOCKS SUAVIZADOS



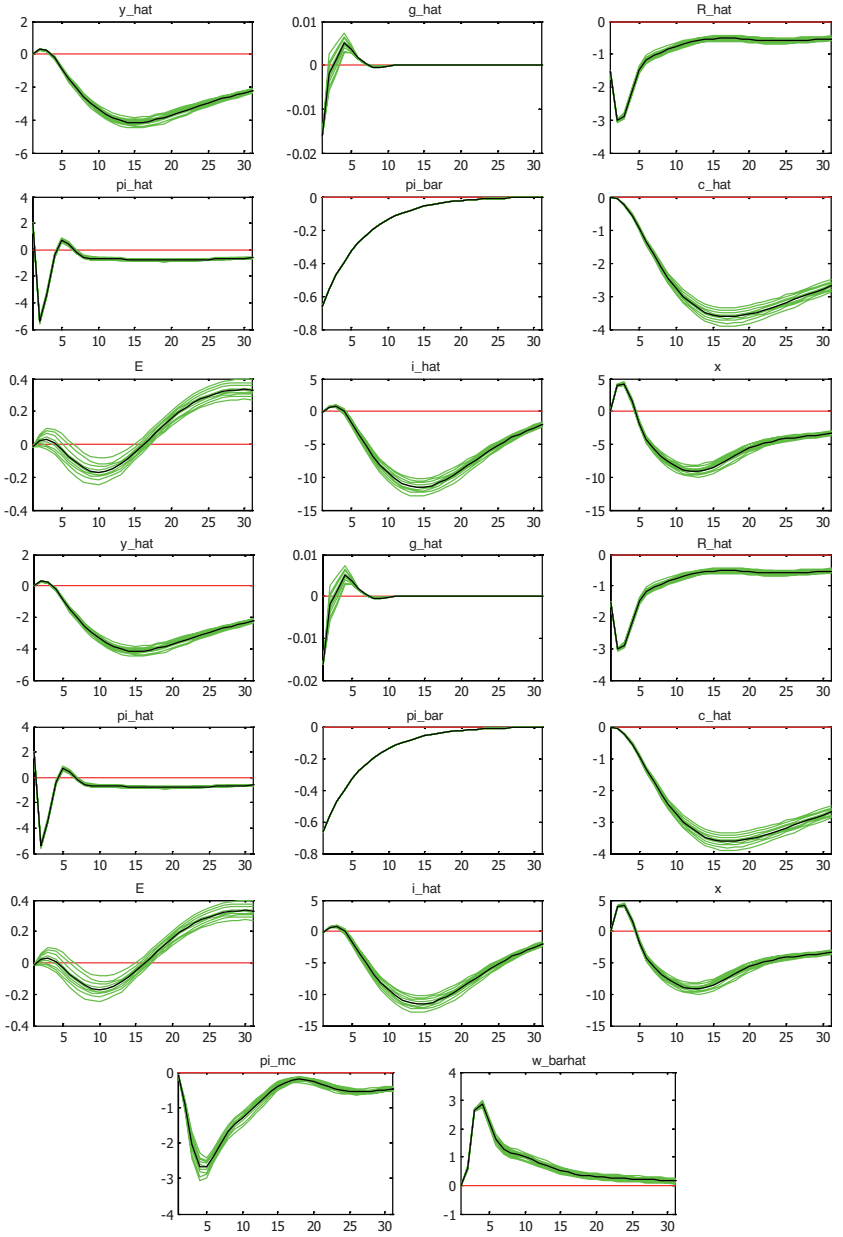
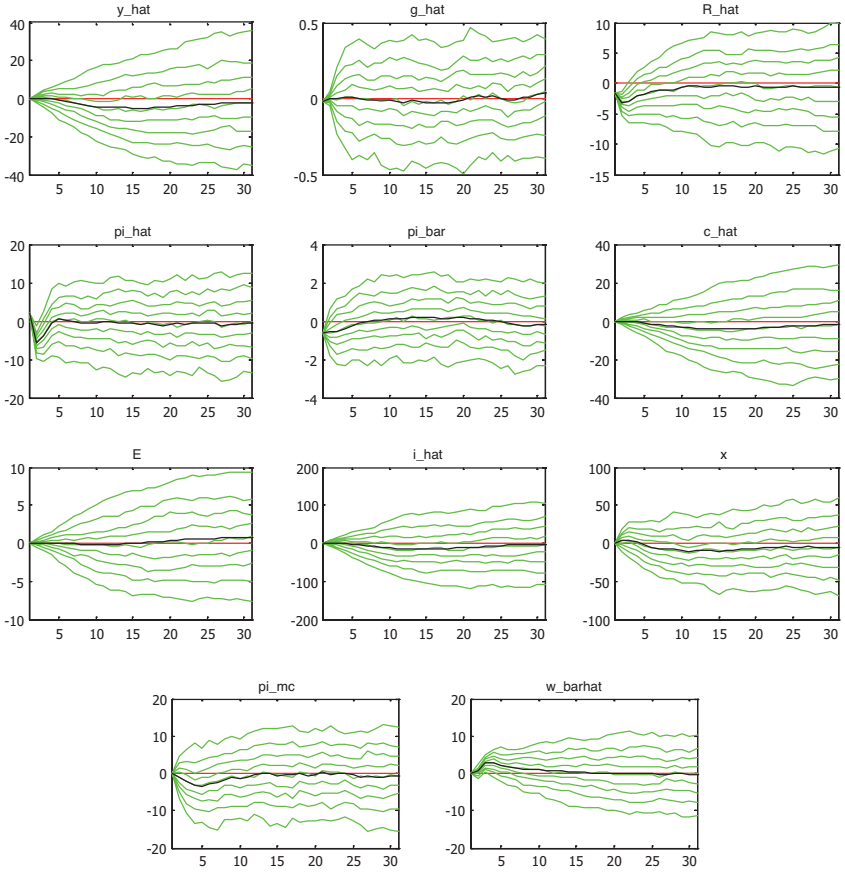
SHOCKS SUAVIZADOS (Cont.)



BRECHA DE LAS VARIABLES OBSERVADAS



PRONÓSTICO


y_hat
g_hat
R_hat
pi_hat
pi_bar
c_hat
E
i_hat
x
y_hat
g_hat
R_hat
pi_hat
pi_bar
c_hat
E
i_hat
x
pi_mc
w_barhat

PRONÓSTICO (Cont.)