



BANCO CENTRAL DE LA REPÚBLICA DOMINICANA

Concurso Anual de Economía Biblioteca “Juan Pablo Duarte”, año 2020

**Reglas de política monetaria y evaluación de bienestar
en una economía pequeña y abierta con fricciones financieras:
evidencia para República Dominicana
desde un enfoque DSGE Neo Keynesiano**

Autor:

Manuel Alberto Pérez Pérez

Julio 2020

Santo Domingo, D. N.

**Reglas de política monetaria y evaluación de bienestar
en una economía pequeña y abierta con fricciones financieras:
evidencia para República Dominicana
desde un enfoque DSGE Neo Keynesiano**

RESUMEN

En este trabajo se realiza un análisis empírico para determinar las reglas de política monetaria (RPM) óptimas que permiten minimizar el costo en bienestar social en la República Dominicana. Para esto, se presenta un modelo de equilibrio general dinámico y estocástico (DSGE) Neo Keynesiano estructurado para una economía pequeña y abierta con fricciones financieras provenientes del mercado de bonos gubernamentales, el cual se estima siguiendo técnicas bayesianas y de máxima verosimilitud con datos trimestrales en el período 2007T1-2020T1. En términos generales, las estimaciones sugieren que una RPM de orientación *forward-looking*, en la que se pondere la inflación observada, la inflación proyectada y un componente de inercia de la tasa de interés, exhibe los resultados más propicios en términos de bienestar. Ante choques externos, sin embargo, se obtienen evaluaciones favorables desde una RPM que pondera principalmente la inflación, el tipo de cambio y el suavizamiento de la tasa de interés. Posteriormente, a través de simulaciones multivariadas y probabilidades marginales posteriores, se confirma que la RPM de inflación IPC estricta es la que mejor explica la interacción dinámica de las variables domésticas observables, siendo coherente con el esquema de política monetaria vigente. Por último, se derivan análisis complementarios bajo diversos marcos de simulación con miras a identificar fuentes de fluctuaciones económicas e interrelaciones esperadas de respuesta, permitiendo retroalimentar el diseño e implementación de políticas futuras según la naturaleza de los choques estructurales percibidos.

Palabras Claves: Política monetaria, reglas monetarias óptimas, metas de inflación, estimación bayesiana, DSGE, economía pequeña y abierta.

Clasificación JEL: E52, E58, C61, C68, F41.

Índice de Contenido

1	Introducción	1
2	Revisión de literatura	4
3	Estructura del modelo	10
3.1	Restricción presupuestaria	10
3.2	Hogares	12
3.3	Sector externo	15
3.4	Firmas	17
3.5	Equilibrio	18
3.6	Reglas de política monetaria (RPM).....	22
3.7	Especificación de choques estructurales	23
3.8	Evaluación de costo en bienestar de las reglas RPM	23
4	Estimación	24
4.1	Metodologías	24
4.2	Datos.....	25
4.3	Parámetros.....	26
5	Resultados	28
5.1	Análisis de bienestar agregado	29
5.1.1	Análisis de bienestar por choques individuales.....	31
5.1.2	Análisis de bienestar por ponderaciones en reglas binomiales	34
5.2	Análisis de impulso respuesta	36
5.3	Análisis comparativo bayesiano de las reglas RPM	38
5.4	Análisis de fuentes de fluctuaciones	40
5.5	Descomposición de varianza del error de predicción	41
5.6	Diagnósticos de estimaciones	42
6	Conclusiones	43
	Referencias.....	46
	Apéndices	51

Índice de Tablas

Tabla 1. Reglas de política monetaria (RPM) simuladas	22
Tabla 2. Representación de choques estructurales	23
Tabla 3. Evaluación de costo en bienestar de las reglas RPM	29
Tabla 4. Evaluación de reglas RPM ante choque de política monetaria	31
Tabla 5. Evaluación de reglas RPM ante choque de productividad.....	32
Tabla 6. Evaluación de reglas RPM ante choque de preferencias	33
Tabla 7. Evaluación de reglas RPM ante choque de tasa de interés internacional	33
Tabla 8. Evaluación de reglas RPM ante choque de nivel de precios mundial	34
Tabla 9. Densidades marginales de la muestra con reglas RPM	39

Índice de Apéndices

A1 Derivación del problema de optimización de los hogares.....	51
A2 Derivación del problema de optimización de las firmas	54
A3 Esquema de la estructura del modelo	56
A4 Formalidades de la estimación Bayesiana, algoritmo RWMH-MCMC y factor de Bayes ..	57
A5 Evolución de las variables observables.....	60
A6 Correlaciones contemporáneas y estadísticas descriptivas de variables observables	61
A7 Estimaciones de parámetros	62
A8 Superficies de pérdida en bienestar por ponderaciones en reglas binomiales	65
A9 Funciones impulso respuesta.....	68
A10 Descomposiciones históricas de varianza.....	78
A11 Descomposiciones de varianza del error de predicción.....	81
A12 Diagnósticos de estimaciones del modelo	83

1 Introducción

El análisis de la política monetaria instrumentada por los bancos centrales ha sido abordado en los últimos años desde una perspectiva que trata de sintetizar la gestión monetaria de estas instituciones en el marco de una serie de “reglas de política monetaria”. Este marco en particular, ha cobrado un auge sustancial con la adopción de los esquemas de metas de inflación desde la década de los noventa, donde los bancos centrales pasan a enfocarse directamente en un objetivo de inflación que apuntan con la tasa de interés de corto plazo como instrumento principal.

Una regla de política monetaria (en lo adelante, RPM) es definida por Taylor (1993, 1999) como una descripción (expresada de forma algebraica, numérica o gráfica) de cómo un instrumento de política monetaria es modificado por la autoridad monetaria en respuesta a cambios en variables macroeconómicas. Así, la propuesta inicial de Taylor (1993) considera a la tasa de interés nominal como el instrumento de política monetaria, que responde a la brecha de inflación (desviaciones de la inflación respecto del nivel objetivo) y a la brecha del producto (desviación del producto respecto de su nivel potencial). Este planteamiento original, no obstante, ha sido modificado significativamente desde varias aristas, entre estas: la incorporación de una variable que recoja la tendencia de los bancos centrales a ajustar la tasa de interés de forma gradual para evitar alteraciones bruscas que pudieran generar inestabilidad e incertidumbre en los mercados financieros (*interest rate smoothing*); la inclusión de otras variables en la regla monetaria que puedan afectar las decisiones de política monetaria en economías pequeñas y abiertas (por ejemplo, el tipo de cambio); y el proceso de formación de las expectativas sobre la inflación y el producto, bien sea a través de aproximaciones con valores rezagados de las variables (especificación *backward-looking*) o mediante valores anticipados teniendo en cuenta su evolución futura (especificación *forward-looking*).

En todo caso, el análisis primario de las RPM estriba en un intento de aproximar la función de reacción de los bancos centrales. En tal sentido, una vertiente de las metodologías más recientes modela las RPM como el resultado de un problema de optimización intertemporal donde los hacedores de política elijen una trayectoria para la tasa de interés que minimiza una función de pérdida (o maximiza una función de bienestar) descontada en el tiempo, sujeto a restricciones

provistas por la estructura de la economía. Estas funciones de pérdidas, por lo general, son expresiones cuadráticas que dependen de las desviaciones de la inflación y la brecha del producto respecto a una meta y, por ende, se asocian directamente con los objetivos de los bancos centrales de mantener la estabilidad macroeconómica. Es por este motivo que, en el transcurso de los años, se le ha asignado una ponderación creciente al estudio de RPM alternativas que se acoplen a las características intrínsecas de cada economía y a los esquemas vigentes de política monetaria, y que su vez, permitan aminorar en la medida de lo posible el costo en bienestar. Lo anterior preserva relevancia en episodios de alta incertidumbre macroeconómica, como se ha visto en las pasadas crisis económicas, o de forma más contemporánea, con el choque global del COVID-19.

La República Dominicana (RD), al ser una economía pequeña y abierta, está condicionada por un entorno internacional cambiante. En este aspecto, depende de los mercados internacionales para importar bienes de capital y materias primas para la producción, por un lado, y de bienes de consumo para satisfacer las necesidades de los ciudadanos. Asimismo, depende en una proporción importante de los mercados de capitales para acceder al ahorro para la inversión y producción, y de la colocación de valores de deuda por parte del gobierno. Por consiguiente, los análisis de política económica deben considerar estas características a fin de obtener inferencias consistentes que permitan establecer estrategias eficaces y eficientes.

Si bien la literatura dominicana sobre el mecanismo de transmisión de la política monetaria es abundante, no es el caso para la agenda que se orienta al estudio de las RPM, bien sea para determinar las reglas que mejor describen las decisiones de la autoridad monetaria o para proponer reglas alternativas que puedan exhibir resultados plausibles en términos de estabilidad macroeconómica. En efecto, los estudios empíricos para RD en su mayoría asumen en las estimaciones una única RPM que podría exhibir poco ajuste con la praxis de la política monetaria nacional y, en consecuencia, sesgar los análisis de política consecuentes.

En este sentido, y en base a algunas RPM que plantea la literatura internacional, surgen algunas interrogantes: 1) ¿Cuáles RPM podrían ser óptimas para RD en el contexto de disminuir la volatilidad en la inflación y el producto cuando en la economía actúan conjuntamente varios choques económicos; 2) ¿Qué implicaciones tiene cada regla cuando estos choques están presentes

de forma aislada?; 3) ¿Cómo varía el mecanismo de transmisión de la política monetaria en función a cada RPM?; 4) ¿Cuáles reglas explican en mayor ajuste la interacción dinámica de las variables domésticas?; 5) ¿Cómo se explica las fluctuaciones observadas y esperadas de las variables macroeconómicas principales?

El objetivo de este trabajo es precisamente responder las interrogantes anteriores. Para esto, se presenta un modelo de equilibrio general dinámico y estocástico (DSGE) Neo Keynesiano estructurado para una economía pequeña y abierta con fricciones financieras provenientes del mercado de bonos gubernamentales, el cual se estima siguiendo técnicas bayesianas y de máxima verosimilitud con datos trimestrales en el período 2007T1-2020T1. En este modelo, se identifican choques estructurales de política monetaria, productividad, preferencias, tasa de interés internacional y nivel de precios mundial.

A modo de síntesis, las estimaciones sugieren que una RPM de orientación *forward-looking* de estructura trinomial, en la que se pondere la inflación observada, la inflación proyectada y un componente de inercia de la tasa de interés, exhibe las evaluaciones más propicias en términos de bienestar, siendo esta regla altamente robusta bajo la presencia de choques domésticos. Ante choques externos, sin embargo, se obtienen resultados favorables desde una RPM que pondera la inflación, el tipo de cambio y el suavizamiento en la tasa de interés. De su parte, las variables reaccionan a los choques estructurales en el sentido cualitativo sugerido por la teoría, aunque con magnitudes heterogéneas en función a las RPM. Asimismo, se obtiene evidencia de que la regla de inflación IPC estricta es la que explica en mayor ajuste la interacción dinámica de las variables domésticas. Por último, los resultados reconocen una contribución importante de la política monetaria en las fluctuaciones del producto, la inflación y el tipo de cambio.

Este trabajo está estructurado en seis secciones, incluyendo esta introducción. La segunda sección contiene la revisión de literatura sobre el tema en estudio. La tercera sección presenta la estructura del modelo, mientras que la cuarta sección discute la estimación, explicando la metodología empírica y los datos empleados. La quinta sección desarrolla los resultados encontrados. Por último, la sexta sección expone las conclusiones del trabajo, recomendaciones de política y futuras líneas de investigación.

2 Revisión de literatura

A lo largo de los años, el análisis de la política monetaria se ha centrado en responder cuando menos dos preguntas fundamentales. La primera es: ¿cuáles son los efectos de un cambio en la postura de la política monetaria sobre la economía? Esta interrogante ha sido abordada extensamente por la agenda de investigación referente al mecanismo de transmisión de la política monetaria, en razón de que un amplio conocimiento de este proceso es esencial para los bancos centrales en su compromiso de mantener la estabilidad de precios. La segunda pregunta concierne a: ¿cuáles circunstancias llevan a un banco central a modificar la postura monetaria? Este tema suele entenderse como el análisis de la función de reacción de los bancos centrales, y ha cobrado un auge creciente y de importancia especial en países que siguen un esquema de metas explícitas de inflación.

Un debate natural que se presenta en el análisis de la función de reacción de la política monetaria yace en si la respuesta a eventos específicos debe seguir una regla en particular o si ésta debe ser discrecional. En este contexto, Kydland y Prescott (1977) y Barro y Gordon (1983) muestran que la consecuencia de una extrema flexibilidad o discrecionalidad en el manejo monetario conduce a la pérdida de credibilidad, afectando directamente el objetivo de estabilización y generando así un “sesgo de inflación”.¹ Lo antes dicho, se acude a que la autoridad monetaria tiene objetivos que podrían ser contrapuestos y que para lograrlos tenga que comprometer el cumplimiento de los anuncios en materia de inflación (Aboal y Lorenzo, 2005). Las reglas, en cambio, permiten que las decisiones tengan un referente sistemático; son instrumentos de comunicación eficaces que permiten explicar lo que se hace; constituyen un medio de compromiso con un comportamiento claro, evitando presiones externas; y permiten alcanzar mayor credibilidad en menos tiempo (De La Dehesa, 2001).

El enfoque de las RPM, indudablemente, empezó a manifestarse con mayor apogeo a partir de la evidencia identificada por Taylor (1993). Este estudio ha sido especialmente relevante no solo porque aporta el primer ejemplo de la metodología de RPM, sino que también ha guiado

¹ El sesgo de inflación ocurre cuando un banco central, por buscar objetivos reales de corto plazo, infla la economía y, en consecuencia, aumenta el crecimiento en el nivel de precios. En este sentido, las reglas monetarias brindan una guía a los bancos centrales de cómo intervenir en el mercado (Giraldo, 2008).

subsecuentemente los análisis de esta naturaleza. En su forma inicial, la regla propuesta por Taylor (1993) considera a la tasa de interés nominal como el instrumento de política monetaria, que responde a las desviaciones de la inflación respecto de su nivel objetivo (brecha de inflación) y a la desviación del producto de su nivel potencial (brecha del producto). El autor identifica que las políticas monetarias que se centran en estos objetivos son mucho más eficientes que aquellas que se ajustan con la oferta de dinero y el tipo de cambio. Añade, sin embargo, que una RPM no debe ser interpretada como una fórmula mecánica a seguir, pues un elemento de discreción en su uso es siempre deseable. De hecho, sostiene que una RPM se describe mejor como un enfoque sistemático para analizar la política monetaria.

La estrategia de Taylor (1993), asimismo, condujo a que se a profundizaran las reglas monetarias en especial como una herramienta de política en los esquemas de inflación objetivo (*inflation targeting*) que se estaban adoptando contemporáneamente. De esta forma, otros autores emprendieron en formalizar los fundamentos teóricos de la regla de Taylor (1993) y a plantear diversas propuestas y modificaciones sobre esta base de referencia. Al respecto, Svensson (1996) y Clarida, Galí y Gertler (1999) demuestran que aproximaciones a esta regla pueden obtenerse de un proceso de optimización en la que el banco central minimiza una función de pérdida (cuadrática en la brecha de inflación y en la brecha del producto) sujeta a un modelo macroeconómico estructural. En particular, estos autores establecen que la regla monetaria se formule en respuesta a la evolución esperada de las brechas de inflación y del producto, en lugar de hacerlo en función al desempeño pasado y actual como en la primera regla de Taylor (1993).

Por otro lado, el uso de la regla de Taylor (1993) fue cuestionado para el caso de economías pequeñas y abiertas, donde el tipo de cambio es un mecanismo de transmisión importante que opera afectando el objetivo de inflación a través de movimientos en los precios de bienes importados. En este ámbito, Ball (1999) argumenta que las reglas óptimas de política monetaria podrían incluir, además de las brechas de inflación y producto, otras variables que puedan afectar las decisiones de política monetaria, entre ellas, el tipo de cambio, la tasa de interés externa o la percepción riesgo país. Así pues, Ball (1999) modifica la regla de Taylor (1993) utilizando como meta intermedia una combinación de la tasa de interés y del tipo de cambio.

Mientras tanto, un aspecto influyente que se estaba indagando paralelamente era el mecanismo de inercia, gradualidad o suavizamiento que se evidenciaba en la función de reacción de la tasa de interés de política monetaria (*interest rate smoothing*). En referencia a esto, Goodfriend (1991) y Roley y Sellon (1995) argumentan que la implementación de una trayectoria predecible para la tasa de interés de corto plazo permite al banco central ejercer una mayor influencia sobre las tasas de largo plazo y, por lo tanto, sobre la actividad económica y la inflación futura. Sobre la misma vena, Poole (1991) sostiene para entonces, que los bancos centrales se movían en pequeños pasos para tener una brecha de ver cómo reaccionaban las tasas de mayor plazo; si éstas últimas no respondían suficientemente, entonces podrían optar por otro movimiento. Por su parte, Goodhart (1997) y Woodford (1999) arguyen que el mecanismo de gradualidad en la tasa de interés posibilita variaciones moderadas de corto plazo que conllevan a una estabilización uniforme de la inflación, evitar reacciones desfavorables en los mercados financieros y a la realización de un ciclo económico homogéneo. Luego, Sack y Wieland (2000) añaden que el *interest rate smoothing* puede ser deseable porque engloba un enfoque prospectivo, errores de medición en las variables macroeconómicas e incertidumbre en los parámetros. En lo adelante, estos eventos fueron validados parcial o totalmente de forma empírica por Rojas (2002), Orphanides (2003), Giannoni y Woodford (2003), Woodford (2003a), Consolo y Favero (2009), Giannoni (2012), entre otros.

Adicionalmente, en los esquemas de reglas monetarias se estaba considerando el proceso de formación de expectativas sobre las variables de inflación y brecha del producto, distinguiéndose dos vertientes. En la primera, las expectativas se aproximan mediante valores rezagados, teniendo en cuenta su evolución pasada (especificación *backward-looking*), como puede verse en Kozicki (1999). En la segunda, las expectativas se estiman por medio de valores anticipados, teniendo en cuenta su evolución futura (especificación *forward-looking*), como proponen Batini y Haldane (1998) y Clarida, Galí y Gertler (2000). Esta segunda vertiente en específico, muestra alinearse de forma más precisa con los esquemas de inflación objetivo. En concreto, las reglas de orientación “hacia adelante” o *inflation forecast-based* (IFB) se retroalimentan a partir de los valores esperados de la inflación futura, donde la tasa de interés se define con miras a lograr

que el valor final de la inflación converja o se mantenga con la meta establecida en un horizonte de tiempo operativo.

De cualquier forma, el análisis primario de las RPM radicó en un intento de aproximar la función de reacción de los bancos centrales. Las metodologías más estructurales modelan las RPM como el resultado de un problema de optimización intertemporal donde los hacedores de política elijen una trayectoria para la tasa de interés que minimiza una función de pérdida (o maximiza una función de bienestar) descontada en el tiempo, sujeto a restricciones provistas por la estructura de la economía. Estas funciones, por lo general, son expresiones cuadráticas que dependen de las desviaciones de la inflación y la brecha del producto respecto a una meta y, por ende, se asocian directamente con los objetivos de los bancos centrales de mantener la estabilidad macroeconómica. De esta manera, en línea con los argumentos de Svensson (1999), los esquemas de metas inflación se pueden interpretar como una regla meta (*targeting rule*) con una función de pérdida relativamente explícita a ser minimizada.

Siguiendo el criterio de funciones de pérdida, Batini y Haldane (1998) fundamentan que las reglas *forward-looking* o IFB proveen ganancias en términos de bienestar sobre las reglas tipo Taylor, esto al estimar un modelo que caracterizaba la dinámica de economías pequeñas y abiertas que fueron pioneras en adoptar el esquema de inflación objetivo (Reino Unido, Canadá y Nueva Zelanda). Al considerar explícitamente rezagos en la transmisión monetaria e información potencial sobre la inflación futura, los autores indican que esta familia de reglas permite lograr un mayor control sobre la inflación y un alto grado de suavizamiento del producto, lo que incide favorablemente para conseguir un nivel de bienestar óptimo. En la misma línea, Batini, Harrison y Millard (2003) al examinar una batería de RPM para una economía pequeña y abierta, concluyen que las reglas IFB muestran las evaluaciones más óptimas en términos de bienestar, asociadas con una menor variabilidad de la inflación en comparación con otras RPM alternativas para economías cerradas o abiertas. En adición, sostienen que la inclusión de una respuesta separada al nivel del tipo de cambio solo aporta ganancias marginales. Posteriormente, los argumentos en favor de las reglas *forward-looking* fueron validados por varios estudios enfocados a economías pequeñas y abiertas, entre ellos, Aboal y Lorenzo (2005), Gil (2015), Mariusz y Zbigniew (2018).

En lo concerniente a la metodología para derivar o evaluar RPM óptimas, la literatura más contemporánea acude a modelos de equilibrio general dinámico y estocástico (DSGE) Neo Keynesianos. Como extensiones de los modelos de ciclo económico real (RBC), la modelación Neo Keynesiana especifica explícitamente los objetivos y las restricciones de optimización que enfrentan los hogares y las empresas, donde estos agentes interactúan en un entorno incierto para determinar precios y cantidades de equilibrio. La existencia de rigideces de precios y salarios nominales a corto plazo generadas por la competencia monopolística y la reoptimización escalonada en la producción y los mercados laborales, permiten a la política monetaria un papel estabilizador cíclico, que generalmente se implementa a través del control de la tasa de interés nominal de acuerdo con una RPM (Vitek, 2006).

Entre las referencias que evalúan RPM óptimas para economías pequeñas y abiertas desde un enfoque Neo Keynesiano, cabe destacar el trabajo pionero de Galí y Monacelli (2005). Estos autores muestran que la estructura de una función de pérdida basada en la utilidad de los consumidores para una economía pequeña y abierta es análoga a la correspondiente para economías cerradas (es decir, penaliza las fluctuaciones en la inflación doméstica y la brecha del producto). Luego, al comparar tres regímenes monetarios alternativos estrictos de: (a) inflación doméstica (SDIT), (b) inflación IPC (SCIT), y (c) tipo de cambio fijo (PEG), concluyen que el esquema SDIT emerge como el más óptimo, mientras que el PEG genera sustancialmente mayores pérdidas de bienestar debido al exceso de suavidad en los términos de intercambio.

Más adelante, Galí (2015) extiende su análisis anterior añadiendo dos reglas estilizadas tipo Taylor, que pueden considerarse como versiones flexibles de las reglas de metas de inflación especificadas anteriormente, donde ahora asignan una mayor preocupación por las fluctuaciones del producto. La primera hace que la tasa de interés nacional responda sistemáticamente a la inflación doméstica y al producto (FDIT), mientras que la segunda (FCIT) asume que la inflación IPC es la variable a la que reacciona el banco central (además del producto). De los cinco esquemas analizados, los cálculos indican que la regla SDIT resulta ser nuevamente la más óptima, seguido de la SCIT. Similarmente, las estimaciones señalan la regla PEG como la que amplifica en mayor medida la volatilidad tanto en la brecha del producto como en la inflación doméstica, mientras que las reglas flexibles implicaron mayores pérdidas que las estrictas.

Por otra parte, conforme han evolucionado los mercados de capitales y la dependencia de las economías sobre la colocación de valores de deuda, los modelos Neo Keynesianos han sido extendido plausiblemente para incluir el mercado de bonos gubernamentales y sus correspondientes fricciones financieras provenientes de los costos de ajuste de portafolio. En este campo de análisis, Harrison (2017) obtiene que el uso de la expansión cuantitativa (*quantitative easing*) como instrumento adicional por parte del banco de Inglaterra puede mejorar el nivel de bienestar, dado que permite compensar los efectos de los choques sobre el producto y la inflación. Más recientemente, Aliaga (2020) aplica el enfoque de Galí (2015) y Harrison (2017) para examinar diez RPM para la economía peruana, encontrando que la RPM basada en el pronóstico de la inflación (IFB) y las reglas que ponderan el tipo de cambio muestran los resultados más óptimos al minimizar la función de pérdida considerada.

Evidentemente, las estrategias más consistentes para estimar los modelos DSGE Neo Keynesianos se cimientan en métodos denominados “fuertes” o de información completa. Estos se basan en la especificación de una estructura probabilística para el modelo que permite la construcción de una función que maximiza la probabilidad de observar un conjunto determinado de datos en base a los parámetros del modelo subyacente (función de verosimilitud). Así, en la versión clásica de computación de estos métodos, las estimaciones de los parámetros se determinan de forma directa a partir de este proceso.² En tanto que en la versión más moderna -el enfoque bayesiano-, se incorporan distribuciones de probabilidad adicionales provistas por el investigador que se combinan con la información de la verosimilitud y luego la función resultante se maximiza bajo el criterio indicado previamente.³ Particularmente, el método de estimación bayesiana es el más popular dentro de los métodos de información completa (Piña, 2016), ofreciendo entre sus ventajas que: la estimación no es sensible al valor estimado de cada parámetro, implican una mayor eficiencia por el uso de toda la información disponible y permiten una mayor caracterización del proceso de generación de datos. Por estos y otros beneficios es que se opta por la estrategia de estimación bayesiana en este trabajo.

² Algunas aplicaciones de este enfoque para modelos DSGE se encuentran en Kim (2000) y Ireland (2001).

³ La aplicación de estas técnicas de estimación en un modelo DSGE se realizó inicialmente por DeJong, Ingram y Whiteman (2000). Desde entonces, han sido adoptadas por varios investigadores.

3 Estructura del modelo

El modelo estructural que se desarrolla en este estudio se basa principalmente en los trabajos de Galí y Monacelli (2005), Galí (2015), Harrison (2017) y Aliaga (2020), donde se emplea un enfoque Neo Keynesiano extendido para incluir fricciones financieras provenientes del mercado de bonos gubernamentales para una economía pequeña y abierta, como la dominicana.

La economía está habitada por cuatro agentes que toman decisiones óptimas en base a una función objetivo: hogares, firmas domésticas, importadores y gobierno representado por el banco central. El hogar representativo enfrenta costos de ajuste de portafolio o cartera al asignar sus recursos entre bonos de corto y largo plazo, donde se crea una brecha entre los rendimientos de estos activos que puede verse influenciada por las acciones de política monetaria. La demanda agregada está compuesta por el promedio ponderado de las tasas de interés de corto y largo plazo, en tanto que la oferta agregada, caracterizada por la curva de Phillips, asume que los precios son rígidos y no se ajustan inmediatamente ante cambios en los costos o en la demanda. Por su parte, el tipo de cambio nominal y la paridad descubierta de tasas de interés cumplen el rol de propagar choques internacionales en la economía doméstica.

En la economía que caracteriza el modelo, la incertidumbre proviene del lado de la oferta y de la demanda, donde se asumen choques de política monetaria, productividad, preferencias, tasa de interés internacional y nivel de precios mundial. En cada caso, se aborda las implicaciones macroeconómicas con un énfasis especial en las reglas que utilizan los bancos centrales en la actualidad para el diseño e implementación de la política monetaria. De este modo, los resultados permiten resaltar estrategias óptimas según la naturaleza del choque prevalente.

3.1 Restricción presupuestaria

Una economía pequeña y abierta típica habitada por familias tiene limitaciones de recursos; con los ingresos que recaudan, asignan sus gastos a un conjunto de bienes y activos. Se considera que hay tres activos en la economía: bonos gubernamentales nominales de corto plazo, bonos gubernamentales nominales de largo plazo y activos contingentes estatales. Los bonos nominales de largo plazo se toman como instrumentos de madurez infinita y los activos contingentes estatales se negocian en los mercados internacionales. Considerando el planteamiento de

Woodford (2003b), la restricción presupuestaria estaría compuesta por activos nominales, en una economía sin balances monetarios, mediante la siguiente especificación:

$$B_t^s + B_t^l + E_t Q_{t,t+1} A_{t+1}^c + P_t C_t = R_{t-1} B_{t-1}^s + R_t^l B_{t-1}^l + A_t^c + W_t N_t + T_t + D_t - \Psi_t \quad (1)$$

El lado izquierdo de la ecuación (1) contiene los gastos: B_t^s , son los bonos gubernamentales nominales de corto plazo; B_t^l son los bonos gubernamentales nominales de largo plazo; A_{t+1}^c son las tenencias de activos contingentes (transados internacionalmente), $Q_{t,t+1}$ es el precio de estos activos (también conocido como factor de descuento estocástico) y E_t su expectativa condicional; C_t son los bienes de consumo; y P_t es el índice de precios al consumidor. En contraposición, el lado derecho de la ecuación (1) contiene los ingresos: B_{t-1}^s son los bonos gubernamentales nominales de corto plazo comprados en el período anterior, que vencen en el período actual con un pago nominal de R_{t-1} por bono; B_{t-1}^l son los bonos gubernamentales nominales de largo plazo comprados en el período anterior, que vencen en el período actual con un pago nominal de R_t^l por bono; N_t son las horas trabajadas; W_t es el salario nominal; T_t son las transferencias netas o impuestos; D_t son los dividendos de las compañías; y Ψ_t son los costos de ajuste del portafolio. Por tanto, R_t y R_t^l son las tasas de interés de corto plazo y largo plazo, respectivamente.

Estos bonos gubernamentales nominales, al ser sustitutos imperfectos, mantienen costos de ajuste cuadráticos, configurados en una función convexa que refleja los gastos de corretaje:

$$\Psi_t = \frac{P_t(b^s + b^l)}{2} \left[\delta \frac{B_t^s}{B_t^l} - 1 \right]^2 + \frac{P_t(b^s + b^l)}{2} \left[\frac{B_t^s/B_t^l}{B_{t-1}^s/B_{t-1}^l} - 1 \right]^2 \quad (2)$$

donde b^s y b^l denotan, respectivamente, los niveles reales de los bonos gubernamentales de corto plazo y largo plazo en el estado estacionario, mientras que δ corresponde a la relación de tenencia en estado estacionario de los bonos de largo plazo a los bonos de corto plazo, de manera que estos costos son cero en el estado estacionario no estocástico.

Estos costos de ajuste tienen dos componentes. El primer componente, que es una función de la desviación de la mezcla de cartera B_t^s/B_t^l de su nivel deseado, intenta capturar las variaciones en la oferta de estos bonos que pueden tener efectos directos en sus tasas de rendimiento y, en consecuencia, en las decisiones de consumo e inversión de los agentes económicos. El segundo

componente, que es una función de la desviación del cambio en la mezcla de cartera, muestra que las variaciones en la oferta de los bonos asociados con su adquisición tienen un efecto en la tasa de los bonos comprados y sus sustitutos cercanos.

3.2 Hogares

La economía está poblada por un continuo de hogares que tienen preferencias sobre una canasta de bienes de consumo diferenciados y trabajo. Estos hogares resuelven tres disyuntivas principales en un escenario estocástico: (a) el diseño de un plan de consumo-ahorro, (b) la asignación de recursos a distintos bienes de consumo en cada período y a la tenencia de activos financieros, y (c) la decisión de cuántas horas de trabajo ofrecer. Las decisiones de consumo y ahorro son realizadas en mercados completos y los hogares son tomadores de precios. En contraste, la decisión de cuánto trabajo ofrecer se hace en un contexto en el que los hogares tienen poder de mercado sobre el tipo de trabajo a ofrecer, lo cual puede ser interpretado como la existencia de un sindicato que negocia período a período el salario vigente en el mercado para cada una de las variedades o tipos de empleo.

Formalmente, cada hogar resuelve maximizar la función objetivo expresada en la ecuación (3), sujeto a la restricción presupuestaria (4) que incluye la formulación de costos de ajuste de cartera, y a la condición de acumulación no excesiva de deuda (5), es decir:

$$\max_{\{B_t^s, B_t^l, A_{t+1}^c, C_t, N_t\}_{t=0}^{\infty}} E_0 \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t g_t \left\{ \frac{C_t^{1-\sigma}}{1-\sigma} - \frac{N_t^{1+\varphi}}{1+\varphi} \right\} \quad (3)$$

con

$$B_t^s + B_t^l + E_t Q_{t,t+1} A_{t+1}^c + P_t C_t = R_{t-1} B_{t-1}^s + R_t^l B_{t-1}^l + A_t^c + W_t N_t + T_t + D_t \\ - \frac{P_t(b^s + b^l)}{2} \left[\delta \frac{B_t^s}{B_t^l} - 1 \right]^2 - \frac{P_t(b^s + b^l)}{2} \left[\frac{B_t^s/B_t^l}{B_{t-1}^s/B_{t-1}^l} - 1 \right]^2 \quad (4)$$

$$\lim_{T \rightarrow \infty} E_t Q_{t,T+1} \{ R_T B_T^s + R_{T+1}^l B_T^l + A_{T+1}^c \} \quad (5)$$

donde β es el factor de descuento, σ es el coeficiente de aversión al riesgo, φ corresponde a la inversa de la elasticidad de la oferta laboral o comúnmente conocida como elasticidad de Frisch, y g_t representa el choque de preferencias que influye en el comportamiento de la tasa de interés real natural.

La restricción de acumulación no excesiva de deuda (5) establece que, en el largo plazo, los pasivos nominales netos del hogar deben crecer a una tasa más baja que la tasa de interés nominal. Esta condición excluye esquemas en los que los hogares renuevan sus deudas netas de forma permanente.

3.2.1 El problema intratemporal

El gasto de consumo está compuesto por los gastos en bienes nacionales y en bienes importados:

$$P_t C_t = P_{d,t} C_{d,t} + P_{m,t} C_{m,t} \quad (6)$$

donde $P_{d,t}$ es el índice de precios domésticos, $P_{m,t}$ es el índice de precios importados expresado en moneda nacional, $C_{d,t}$ y $C_{m,t}$ son índices de consumo de bienes domésticos e importados, respectivamente. El consumo C_t y el índice de precios al consumidor P_t están definidos por funciones de Elasticidad de Sustitución Constante (CES):

$$C_t \equiv \left[(1 - \alpha)^{\frac{1}{\eta}} C_{d,t}^{\frac{\eta-1}{\eta}} - \alpha^{\frac{1}{\eta}} C_{m,t}^{\frac{\eta-1}{\eta}} \right]^{\frac{\eta}{\eta-1}} \quad (7)$$

$$P_t \equiv \left[(1 - \alpha)^{\frac{1}{\eta}} P_{d,t}^{1-\eta} - \alpha^{\frac{1}{\eta}} P_{m,t}^{1-\eta} \right]^{\frac{1}{1-\eta}} \quad (8)$$

El parámetro η es la elasticidad de sustitución entre bienes domésticos e importados, y el parámetro $\alpha \in [0,1]$ es el coeficiente de apertura de la economía, medido como proporción de los productos importados en relación al consumo agregado.

A su vez, los índices de consumo de bienes domésticos e importados quedan definidos mediante:

$$C_{d,t} \equiv \left(\int_0^1 C_{d,t}(i)^{\frac{\epsilon-1}{\epsilon}} di \right)^{\frac{\epsilon}{\epsilon-1}} \quad (9)$$

$$C_{m,t} \equiv \left(\int_0^1 C_{m,t}(j)^{\frac{\epsilon-1}{\epsilon}} dj \right)^{\frac{\epsilon}{\epsilon-1}} \quad (10)$$

donde $i \in [0,1]$ representa la variedad de bienes domésticos y $j \in [0,1]$ la variedad de bienes importados. De este modo, $C_{d,t}(i)$ es el consumo individual doméstico y $C_{m,t}(j)$ es el consumo individual importado. Por su parte, el parámetro ϵ denota la elasticidad de sustitución intratemporal entre las diferentes variedades de bienes.

Asimismo, los índices de precios de bienes domésticos e importados se definen mediante:

$$P_{d,t} \equiv \left(\int_0^1 P_{d,t}(i)^{1-\epsilon} di \right)^{\frac{1}{1-\epsilon}} \quad (11)$$

$$P_{m,t} \equiv \left(\int_0^1 P_{m,t}(j)^{1-\epsilon} dj \right)^{\frac{1}{1-\epsilon}} \quad (12)$$

donde $P_{d,t}(i)$ es el precio individual doméstico y $P_{m,t}(j)$ es el precio individual importado.

La solución del problema intertemporal arroja las siguientes funciones de demanda de consumo de bienes domésticos e importados, que son las asignaciones óptimas dentro de la variedad de bienes disponibles:

$$C_{d,t}(i) = (1 - \alpha) \left(\frac{P_{d,t}(i)}{P_{d,t}} \right)^{-\epsilon} \left(\frac{C_{d,t}}{P_t} \right)^{-\eta} C_t \quad (13)$$

$$C_{m,t}(j) = \alpha \left(\frac{P_{d,t}(i)}{P_{d,t}} \right)^{-\epsilon} \left(\frac{C_{d,t}}{P_t} \right)^{-\eta} C_t \quad (14)$$

3.2.2 El problema intertemporal

Como se muestra en el Apéndice A1, las condiciones de primer orden de los hogares con respecto al consumo, los bonos de corto plazo y los bonos de largo plazo se pueden combinar y log-linearizarse alrededor del estado estacionario⁴, resultando la siguiente ecuación de Euler:

$$\begin{aligned} \hat{c}_t = E_t \hat{c}_{t+1} - \frac{1}{\sigma} [\hat{R}_t - E_t \hat{\pi}_{t+1}] + \frac{\delta(1+\delta)}{\sigma} [\hat{b}_t^s - \hat{b}_t^l] + \frac{(1+\delta)}{\sigma} \Delta [\hat{b}_t^s - \hat{b}_t^l] \\ - \frac{(1+\delta)}{\sigma} \beta E_t \Delta [\hat{b}_{t+1}^s - \hat{b}_{t+1}^l] + \frac{1}{\sigma} (1 - \rho_g) \hat{g}_t \end{aligned} \quad (15)$$

De esta forma, el consumo agregado es una función del consumo esperado $E_t \hat{c}_{t+1}$, la tasa de interés nominal \hat{R}_t , la inflación esperada $E_t \hat{\pi}_{t+1}$, la tenencia de bonos reales de corto plazo \hat{b}_t^s , la tenencia de bonos reales de largo plazo \hat{b}_t^l , y el choque de preferencias \hat{g}_t . Esta ecuación también se puede representar como un promedio ponderado de las tasas de interés de los bonos de corto y largo plazo, por medio de:

$$\hat{c}_t = E_t \hat{c}_{t+1} - \frac{1}{\sigma} \left[\frac{1}{1+\delta} \hat{R}_t + \frac{\delta}{1+\delta} E_t \hat{R}_{t+1} - E_t \hat{\pi}_{t+1} \right] + \frac{1}{\sigma} (1 - \rho_g) \hat{g}_t \quad (16)$$

⁴ Siguiendo el método de Uhlig (1995), $\hat{a}_t = \log(a_t) - \log(a_{ss})$ es la desviación de la variable a_t de su estado estacionario a_{ss} .

Adicionalmente, de las condiciones de optimización se obtiene la ecuación de la tasa de interés nominal de largo plazo esperada, la cual tiene la siguiente forma:

$$E_t \widehat{R}_{t+1} = \widehat{R}_t - \delta \gamma [\widehat{b}_t^s - \widehat{b}_t^l] - \gamma \Delta [\widehat{b}_t^s - \widehat{b}_t^l] + \beta \gamma E_t \Delta [\widehat{b}_{t+1}^s - \widehat{b}_{t+1}^l] \quad (17)$$

donde $\gamma = (1 + \delta)/\delta$. Esta ecuación indica que la tasa de largo plazo esperada depende de las tenencias relativas de los bonos de corto y largo plazo de los hogares. Como resultado, un aumento en las tenencias relativas de bonos de corto plazo de los hogares actúa como una reducción en la tasa de interés nominal de largo plazo, aumentando la demanda de consumo.

3.3 Sector externo

En esta parte, se definen un conjunto de relaciones que vinculan el comportamiento de la inflación total a la dinámica de los precios externos. Por un lado, se asume que la economía no tiene influencia en la determinación del precio de exportación de los bienes de producción domésticos, por lo que se considera que la ley de un solo precio se cumple en este tipo de bienes. Además, existe un traspaso incompleto de las variaciones del costo de importación a los precios de bienes importados a nivel doméstico.

Términos de intercambio :

$$\widehat{tt}_t = \widehat{p}_{m,t} - \widehat{p}_{d,t} \quad (18)$$

Esta identidad se define como la diferencia entre el índice de precios de productos importados y el índice de precios de productos domésticos.

Índice de precios al consumidor (IPC) :

$$\widehat{p}_t = (1 - \alpha) \widehat{p}_{d,t} + \alpha \widehat{p}_{m,t} \quad (19)$$

$$\widehat{p}_t = \widehat{p}_{d,t} + \alpha \widehat{tt}_t \quad (20)$$

El IPC (19) está compuesto por el índice de precios domésticos y el índice de precios importados. Este índice de precios agregado también puede expresarse por medio de la identidad (20) que incluye los términos de intercambio.

Inflación IPC e inflación doméstica:

$$\widehat{\pi}_t = \widehat{p}_t - \widehat{p}_{t-1} \quad (21)$$

$$\widehat{\pi}_{d,t} = \widehat{p}_{d,t} - \widehat{p}_{d,t-1} \quad (22)$$

$$\widehat{\pi}_t = \widehat{\pi}_{d,t} + \alpha (\widehat{tt}_t - \widehat{tt}_{t-1}) \quad (23)$$

La inflación IPC (21) se define como la tasa de cambio en el IPC, mientras que la inflación doméstica (22) es la tasa de cambio en el índice de precios domésticos. Estas dos identidades pueden relacionarse usando los términos de intercambio, mediante la ecuación (23).

Tipo de cambio nominal:

$$\widehat{tt}_t = \widehat{e}_t + \widehat{p}_t^* - \widehat{p}_{d,t} \quad (24)$$

Se asume que la ley de un solo precio se mantiene en todos los períodos, siendo \widehat{e}_t el tipo de cambio nominal y \widehat{p}_t^* el nivel de precios mundial expresado en moneda extranjera (en lo adelante, esta variable está representada mediante un choque).

Tipo de cambio real:

$$\widehat{q}_t = \widehat{p}_{m,t} - \widehat{p}_t \quad (25)$$

$$\widehat{q}_t = (1 - \alpha)\widehat{tt}_t \quad (26)$$

El tipo de cambio real (25) se define como la diferencia entre el índice de precios importados y el IPC, pudiendo de igual modo expresarse en función a los términos de intercambio en la ecuación (26).

Riesgo compartido internacional:

$$\widehat{c}_t = \widehat{y}_t^* + \frac{1}{\sigma}\widehat{g}_t + \left(\frac{1 - \alpha}{\sigma}\right)\widehat{tt}_t \quad (27)$$

Esta identidad asume un conjunto completo de activos contingentes negociados en el mercado internacional, donde \widehat{y}_t^* es el producto mundial y \widehat{g}_t el choque de preferencias.

Paridad descubierta de tasas de interés:

$$\widehat{R}_t = \widehat{R}_t^* + E_t\widehat{e}_{t+1} - \widehat{e}_t \quad (28)$$

Se asume un régimen de tipo de cambio flexible con perfecta movilidad de capitales, siendo \widehat{R}_t^* la tasa de interés internacional. Esta ecuación parte del diferencial entre la tasa de interés doméstica e internacional, donde el tipo de cambio se ajusta gradualmente.

Exportaciones:

$$X_t = \alpha TT_{ss}^\eta \widehat{y}_t^* \quad (29)$$

Donde TT_{ss} son los términos de intercambio de estado estacionario. Esta identidad supone que las preferencias de los hogares domésticos son idénticas a las preferencias de los hogares en el

resto del mundo, y también implica un consumo internacional equivalente a la producción mundial, $\hat{c}_t^* = \hat{y}_t^*$.

3.4 Firmas

Se considera un conjunto de firmas monopolísticamente competitivas indexadas por $i \in [0,1]$ que producen bienes diferenciados que son comprados por los hogares.

$$Y_t \equiv \left(\int_0^1 Y_t(i)^{\frac{\epsilon}{\epsilon-1}} di \right)^{\frac{\epsilon-1}{\epsilon}} \quad (30)$$

siendo Y_t el producto interno agregado, análogo al consumo interno.

Tecnología:

Las firmas producen sus bienes siguiendo una función de producción de rendimientos constantes:

$$Y_t(i) = A_t N_t(i) \quad (31)$$

donde $Y_t(i)$ es el producto de la firma (i) ; $a_t \equiv \log(A_t)$ representa el nivel de tecnología que evoluciona exógenamente en el tiempo; y $N_t(i)$ es el nivel de trabajo empleado por cada firma.

Formación óptima de precios:

Siguiendo a Calvo (1983), la firma doméstica fija los precios de forma escalonada, es decir, existen rigideces nominales en los precios, donde la función objetivo a optimizar viene dada por:

$$\max_{\{\tilde{P}_{d,t}\}} E_t \sum_{k=0}^{\infty} Q_{t,t+k} \theta^k \left\{ \tilde{P}_{d,t} - (1-s) \frac{W_{t+k}}{A_{t+k}} \right\} Y_{t+k} \quad (32)$$

Esta función indica que las firmas eligen el precio $\tilde{P}_{d,t}$ que maximiza el valor presente de los beneficios de mercado generados mientras ese precio sigue siendo efectivo. De su parte, $Q_{t,t+k}$ representa el factor de descuento estocástico para el período $t+k$; θ es el índice natural de rigidez de precios o también conocido como la probabilidad de que la empresa no vuelva a optimizar su precio; y s es un subsidio que neutraliza la distorsión asociada con el poder de mercado de las firmas.

Curva de Phillips con rigideces de precios:

Resolviendo las expresiones que se derivan del problema de optimización de las firmas (ver

Apéndice A2), la expresión de la Curva de Phillips que considera rigideces de precios, en su forma linealizada, tiene la siguiente especificación:

$$\hat{\pi}_{d,t} = \beta E_t \hat{\pi}_{d,t+1} - \lambda \hat{\mu}_t \quad (33)$$

Esta ecuación muestra que la inflación interna se compone de la inflación interna esperada $\hat{\pi}_{d,t+1}$, y la brecha de margen $\hat{\mu}_t = -(\sigma_\alpha + \varphi)\hat{x}_t$, con $\lambda = (1 - \theta)(1 - \beta\theta)/\theta$. Inicialmente, bajo la anterior especificación se deduce que la inflación interna no depende de ningún parámetro que caracterice una economía abierta.

3.5 Equilibrio

El equilibrio en el mercado de bienes domésticos se satisface cuando la producción de bienes domésticos es igual a la demanda total de dichos bienes, con lo que en resumen se requiere la siguiente identidad:

$$Y(i) = \left(\frac{P_{d,t}(i)}{P_{d,t}} \right)^{-\epsilon} \left\{ (1 - \alpha) \left(\frac{P_{d,t}}{P_t} \right)^{-\eta} C_t + \alpha T T_{ss}^\eta \hat{y}_t^* \right\} + \Psi_t \quad (34)$$

Al acoplar el producto interno agregado (30) en la definición de demanda interna agregada, se obtiene la siguiente condición:

$$Y_t = (1 - \alpha) \left(\frac{P_{d,t}}{P_t} \right)^{-\epsilon} C_t + \alpha T T_t^\eta \hat{y}_t^* + \Psi_t \quad (35)$$

Los costos de ajuste de cartera log-linealizados no afectan el equilibrio en el mercado de bienes. Así, el producto agregado en equilibrio se puede aproximar a través de su estado estacionario simétrico:

$$\hat{y}_t = (1 - \alpha)\hat{c}_t + \alpha\eta\hat{t}t_t + \alpha\hat{y}_t^* \quad (36)$$

Combinando las expresiones (27) y (36), se pueden expresar los términos de intercambio como:

$$\hat{t}t_t = \sigma_\alpha(\hat{y}_t - \hat{y}_t^*) - (1 - \alpha)\Phi\hat{g}_t \quad (37)$$

donde $\sigma_\alpha \equiv \sigma\Phi$, $\Phi \equiv 1/(1 + \alpha(\bar{\omega} - 1))$, y $\bar{\omega} \equiv \sigma\eta + (1 - \alpha)(\sigma\eta - 1)$.

El consumo en una economía abierta es el resultado de combinar la ecuación de Euler (16) y la inflación interna (23):

$$\hat{c}_t = E_t \hat{c}_{t+1} - \frac{1}{\sigma} \left\{ \frac{1}{1 + \delta} \hat{R}_t - E_t \hat{\pi}_{d,t+1} + \frac{\delta}{1 + \delta} E_t \hat{R}_{t+1}^l \right\} + \frac{\alpha}{\sigma} E_t \Delta \hat{t}t_{t+1} + \frac{1}{\sigma} (1 - \rho_g) \quad (38)$$

La combinación de las ecuaciones (36), (37), y (38) arroja la primera versión de la curva IS dinámica para una economía pequeña y abierta:

$$\hat{y}_t = E_t \hat{y}_{t+1} - \frac{1}{\sigma_\alpha} \left\{ \frac{1}{1+\delta} \hat{R}_t - E_t \hat{\pi}_{d,t+1} + \frac{\delta}{1+\delta} E_t \hat{R}_{t+1}^l \right\} + \Gamma_{\bar{w}} E_t \Delta \hat{y}_{t+1}^* + \frac{1-\alpha}{\sigma} (1-\rho_g) \hat{g}_t \quad (39)$$

donde $\Gamma_{\bar{w}} = \alpha \bar{w} - \alpha$.

Por otro lado, el ciclo económico se caracteriza por la brecha del producto, esto es, la desviación entre el producto y el producto natural:

$$\hat{x}_t = \hat{y}_t - \hat{y}_t^n \quad (40)$$

Por lo tanto, la brecha del producto es positiva si el producto actual excede al producto natural, y negativa si el producto actual no alcanza el producto natural.

En general, la ecuación (39) se puede reformular en términos de la brecha del producto:

$$\hat{x}_t = E_t \hat{x}_{t+1} - \frac{1}{\sigma_\alpha} \left\{ \frac{1}{1+\delta} \hat{R}_t - E_t \hat{\pi}_{d,t+1} + \frac{\delta}{1+\delta} E_t \hat{R}_{t+1}^l - \hat{i}_t^n \right\} \quad (41)$$

De esta forma, la curva IS dinámica depende del promedio ponderado de las tasas de interés de corto y largo plazo, siendo \hat{i}_t^n la tasa de interés real natural. Esta última tiene un concepto de equilibrio implícito que permite determinar si la política monetaria es contractiva o expansiva. Mediante cambios en la tasa de interés nominal de corto plazo, el banco central puede corregir las desviaciones del producto o mantener la inflación interna en un rango determinado. En adición, con una sustitución imperfecta de bonos, es posible tener un canal adicional de política monetaria que influya en la demanda agregada.

A continuación, se presentan las ecuaciones complementarias del modelo en su forma log-linealizada, que se derivan de las expresiones ya establecidas y las condiciones de optimización, necesarias para computar las estimaciones del modelo.

Consumo determinado por la restricción presupuestaria:

$$\hat{c}_t = \hat{y}_t - \widehat{nx}_t - \alpha \hat{t} \hat{t}_t \quad (42)$$

Exportaciones netas:

$$\widehat{nx}_t = \alpha \left(\frac{\bar{\omega}}{\sigma} - 1 \right) \hat{t} \hat{t}_t - \frac{\alpha}{\sigma} \hat{g}_t \quad (43)$$

Un choque de preferencias afecta las exportaciones netas, causando un déficit comercial.

Función de producción: $\hat{y}_t = \hat{a}_t + \hat{n}_t$ (44)

Producto natural:

$$\hat{y}_t^n = \Gamma_a \hat{a}_t + \Gamma_g \hat{g}_t + \Gamma^* \hat{y}_t^* \quad (45)$$

donde $\Gamma_a \equiv (1 + \varphi)/(\sigma_\alpha + \varphi)$, $\Gamma_g \equiv -\alpha\bar{\omega}\Phi/(\sigma_\alpha + \varphi)$, y $\Gamma^* \equiv -\alpha(\bar{\omega} - 1)\sigma_\alpha/(\sigma_\alpha + \varphi)$. Esta identidad indica que un choque positivo de productividad, un choque positivo de preferencias y un incremento en el producto mundial aumentan temporalmente el producto natural. A largo plazo, una economía en recesión o sobrecalentada debe volver a su nivel natural de producción.

Términos de intercambio naturales:

$$\hat{t}t_t^n = \sigma_\alpha(\hat{y}_t^n - \hat{y}_t^*) - (1 - \alpha)\Phi\hat{g}_t \quad (46)$$

En este caso, se tiene que los términos de intercambio naturales pueden ser influenciados por el producto natural, el producto internacional y el choque de preferencias.

Brecha de los términos de intercambio:

Mediante las expresiones (36) y (37), esta brecha se puede representar mediante

$$\tilde{t}t_t = \sigma_\alpha \hat{x}_t \quad (47)$$

Brecha de margen:

$$\hat{\mu}_t = -(\sigma + \varphi)\hat{y}_t + \alpha(\bar{\omega} - 1)\hat{t}t_t + (1 + \varphi)\hat{a}_t - \alpha\hat{g}_t \quad (48)$$

$$\hat{\mu}_t = -(\sigma + \varphi)\hat{x}_t + \alpha(\bar{\omega} - 1)\tilde{t}t_t \quad (49)$$

$$\hat{\mu}_t = -(\sigma_\alpha + \varphi)\hat{x}_t \quad (50)$$

Oferta agregada:

Combinando las ecuaciones (33) y (48), se obtiene la curva de Phillips para una economía abierta:

$$\hat{\pi}_{d,t} = \beta E_t \hat{\pi}_{d,t+1} + \kappa \hat{y}_t - \lambda \alpha (\bar{\omega} - 1) \hat{t}t_t - \lambda (1 + \varphi) \hat{a}_t + \lambda \alpha \hat{g}_t \quad (51)$$

en la que $\kappa \equiv \lambda(\sigma + \varphi)$. Esta ecuación expone que la inflación doméstica se ajusta gradualmente de un período a otro. Adicionalmente, se tiene una relación positiva con el producto, una relación negativa con los términos de intercambio, así como una exposición a los choques de productividad (oferta) y a los choques de preferencias (demanda).

De modo similar, si se combinan las identidades (33) y (50), se puede derivar la curva de

Phillips Neo Keynesiana:

$$\hat{\pi}_{d,t} = \beta E_t \hat{\pi}_{d,t+1} + \kappa_\alpha \hat{x}_t \quad (52)$$

cuya interpretación radica en que la inflación domestica se compone de la inflación esperada doméstica y la brecha del producto. En particular, $\kappa_\alpha \equiv \lambda(\sigma_\alpha + \varphi)$ muestra que la dinámica de la inflación es influenciada por el grado de apertura del país, α , y la sustitución entre los bienes domésticos e importados. Por consiguiente, mayor grado de apertura reduce la sensibilidad de la inflación doméstica a la brecha del producto.

Tasa de interés real:
$$\hat{i}_t = \hat{R}_t - E_t \hat{\pi}_{d,t+1} \quad (53)$$

Tasa de interés real natural:

$$\hat{i}_t^n = -\sigma_\alpha \Gamma_a (1 - \rho_\alpha) \hat{a}_t + \Theta^* E_t \Delta \hat{y}_{t+1}^* + \Theta_g (1 - \rho_g) \hat{g}_t \quad (54)$$

Con $\Theta^* \equiv \sigma_\alpha [\alpha(\bar{\omega} - 1) + \Gamma^*]$ y $\Theta_g \equiv (1 - \alpha)\Phi - \sigma_\alpha \Gamma_g$. La identidad (54) indica que un choque negativo de productividad, un aumento en el crecimiento esperado del producto mundial y un choque de preferencias positivo temporal implican un aumento de la tasa de interés natural.

Bonos gubernamentales

En equilibrio, los bonos de corto y largo plazo quedan definidos, respectivamente, por las expresiones (55) y (56), en tanto que el equilibrio de mercado de estos activos queda expresado en la identidad (57):

$$\frac{B_t^s}{P_t} = \hat{b}_t^s = b \quad (55)$$

$$\frac{B_t^l}{P_t} = \hat{b}_t^l = \delta b \quad (56)$$

$$\hat{b}_t^s - \hat{b}_t^l = -\hat{b}_t^l \quad (57)$$

Consecuentemente, la relación entre los bonos gubernamentales de largo plazo y la tasa de interés esperada de largo plazo, se vinculan mediante:

$$E_t \hat{R}_{t+1}^l = \hat{R}_t + (1 + \delta + \beta) \gamma \hat{b}_t^l - \gamma \hat{b}_{t-1}^l - \beta \gamma E_t \hat{b}_{t+1}^l \quad (58)$$

Salario:
$$\hat{w}_t - \hat{p}_t = \sigma \hat{c}_t + \varphi \hat{n}_t \quad (59)$$

En complemento a las ecuaciones anteriores, el Apéndice A3 presenta un esquema sintetizado de la estructura del modelo y la interacción entre los agentes.

3.6 Reglas de política monetaria (RPM)

Las RPM son fórmulas matemáticas que describen cómo los bancos centrales ajustan su tasa de política monetaria (TPM) a los cambios en las principales variables macroeconómicas. Siguiendo la literatura, se evalúan diez reglas para estudiar la interacción dinámica entre las variables⁵, según se resume en la Tabla 1, con el supuesto de que los cambios en la TPM se transmiten a la tasa de interés nominal de corto plazo y a la tasa de interés real.

Tabla 1. Reglas de política monetaria (RPM) simuladas

Regla	Especificación	Descripción/Justificación
R1:	$\widehat{R}_t = \varphi_\pi \widehat{\pi}_t + \widehat{\xi}_t$	Esta regla impone un esquema estricto de inflación IPC, donde φ_π es el coeficiente de reacción.
R2:	$\widehat{R}_t = \varphi_\pi \widehat{\pi}_{d,t} + \widehat{\xi}_t$	Implica un esquema estricto de metas de inflación doméstica, siendo φ_π el coeficiente de reacción.
R3:	$\widehat{R}_t = \varphi_R \widehat{R}_{t-1} + \varphi_\pi \widehat{\pi}_{d,t} + \widehat{\xi}_t$	Consiste en una extensión de la regla R2, donde se añade un componente inercial de la tasa de interés, con coeficiente φ_R .
R4:	$\widehat{e}_t = 0$	Regla para régimen de tipo de cambio nominal fijo, justificada por Banerjee, Devereux y Lombardo (2015) para una economía emergente con fricciones financieras.
R5:	$\widehat{R}_t = \varphi_\pi \widehat{\pi}_t + \varphi_x \widehat{x}_t + \widehat{\xi}_t$	Regla de Taylor (1993), donde la política monetaria responde a la inflación IPC y a la brecha del producto.
R6:	$\widehat{R}_t = \varphi_\pi \widehat{\pi}_{d,t} + \varphi_x \widehat{x}_t + \widehat{\xi}_t$	Consiste en la regla de Taylor (1993) considerando la inflación doméstica en lugar de la inflación IPC.
R7:	$\widehat{R}_t = \varphi_R \widehat{R}_{t-1} + \varphi_\pi \widehat{\pi}_{d,t} + \varphi_x \widehat{x}_t + \widehat{\xi}_t$	Se incorpora un componente inercial de la tasa de interés en la regla R6, en línea con Orphanides (2003).
R8:	$\widehat{R}_t = \varphi_R \widehat{R}_{t-1} + \varphi_\pi \widehat{\pi}_{d,t} + \varphi_{\pi F} \widehat{\pi}_{d,t+1} + \widehat{\xi}_t$	Se relaciona con una política de orientación “hacia adelante (<i>forward-looking</i>)”, que responde a la inflación doméstica y a las desviaciones de la inflación esperada de la meta, siendo $\varphi_{\pi F}$ la reacción al pronóstico de la inflación. Sustentada en Batini y Haldane (1998).
R9:	$\widehat{R}_t = \varphi_\pi \widehat{\pi}_{d,t} + \varphi_e \widehat{e}_t + \widehat{\xi}_t$	Incorpora el canal del tipo de cambio nominal en la transmisión de política monetaria, donde φ_e corresponde al coeficiente de esta reacción.
R10:	$\widehat{R}_t = \varphi_R \widehat{R}_{t-1} + \varphi_\pi \widehat{\pi}_{d,t} + \varphi_e \widehat{e}_t + \widehat{\xi}_t$	Se basa en una extensión de la regla R9 con el canal de tipo de cambio nominal, añadiendo un componente inercial de la tasa de interés.

Fuente: Elaboración propia.

⁵ Estas reglas se basan en Batini, Harrison y Millard (2003), Galí (2015) y Walsh (2017) para economías pequeñas y abiertas.

3.7 Especificación de choques estructurales

Los efectos dinámicos del modelo se estudian con la implementación de cinco choques principales: política monetaria, productividad, preferencias, tasa de interés internacional y nivel de precios mundial. Estos choques son modelados como procesos autorregresivos, donde los parámetros $\rho_i \in (0,1)$ son los coeficientes de autocorrelación, y ε_t^i son las innovaciones correspondientes, según se resume en la Tabla 2. Se considera que estas innovaciones siguen una distribución normal, independiente e idénticamente distribuida con desviación estándar σ_i .

Tabla 2. Representación de choques estructurales

Choque	Representación
Política monetaria	: $\hat{\xi}_t = \rho_\xi \hat{\xi}_{t-1} + \varepsilon_t^\xi$
Productividad	: $\hat{a}_t = \rho_a \hat{a}_{t-1} + \varepsilon_t^a$
Preferencias	: $\hat{g}_t = \rho_g \hat{g}_{t-1} + \varepsilon_t^g$
Tasa de interés internacional	: $\hat{R}_t^* = \rho_{R^*} \hat{R}_{t-1}^* + \varepsilon_t^{R^*}$
Nivel de precios mundial	: $\hat{p}_t^* = \rho_{p^*} \hat{p}_{t-1}^* + \varepsilon_t^{p^*}$

Fuente: Elaboración propia.

3.8 Evaluación de costo en bienestar de las reglas RPM

Para evaluar el costo en bienestar social de las diferentes RPM presentadas en la Tabla 1, se utiliza una función de pérdida basada en la utilidad de los hogares. Siguiendo a Galí y Monacelli (2005) y Galí (2015), bajo los supuestos de un esquema de metas de inflación y una elasticidad de sustitución unitaria entre los bienes domésticos e importados ($\eta = 1$), es posible derivar una aproximación de segundo orden de la pérdida de utilidad descontada del consumidor representativo doméstico, asociada a las desviaciones y reglas de la política monetaria. Esta medida de costo en bienestar se expresa en términos de la inflación doméstica y la brecha del producto, definida mediante:

$$\mathbb{W} = \frac{(1-\alpha)}{2} \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t \left\{ \frac{\epsilon}{\lambda} \hat{\pi}_{d,t}^2 + (1+\varphi) \hat{x}_t^2 \right\} \quad (60)$$

Tomando la expectativa incondicional en la expresión (60) y dejando que $\beta \rightarrow 1$, las pérdidas de bienestar esperadas de cualquier política que se desvió del objetivo estricto de inflación se pueden escribir en términos de las varianzas de la inflación y la brecha del producto, resultando:

$$\mathbb{B} = \frac{(1 - \alpha)}{2} \left\{ \frac{\epsilon}{\lambda} \text{var}(\hat{\pi}_{d,t}) + (1 + \varphi) \text{var}(\hat{x}_t) \right\} \quad (61)$$

En lo adelante, se hace uso de la aproximación previa para evaluar las implicaciones de bienestar de las RPM alternativas establecidas en la sección (3.6), y para clasificar esas reglas en función de su bondad de ajuste con los datos observados.

4 Estimación

4.1 Metodologías

Las estimaciones del modelo se computan fundamentalmente a través de un enfoque Bayesiano⁶, siguiendo a Lubik y Schorfheide (2005), Rabanal y Rubio-Ramírez (2005), An y Schorfheide (2006) y Aliaga (2020). Una ventaja de estimar modelos estructurales con esta técnica es la posibilidad de incorporar información a priori (*prior*) que permite guiar la estimación de los parámetros. Bajo esta perspectiva, los parámetros son interpretados en primera instancia como variables aleatorias, cuyo objetivo ulterior es condicionar su estimación probabilística a tres factores: las distribuciones a priori, la estructura del modelo y los datos observados.

En el cómputo de las estimaciones de este estudio, las informaciones *prior* se combinan con la función de verosimilitud para obtener el vector de parámetros de la distribución posterior. En este proceso, se emplea el filtro de Kalman⁷ para evaluar la función de verosimilitud de la aproximación logarítmica lineal del modelo, en tanto que el algoritmo RWMH-MCMC (*Random Walk Metropolis Hastings - Markov chain Monte Carlo*) se utiliza para derivar las distribuciones

⁶ En este enfoque, la estimación de los parámetros estructurales son el resultado de la información provista por el investigador y la información contenida en los datos (verosimilitud).

⁷ Es un algoritmo para actualizar, observación a observación, la proyección lineal de un sistema de variables sobre el conjunto de información disponible, según se va disponiendo de nueva información. Este permite calcular la verosimilitud de un modelo dinámico lineal, uniecuacional o multiecuacional, lo que permite a su vez estimar los parámetros y proyecciones de dicho modelo [Véase Novales (2017)].

posteriores.⁸ Entonces, la probabilidad marginal logarítmica, el factor de Bayes (FB)⁹ y la probabilidad posterior del modelo se utilizan para comparar las RPM establecidas en la sección 3.6, en cuestión del ajuste con los datos.¹⁰ Al emplear estas técnicas, es posible determinar la eficiencia de cada regla en términos de la función de costo en bienestar de los hogares, y cuál regla replica con mayor exactitud el proceso generador de datos. De igual modo, con estas estimaciones se derivan análisis complementarios de importancia para fines de política monetaria, como lo son las funciones de impulso respuesta (IRF), la descomposición histórica de varianza, la descomposición de varianza del error de predicción, entre otros.

Las formalidades técnicas sobre la estimación Bayesiana, el algoritmo RWMH-MCMC y el factor de Bayes para este trabajo, se exponen en el Apéndice A4. Para las estimaciones, se configuraron cinco cadenas de 250,000 replicaciones y un ratio de aceptación de aproximadamente 30%, en consistencia con las recomendaciones en el manual de usuarios de Dynare.

4.2 Datos

Para las estimaciones del estudio, se emplean ocho variables observables en frecuencia trimestral para el período comprendido entre el primer trimestre de 2007 al primer trimestre de 2020, para un total de 53 observaciones. El conjunto de variables domésticas, cinco en total, contiene el crecimiento interanual del Producto Interno Bruto (PIB), la variación interanual del consumo privado, la inflación interanual medida a través del Índice de Precios al Consumidor (IPC), la variación interanual del tipo de cambio nominal y la tasa de interés interbancaria como *proxy* de la Tasa de Política Monetaria.¹¹ Estos datos se obtienen desde la página web del BCRD.

⁸ El RWMH-MCMC es una de las técnicas más populares de muestreo estadístico que forma parte de la familia de métodos de Monte Carlo. Este algoritmo se basa en generar una cadena de Markov tal que la distribución estacionaria asociada es única e igual a la distribución posterior de interés. Para más detalles sobre este algoritmo, véase Herbst y Schorfheide (2015).

⁹ Para dos modelos (a) y (b), este factor puede interpretarse como la razón de sus probabilidades posteriores. Así, este ratio puede verse como una medida de que los datos prefieren el modelo (a) sobre el modelo (b).

¹⁰ El software utilizado para la estimación del modelo es Matlab R2019a en conjunto con el módulo DYNARE (Dynamic Rational Expectations), diseñado este último para estimar y solucionar modelos dinámicos con perturbaciones aleatorias y expectativas racionales.

¹¹ La inflación interanual, la tasa interbancaria y el tipo de cambio nominal se transformaron en trimestrales como promedios simples de las observaciones de los tres meses correspondientes, en línea con Aguilera (2018).

Asimismo, se utilizan el crecimiento interanual del PIB, inflación del IPC y la tasa efectiva de los fondos federales (FFR) de Estados Unidos, respectivamente, como variables representativas de la producción mundial, del nivel de precios mundial y de la tasa de interés internacional. Estas series se adquieren desde la *Federal Reserve Economic Data* (FRED) del Banco de la Reserva Federal de St. Louis.

La evolución histórica de estas series observadas se presenta en el Apéndice A5, entretanto el Apéndice A6 muestra las correlaciones contemporáneas y sus estadísticas descriptivas. De antemano, los estadísticos sugieren una correlación positiva importante entre el PIB y la inflación IPC doméstica con sus variables homólogas externas, no siendo el caso para la tasa de interés doméstica con la internacional.

Todas las variables, para el cómputo de las estimaciones, fueron desestacionalizadas y desviadas de sus tendencias, considerando de este modo los movimientos relacionados al ciclo de negocios.¹² Este tratamiento de las series es particularmente necesario, en razón de que el modelo se resuelve con aproximaciones de Taylor alrededor del estado estacionario. Por lo tanto, es fundamental que las variables sean estacionarias.

4.3 Parámetros

Para este tipo de análisis, las distribuciones a priori juegan un papel importante en la estimación del modelo. En principio, esta información puede provenir de la introspección y conocimiento del investigador, de estudios previos o de valores de largo plazo que se desean alcanzar en el modelo. En el caso particular de este trabajo, la información *prior* de los parámetros fue tomada en base a otras investigaciones que han estimado modelos DSGE para República Dominicana y América Latina.¹³ De la misma manera, se calibraron otros parámetros para los cuales no se dispone de información suficiente para generar inferencias sobre su valor.

¹² Las series fueron desestacionalizadas con el método X-12 ARIMA desarrollado por el US Census Bureau. Para extraer la tendencia, se utilizó el filtro Hodrick-Prescott (HP) con un parámetro de suavizado igual a 1600. Ambas técnicas se computaron con el Software EViews 10.

¹³ Véase McDermott y McMenamin (2008), Ramírez y Torres (2015), Arana, Ramírez y Wright (2017), y Aguilera (2018).

De un total de veintitrés parámetros primarios, se calibraron (fijaron) seis. El factor de descuento, β , es calibrado en 0.99, de manera que la tasa de interés relevante para el consumidor sea de 4% anual. El parámetro α , que representa el grado de apertura económica, se establece en 0.43, que corresponde con el promedio del ratio importaciones/consumo privado en la muestra considerada. La elasticidad de sustitución intertemporal entre bienes domésticos, ϵ , se fija en un valor de 9.¹⁴ La relación de tenencia en estado estacionario de los bonos de largo plazo a los bonos de corto plazo, δ , se calibra en 3, en línea con Harrison (2017) y Aliaga (2020). Asimismo, la inversa de la elasticidad de la oferta laboral φ se establece unitaria, sustentado en Galí (2015) y Ramírez y Torres (2015). Por último, el coeficiente de reacción al pronóstico de la inflación esperada de la regla R8, $\varphi_{\pi F}$, se considera en 5, en sincronía con Batini y Haldane (1998) y Batini, Harrison y Millard (2003).

Los demás parámetros fueron estimados partiendo del método de máxima verosimilitud (MV), a fin de obtener estimaciones que sean más probables de ocurrir según los datos observados en la muestra. Luego, estas informaciones obtenidas son utilizadas como insumos para estimar el modelo por métodos bayesianos, obtener sus distribuciones posteriores y derivar los análisis complementarios. Las estimaciones de los parámetros se presentan en el Apéndice A7, donde se valida que las estimaciones bayesianas posteriores son muy similares a las de MV.

De los parámetros estimados por MV, cabe destacar los valores promedio obtenidos de los coeficientes que reflejan el peso de la inflación, la brecha del producto, el tipo de cambio y la inercia de la tasa de interés en las RPM, de $\varphi_{\pi} = 2.23$, $\varphi_y = 0.01$ y $\varphi_e = 0.15$ y $\varphi_R = 0.74$ respectivamente. Así, el modelo estimado con las variables observables confirma una ponderación mayúscula de la política monetaria sobre la inflación total y su desvío de la meta, lo cual es consistente con el esquema de metas de inflación (EMI) que se sigue en la actualidad.¹⁵

¹⁴ Este valor es implementado en Galí (2015) en el caso de una economía pequeña abierta, y es alrededor del promedio de los valores calibrados en Arana, Ramírez y Wright (2017) y Aliaga (2020).

¹⁵ Con datos estimados para el período 2000 hasta 2012, Ramírez y Torres (2015) obtienen de modo similar un mayor peso hacia la inflación en la regla de política. No obstante, desde la adopción del EMI en el 2012, el objetivo principal de la autoridad monetaria es la tasa de inflación, lo que justifica que para una muestra más reciente se obtenga una ponderación más alta para esta variable. Esto último es consistente con los hallazgos de Checho y Camacho (2018).

En continuación al punto anterior, el coeficiente de reacción al tipo de cambio sucede en magnitud al coeficiente de inflación (obviando el coeficiente de inercia). Esto último se enmarca dentro de los trabajos de Rojas (2002) y Morón y Winkelried (2005) en la prevalencia de un esquema de metas de inflación, donde se evidencia que la mayor fuente de volatilidad en economías vulnerables a choques externos proviene específicamente del tipo de cambio. En consonancia, arguyen que la preocupación del tipo de cambio debe seguir en orden de importancia a la inflación en aras de obtener una RPM óptima. En el mismo contexto, los autores sustentan un rol diminuto de la brecha de producto en la función de reacción de la política monetaria. Por su parte, como se verá más adelante, el coeficiente de inercia de la tasa de interés coadyuva en atenuar principalmente la volatilidad de la inflación.

Con relación a los coeficientes de autocorrelación de los choques estructurales, estos presentaron con alto nivel de significancia, en su mayoría, elasticidades sobre 0.60, a excepción al del choque de política monetaria. De su lado, el cómputo para la desviación estándar del choque de política monetaria mantuvo un nivel más alto que los demás choques, similar a las estimaciones en Del Negro y Schorfheide (2008).

5 Resultados

En esta sección se discuten los principales resultados del estudio. En primer lugar, se analiza cuáles RPM resultan más óptimas desde el punto de vista de la minimización del costo en bienestar, esto considerando la activación conjunta o aislada de los choques estructurales. En segundo lugar, se estudian las funciones de impulso respuesta (IRF) de cada choque, simulando cada reacción con las diez RPM que se abordan. En tercer lugar, se evalúan las distribuciones posteriores del modelo estimado, permitiendo inferir cuál regla explica en mayor ajuste al conjunto de las variables observadas. En cuarto lugar, se realiza un análisis de las fuentes de fluctuaciones de las variables domésticas observables para el período en análisis, permitiendo identificar la contribución histórica de los choques estructurales en la evolución de estas series. Por último, se presenta la descomposición de varianza del error de predicción, donde se destaca en distintos horizontes de tiempo el porcentaje de volatilidad que registra cada variable por los choques estructurales.

5.1 Análisis de bienestar agregado

En razón de que se emplea una función de pérdida de bienestar (\mathbb{B}) como parámetro de medida para evaluar las RPM, la tarea a realizar en esta subsección radica entonces en resaltar las reglas que minimicen este criterio. La Tabla 3 resume, para cada RPM, las desviaciones estándar del producto $\sigma(\hat{y})$, la brecha del producto $\sigma(\hat{x})$, la inflación doméstica $\sigma(\hat{\pi}_d)$, la inflación total $\sigma(\hat{\pi})$, los términos de intercambio $\sigma(\hat{tt})$ y de la variación del tipo de cambio $\sigma(\Delta\hat{e})$ en un escenario donde los cinco choques estructurales están presentes (política monetaria, productividad, preferencias, tasa de interés internacional y nivel de precios mundial). La última columna de la tabla, contiene la cuantificación del costo en bienestar exhibido al considerar cada regla de forma independiente.

Tabla 3. Evaluación de costo en bienestar de las reglas RPM

	$\sigma(\hat{y})$	$\sigma(\hat{x})$	$\sigma(\hat{\pi}_d)$	$\sigma(\hat{\pi})$	$\sigma(\hat{tt})$	$\sigma(\Delta\hat{e})$	\mathbb{B}
R1	1.234	0.29	1.082	0.979	1.395	1.528	2.426
R2	1.341	0.201	1.003	1.107	1.508	1.861	2.066
R3	1.344	0.234	0.614	0.775	1.510	1.664	0.797
R4	1.163	0.502	1.201	1.026	1.304	0.000	3.074
R5	1.234	0.290	1.081	0.978	1.395	1.528	2.422
R6	1.341	0.201	1.003	1.107	1.508	1.861	2.066
R7	1.344	0.234	0.614	0.774	1.510	1.664	0.797
R8	1.341	0.199	0.521	0.686	1.507	1.623	0.574
R9	1.319	0.213	0.892	0.965	1.485	1.683	1.642
R10	1.326	0.233	0.608	0.721	1.491	1.554	0.782

Nota: En vista de que el coeficiente de reacción a la brecha del producto resultó estadísticamente nulo, se presentan diferencias minúsculas entre los resultados de las reglas: R1 con R5, R2 con R6, y R3 con R7. Esto aplica para las siguientes tablas.

Fuente: Estimaciones del autor.

En términos generales, las estimaciones sugieren que la regla R8 -que se relaciona a una política de orientación *forward-looking* (que responde a la inflación observada y a las desviaciones esperadas de la inflación futura de la meta)- resulta ser la más eficiente en términos de bienestar. Este hallazgo es consistente con las evidencias presentadas en Batini y Haldane (1998), Batini, Harrison y Millard (2003), Aboal y Lorenzo (2005), Gil (2015), Mariusz y Zbigniew (2018), entre otras,

donde se puntualiza que este tipo de estrategia, al incorporar explícitamente rezagos en la transmisión monetaria, permite lograr un mayor control sobre la inflación, un alto grado de suavizamiento del producto y, simultáneamente, pondera la estabilidad financiera.

La segunda regla más óptima en relación a bienestar es la R10, que incluye la inflación doméstica, el tipo de cambio y el coeficiente de inercia de la tasa de interés, estando en sincronía con los argumentos de Aliaga (2020) en el caso de economías expuestas a choques externos. En contraste, perseguir un tipo de cambio fijo como plantea la regla R4, resulta notoriamente desfavorable en el nivel de bienestar. De hecho, en concordancia con Galí y Monacelli (2005), la regla R4 implica el mayor nivel de pérdida en comparación con las demás reglas. Sumado a esto último, en el marco de los hallazgos de Shambaugh (2004), se tiene evidencia consistente de que este tipo de régimen involucra una pérdida de autonomía de la política monetaria.

En otro orden, cabe señalar que las reglas extendidas con la brecha del producto muestran disminuciones de pérdidas muy mínimas en relación con sus reglas homólogas sin considerarla, esto concretamente por el diminuto coeficiente de ponderación estimado. Lo anterior, ocurre específicamente en las reglas: R1 con R5, R2 con R6, y R3 con R7. No obstante, se obtienen ganancias apreciables cuando se incluye el tipo de cambio en las RPM, según se muestra en las reglas: R2 con R9 y R3 con R10.

Por otra parte, es preciso enfatizar la disminución de pérdida que se refleja al añadir el componente inercial de la tasa de interés en las RPM. En efecto, al comparar las reglas R2 con R3, R6 con R7, y R9 con R10, se consigue una reducción de más de un 50% en este indicador, lo que se logra principalmente a través del aminoramiento de la volatilidad de la inflación. Este hecho, que se interpreta como el gradualismo de la política monetaria, es conexo con los planteamientos y resultados de Goodhart (1997), Woodford (1999), Rojas (2002), Giannoni y Woodford (2003), Woodford (2003a), Consolo y Favero (2009), Giannoni (2012), entre otros, donde se arguye que este mecanismo contribuye a obtener variaciones moderadas de corto plazo que conllevan a una estabilización uniforme de la inflación, a evitar reacciones adversas en los mercados financieros y a la realización de un ciclo económico homogéneo, coadyuvando paralelamente a que estos efectos sean robustos a los choques estructurales.

5.1.1 Análisis de bienestar por choques individuales

Para esta parte, se reevalúa el desempeño de las RPM en la función de pérdida de bienestar suponiendo que la economía fue golpeada por un choque a la vez, indagando de esta forma el desempeño de las reglas según la naturaleza del choque económico. Esto puede entenderse como un análisis de robustez.

La Tabla 4 presenta la evaluación de las RPM considerando un choque de política monetaria. A primera vista, los resultados sugieren que la regla R4 de tipo de cambio fijo estricto sería la más óptima en este escenario. Sin embargo, lo que subyace en esto es un choque nulo de tasa de interés interna o externa.¹⁶ Por lo tanto, esta regla no puede considerarse como la más eficiente, debido a que los choques de productividad, preferencias y nivel de precios mundial tienen efectos importantes en las demás variables. En su defecto, la regla R8 muestra ser la más óptima, en línea con el análisis agregado, seguido de las reglas que contienen el tipo de cambio.

Tabla 4. Evaluación de reglas RPM ante choque de política monetaria

	$\sigma(\hat{y})$	$\sigma(\hat{x})$	$\sigma(\hat{\pi}_d)$	$\sigma(\hat{\pi})$	$\sigma(\hat{t})$	$\sigma(\Delta\hat{e})$	\mathbb{B}
R1	0.131	0.131	0.422	0.463	0.119	0.523	0.372
R2	0.151	0.151	0.432	0.486	0.138	0.565	0.392
R3	0.150	0.150	0.441	0.492	0.137	0.569	0.408
R4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
R5	0.131	0.131	0.421	0.462	0.119	0.523	0.370
R6	0.151	0.151	0.432	0.485	0.137	0.564	0.392
R7	0.150	0.150	0.440	0.492	0.137	0.568	0.406
R8	0.109	0.109	0.318	0.355	0.099	0.411	0.212
R9	0.147	0.147	0.383	0.439	0.134	0.522	0.310
R10	0.144	0.144	0.394	0.447	0.131	0.524	0.327

Fuente: Estimaciones del autor.

¹⁶ En un régimen de tipo de cambio fijo, la autoridad monetaria tiene el compromiso de mantener el tipo de cambio en un nivel determinado, por lo que las tasas de interés doméstica e internacional deben coincidir. En ello, a saber, se utilizan las reservas internacionales para comprar y vender moneda extranjera para evitar que estas variables fluctúen. Otra perspectiva de analizar esto es a través de la paridad descubierta de la tasa de interés $\hat{R}_t = \hat{R}_t^* + E_t\hat{e}_{t+1} - \hat{e}_t$: en el régimen de tipo de cambio fijo, se tiene $E_t\hat{e}_{t+1} - \hat{e}_t = 0$, por lo que $\hat{R}_t = \hat{R}_t^*$, lo que se traduce en choques nulos de tasas de interés.

En relación a la Tabla 4 (y posteriormente las Tablas 7 y 8), cabe aclarar los resultados indiferentes del producto y la brecha del producto para todas las reglas. Tomando como referencia la ecuación (45), el producto natural en su forma lineal solo varía ante choques de productividad, preferencias y nivel del producto mundial. De esta manera, al considerar choques independientes de política monetaria, tasa de interés internacional o nivel de precios mundial, esta variable permanece nula, por lo que en consecuencia el producto se iguala a la brecha del producto por medio de la ecuación (40).

En la Tabla 5 se examinan las RPM bajo un choque de productividad. La regla R8 se mantiene como la más óptima, sucedida en poco margen por las reglas R3 y R7 que incluyen la inflación doméstica, y la inflación doméstica con la brecha del producto, respectivamente. Por su lado, las reglas orientadas especialmente a la inflación total resultaron menos favorables.

Tabla 5. Evaluación de reglas RPM ante choque de productividad

	$\sigma(\hat{y})$	$\sigma(\hat{x})$	$\sigma(\hat{\pi}_d)$	$\sigma(\hat{\pi})$	$\sigma(\hat{tt})$	$\sigma(\Delta\hat{e})$	\mathbb{B}
R1	1.204	0.181	0.428	0.131	1.095	0.467	0.391
R2	1.300	0.043	0.275	0.405	1.182	0.937	0.155
R3	1.298	0.058	0.135	0.303	1.181	0.866	0.039
R4	1.110	0.319	0.719	0.410	1.010	0.000	1.108
R5	1.204	0.181	0.428	0.131	1.095	0.467	0.391
R6	1.300	0.043	0.275	0.405	1.182	0.937	0.155
R7	1.298	0.058	0.135	0.303	1.181	0.866	0.039
R8	1.300	0.054	0.134	0.311	1.182	0.876	0.038
R9	1.279	0.064	0.312	0.363	1.164	0.868	0.200
R10	1.283	0.072	0.195	0.267	1.167	0.813	0.080

Fuente: Estimaciones del autor.

En la Tabla 6 se analizan las RPM ante un choque de preferencias. En este escenario, se consiguen resultados similares y convenientes con el uso de las reglas R3, R7 y R8, las cuales comparten la característica de que contienen el coeficiente de inercia de la tasa de interés y el componente de la inflación doméstica. Por ende, extender la regla R3 con el término IFB de la inflación o con la brecha del producto, aporta poca o nula ganancia de bienestar para este tipo de choque estructural.

Tabla 6. Evaluación de reglas RPM ante choque de preferencias

	$\sigma(\hat{y})$	$\sigma(\hat{x})$	$\sigma(\hat{\pi}_d)$	$\sigma(\hat{\pi})$	$\sigma(\hat{tt})$	$\sigma(\Delta\hat{e})$	\mathbb{B}
R1	0.208	0.146	0.342	0.105	0.850	0.369	0.250
R2	0.270	0.037	0.222	0.321	0.920	0.743	0.101
R3	0.270	0.048	0.112	0.237	0.919	0.685	0.027
R4	0.187	0.256	0.570	0.325	0.781	0.000	0.697
R5	0.208	0.146	0.342	0.105	0.850	0.370	0.250
R6	0.270	0.037	0.222	0.321	0.920	0.743	0.101
R7	0.270	0.048	0.112	0.237	0.919	0.685	0.027
R8	0.271	0.046	0.112	0.243	0.920	0.691	0.027
R9	0.254	0.053	0.250	0.287	0.905	0.688	0.129
R10	0.258	0.059	0.157	0.209	0.908	0.643	0.052

Fuente: Estimaciones del autor.

La Tabla 7 resume el desempeño de las RPM con la configuración de un choque de tasa de interés internacional. Este contexto, como se indicó anteriormente al analizar la Tabla 4, es homólogo con un choque nulo implícito de tasa de interés externa y no debería aceptarse la regla de tipo de cambio fijo como la más óptima. En su omisión, la regla R10 arroja el valor más óptimo, lo que era razonable esperarse dado que esta regla incluye el tipo de cambio y el componente de suavizamiento de la tasa de interés.

Tabla 7. Evaluación de reglas RPM ante choque de tasa de interés internacional

	$\sigma(\hat{y})$	$\sigma(\hat{x})$	$\sigma(\hat{\pi}_d)$	$\sigma(\hat{\pi})$	$\sigma(\hat{tt})$	$\sigma(\Delta\hat{e})$	\mathbb{B}
R1	0.111	0.111	0.806	0.821	0.101	0.842	1.327
R2	0.119	0.119	0.808	0.825	0.109	0.850	1.334
R3	0.161	0.161	0.385	0.452	0.146	0.550	0.316
R4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
R5	0.111	0.111	0.805	0.820	0.101	0.841	1.323
R6	0.119	0.119	0.807	0.824	0.109	0.849	1.331
R7	0.161	0.161	0.384	0.452	0.146	0.549	0.314
R8	0.149	0.149	0.371	0.431	0.136	0.519	0.292
R9	0.125	0.125	0.641	0.665	0.114	0.699	0.844
R10	0.153	0.153	0.350	0.417	0.139	0.513	0.262

Fuente: Estimaciones del autor.

Los resultados para el último choque que se estudia, el de nivel de precios mundial, se añaden en la Tabla 8. En consistencia con la mayoría de los escenarios, la regla R8 refleja el resultado más óptimo, aunque las reglas R7 y R3 también proveen cifras competitivas. El mayor costo en bienestar si se opta por ejecutar la RPM de tipo de cambio fijo estricto se obtiene puntualmente desde este choque externo.

Tabla 8. Evaluación de reglas RPM ante choque de nivel de precios mundial

	$\sigma(\hat{y})$	$\sigma(\hat{x})$	$\sigma(\hat{\pi}_d)$	$\sigma(\hat{\pi})$	$\sigma(\hat{t})$	$\sigma(\Delta\hat{e})$	\mathbb{B}
R1	0.013	0.013	0.205	0.206	0.012	1.000	0.085
R2	0.014	0.014	0.205	0.206	0.012	0.997	0.085
R3	0.022	0.022	0.068	0.075	0.020	0.961	0.010
R4	0.290	0.290	0.775	0.883	0.264	0.000	1.268
R5	0.013	0.013	0.205	0.206	0.012	1.000	0.085
R6	0.014	0.014	0.205	0.206	0.012	0.997	0.085
R7	0.022	0.022	0.067	0.075	0.020	0.961	0.009
R8	0.018	0.018	0.051	0.058	0.017	0.975	0.005
R9	0.033	0.033	0.282	0.286	0.030	0.919	0.162
R10	0.036	0.036	0.168	0.176	0.033	0.895	0.058

Fuente: Estimaciones del autor.

Es oportuno añadir, que estas simulaciones también se evaluaron considerando la inflación IPC en sustitución de la inflación doméstica en la ecuación (61), donde las conclusiones en términos generales fueron consistentes con las encontradas anteriormente.

5.1.2 Análisis de bienestar por ponderaciones en reglas binomiales

En complemento con la discusión anterior, en esta parte se evalúa la función de pérdida de bienestar sobre la base de tres reglas monetarias con estructural binomial, en la que se combina el coeficiente de reacción a la inflación IPC (φ_π) con: 1) el coeficiente de reacción a la brecha del producto (φ_x); 2) el coeficiente de reacción a la inflación proyectada (φ_{π_F}); y 3) el coeficiente de reacción al tipo de cambio (φ_e). Este análisis permite argüir combinaciones óptimas en la ponderación de estos coeficientes -esto fundamentado en las estimaciones-, lo que constituye un insumo de importancia para la política monetaria local.

Los resultados se presentan, respectivamente, en el Apéndice A8 en formato de gráficos de superficie. El plano horizontal de estos gráficos está constituido por las combinaciones de los coeficientes de reacción descritas en el párrafo anterior, en tanto que en los ejes verticales se asignan los valores de la función de pérdida.

Para la primera combinación, que contiene la inflación y la brecha del producto, el Apéndice A8.1 muestra que la pérdida de bienestar se minimiza a un valor de 0.01, esto principalmente cuando se le brinda mayor peso a la inflación. De hecho, a medida que el coeficiente φ_π es mayor, se torna indiferente la evaluación de pérdida ante las variaciones en el coeficiente de la brecha del producto. Las repercusiones menos favorables en este escenario son, por tanto, cuando se le asigna una participación mayoritaria a ϕ_x .

En la segunda combinación, que fusiona el componente de la inflación observada y de la esperada, Apéndice A8.2, la pérdida llega a alcanzar un mínimo en torno a 0.0025 (cerca de 4 veces menos que el primer escenario). Este resultado, de modo similar, se consigue primariamente concediéndole un mayor peso a φ_π , aunque pueden obtenerse valores equivalentemente óptimos cuando se alterna con $\varphi_{\pi F}$.

En relación a la tercera combinación, que integra la inflación con el tipo de cambio, Apéndice A8.3, se obtiene una pérdida mínima de cerca de 0.0025, equiparable a la combinación anterior. Para este escenario, por el contrario, se reflejan una sensibilidad importante en la función de pérdida ante las variaciones en φ_e . En particular, aún se le atribuya la ponderación más alta a φ_π , la pérdida de bienestar aumenta marcadamente conforme se incrementa φ_e .

En síntesis, la combinación del término de la inflación observada con el de la inflación esperada es la que esboza la menor pérdida de bienestar en sentido general, siendo consistente con los argumentos expuestos previamente. Es relevante concretar que, en todos los escenarios, las combinaciones más contraproducentes son las que asignan ponderaciones nulas a los coeficientes de reacción, lo que podría interpretarse como si el banco central no interviniera en la economía local por medio de la tasa de interés de política.

5.2 Análisis de impulso respuesta

En esta subsección, se estudian las funciones de impulso respuesta (IRF) de variables selectas considerando dos marcos de variación: los cinco choques que se señalaron anteriormente, y las diez RPM que se han venido estudiando. Esto permitirá evaluar la sensibilidad de respuesta de estas series en función a la naturaleza del choque percibido y al régimen simulado de política monetaria. Los gráficos de estas funciones se presentan en el Apéndice A9. En sentido general, las respuestas van acorde en términos cualitativos con lo sugerido por la teoría y por la evidencia empírica [Ramírez y Torres (2015), Aguilera (2018), Checo y Camacho (2018), Aliaga (2020)].

Choque de política monetaria

Ante un choque de política monetaria de magnitud positiva (ver Apéndice A9.1), la tasa de interés nominal aumenta, lo que induce a un incremento de mayor magnitud en la tasa de interés real dadas las rigideces nominales del modelo. Esta variación reduce el consumo, la producción, la brecha del producto y, en consecuencia, los precios en la economía. En el sector externo, los términos de intercambio caen y el tipo de cambio nominal se aprecia.

Por otro lado, la demanda de los bonos de corto y largo plazo disminuye, causando un exceso de oferta que se traduce en un repunte de las tasas de rendimiento, más acentuada e inmediata en los bonos de corto plazo. Estos efectos en particular son notablemente heterogéneos en función a las RPM, donde por lo general las tasas de interés fluctúan en mayor escala ante la regla R9. Asimismo, las respuestas en el nivel de precios y el tipo de cambio son apreciablemente diversificadas, donde específicamente las reglas que incluyen el tipo de cambio (R9 y R10) son las que garantizan una reacción convergente de estas variables al estado estacionario.

Choque de productividad

Considerando un choque positivo de productividad agregada (ver Apéndice A9.2), se origina un aumento de la producción doméstica que, en paralelo, reduce los costos marginales de los bienes producidos, asociándose con una disminución de los precios locales y de la inflación. Esto motiva a una disminución de la tasa de interés por parte de la autoridad monetaria, lo que desata un incremento en la demanda de bonos de corto y plazo, vinculado consecuentemente a una caída

de las tasas de largo plazo. Esta política monetaria acomoditicia también provoca una reducción en la tasa de interés real con dos efectos subsecuentes: una depreciación inicial del tipo de cambio vía la paridad de tasas de interés, que expande las exportaciones; y un aumento del consumo.

En este choque se percibe mayor volatilidad de respuesta en las series que en el choque de política monetaria, proviniendo en mayor proporción de la regla de tipo de cambio fijo (R4). Si bien las reglas R2 y R6 se vinculan con devaluaciones permanentes sustanciales en el tipo de cambio, al extender estas reglas con el componente inercial de la tasa de interés, R3 y R7, se amortigua considerablemente la volatilidad de reacción de las variables.

Choque de preferencias

El choque de preferencias (ver Apéndice A9.3) se relaciona con un aumento de la tasa de interés real natural, un incremento del producto natural y una disminución en los términos de intercambio. Además, en este escenario, la brecha del producto se expande y se vincula con una subida de precios, lo que motiva a que la autoridad monetaria aumente la tasa de interés. En sincronía, la demanda en bonos cae, transmitiéndose en un aumento de las tasas de largo plazo. Por el lado del sector externo, las exportaciones caen y el tipo de cambio inicialmente se aprecia.

Cabe puntualizar que, según las estimaciones, la reacción del consumo, términos de intercambio y exportaciones muestran alta rigidez a las RPM. Pese a esto, en las tasas de interés y en los precios sí se generan distorsiones diversificadas en función a las reglas, que se atenúan en gran parte al implementar las reglas R5 y R10.

Choque de tasa de interés internacional

Por su parte, un choque al alza en la tasa de interés internacional (ver Apéndice A9.4) provoca un flujo masivo de capital hacia el mercado internacional, lo que conlleva a una devaluación persistente del tipo de cambio nominal y a un aumento de la tasa de política monetaria. Esta dinámica de la política monetaria se acude a que el ajuste del tipo de cambio no absorbe todo el diferencial de las tasas internas y externas (por el traspaso incompleto), creándose a su vez una brecha favorable en los términos de intercambio para el sector exportador. En este escenario,

coherentemente, se logra atenuar con mayor eficiencia la volatilidad del tipo de cambio y la inflación con la implementación de la regla R10.

En otro orden, la tasa de interés de largo plazo muestra reacciones desiguales para la mayoría de las RPM, aunque el consenso en general es un alza inicial y luego una disminución en menor magnitud que el aumento en las tasas de corto plazo, configurándose de este modo una curva de rendimiento con una pendiente más plana. Esto último, es cónsono con un escenario donde se espera menor actividad económica e inflación, lo que se alinea con el incremento de la tasa de política monetaria que se observa.

Choque de nivel de precios mundial

Por último, se presentan las funciones IRF para un choque en el nivel de precios mundial (ver Apéndice A9.5). En este marco, se obtiene un incremento en los términos de intercambio, las exportaciones netas, el producto, la brecha del producto y en el nivel de precios local. Esto motiva a que la autoridad monetaria actúe vigorosamente con el aumento de la tasa de interés de política, con lo que incrementa de forma simultánea la tasa de interés real.

A pesar de que la regla R4 permite mantener el tipo de cambio en un nivel fijo, como indican los gráficos, esta genera las volatilidades más altas en el resto de las variables, por lo que, como se resaltó anteriormente, no se recomienda un régimen que reaccione estrictamente a esta variable. En efecto, una estrategia que pondere la inflación doméstica, el tipo de cambio y la inercia de la tasa de interés (regla R10), es la que permite reducir en mayor escala la volatilidad en el nivel de precios y la inflación, favoreciendo así el nivel de bienestar.

5.3 Análisis comparativo bayesiano de las reglas RPM

En la Tabla 9 se presentan las densidades marginales posteriores arrojadas por las RPM y los datos observados. La columna 3 contiene el factor de Bayes computado en relación a la regla R1, entretanto la columna 4 muestra las probabilidades posteriores del modelo para cada regla. Estos estadísticos permiten discriminar las reglas que se alinean en mayor escala con la interacción dinámica de las variables observables. Por fines prácticos, se elimina la regla de tipo de cambio fijo estricto (R4), que a su vez deterioraba el computo del análisis.

Tabla 9. Densidades marginales de la muestra con reglas RPM

	$\mathcal{P}(\mathbf{y}_t, \mathbf{M}_R)$	FB	p
R1	-480.104	1.00E+00	0.5005
R2	-496.090	1.14E-07	0.0000
R3	-484.460	1.28E-02	0.0064
R5	-480.136	9.69E-01	0.4848
R6	-496.086	1.15E-07	0.0000
R7	-484.408	1.35E-02	0.0068
R8	-486.604	1.50E-03	0.0008
R9	-488.589	2.07E-04	0.0001
R10	-486.641	1.45E-03	0.0007

Fuente: Estimaciones del autor.

Las estimaciones indican que la regla de inflación IPC estricta (R1) es la que exhibe la mayor densidad marginal (menos negativa), lo que en otras palabras, se traduce en que es la regla que mejor explica el comportamiento conjunto de las variables observadas y sus interrelaciones. Esto puede validarse por medio de la probabilidad posterior de 0.5005, por lo que es el modelo más cercano al verdadero proceso de generación de datos.¹⁷ Este resultado, por consiguiente, es efectivamente coherente con el esquema de política monetaria que se sigue en el país, donde formalmente el objetivo principal es la inflación y su meta establecida en el Programa Monetario del BCRD se define en función de la variación interanual del IPC.

La segunda regla que ostenta un desempeño relativo mayúsculo en el sentido bayesiano, es la que caracteriza la inflación IPC y la brecha del producto (R5), que también de manera análoga se enmarca dentro del esquema de política monetaria vigente. En resumen, el modelo estimado pudo identificar de forma plausible las reglas RPM ajustadas al contexto nacional.

Las demás reglas, contrariamente, mostraron probabilidades posteriores minúsculas, en virtud de lo cual se desaconseja su uso para análisis predictivo. Por esta razón, los análisis complementarios que se presentan a continuación se derivan sobre la operatividad de la R1.

¹⁷ Esta probabilidad no debe interpretarse como el *p-value*. Por el contrario, en la estadística bayesiana, este estadístico es la probabilidad revisada o actualizada de que ocurra un evento dada la información provista. Puede entenderse, además, como una medida del poder predictivo del modelo, estando acotada en $[0, 1]$.

5.4 Análisis de fuentes de fluctuaciones

La descomposición histórica de varianza proporciona una interpretación en la muestra considerada de las fluctuaciones de las variables observables modeladas a través de los choques estructurales identificados en el modelo. En otros términos, este análisis dice qué proporción de la desviación de cada serie de su media incondicional se explicó por cada choque estructural.

El Apéndice A10 muestra la descomposición histórica del PIB, el consumo, la inflación IPC, la tasa de interés y el tipo de cambio.¹⁸ En el caso del PIB, es preponderante la presencia de choques de productividad a lo largo del horizonte de estimación, en particular en el período de la crisis financiera internacional en el 2008, y de forma más reciente, cuando empiezan a manifestarse los efectos adversos de la pandemia del Coronavirus en el primer trimestre del 2020. Otro choque que se destaca en la evolución de esta variable es el de política monetaria, sobre todo en el 2008 cuando el Banco Central adoptó una postura contractiva considerable con el aumento de la TPM, en el 2011 a efectos de la relajación de la política monetaria entre el 2009 y 2010, y de manera más contemporánea, con las medidas de flexibilización de marzo 2020.

Con relación al crecimiento del consumo privado, como era natural esperarse, su evolución ha sido explicada en alta proporción por los choques de preferencias y productividad, distinguiéndose sus ponderaciones paralelas en las desviaciones a la baja entre 2012 y 2013, y en el último período de la muestra. De su parte, los choques externos de tasa de interés y nivel de precios reflejan poca participación en las fluctuaciones de esta serie.

En lo que respecta a la inflación, los choques de política monetaria juegan un papel fundamental, los cuales han contribuido en atenuar consistentemente sus desviaciones, sobre todo a partir del año 2012 con la adopción del esquema de metas de inflación. En contraste con el PIB y el consumo, el modelo interpreta una incidencia apreciable de los choques externos de tasa de interés y nivel de precios mundial en la inflación local, lo que es sensato anticipar en el contexto de una economía abierta.

¹⁸ Es oportuno indicar, que este análisis se esboza en términos relativos en función a los cinco choques estructurales que se modelan, reconociendo que la existencia de otras fuentes de fluctuaciones. Desde luego, los resultados proveen un panorama representativo para fines académicos y de política económica.

En sincronía con la inflación, la tasa de política monetaria parece estar definida en gran parte por los choques de tasa de interés internacional y del nivel de precios mundial. Aquí es oportuno resaltar, que estos dos últimos choques guardan estrecho vínculo con el precio internacional del petróleo que, a su vez, tiene consecuencias en la inflación local (Ramírez, 2013; Pérez, 2019). De esta manera, es entendible la relación indirecta de la tasa de interés política monetaria con estos componentes externos. Asimismo, se evidencia una contribución histórica representativa de los choques domésticos sobre la tasa de interés de política.

Por otro lado, para las oscilaciones del tipo de cambio, los choques de política monetaria, tasa de interés internacional y nivel de precios mundial reflejan contribuciones más equitativas en términos de magnitud que para las otras variables. A partir del 2015, a saber, la tendencia creciente en el nivel de precios mundial ha repercutido continuamente en el alza en las desviaciones de la tasa de cambio, aunque estos efectos han sido compensados en alto porcentaje por la disminución coetánea de la brecha entre la tasa de interés local con la externa. Los choques domésticos, en cambio, exponen incidencias menos cuantiosas.

En pocas palabras, el modelo pudo identificar de forma congruente la participación relativa de los choques estructurales en las fluctuaciones de las variables observadas, alineadas con episodios históricos importantes y bajo el marco que caracteriza a una economía pequeña y abierta.

5.5 Descomposición de varianza del error de predicción

La descomposición de varianza del error de predicción (DVEP) es una herramienta complementaria a las funciones que impulso respuesta, que permite determinar la importancia relativa esperada de cada choque sobre las variaciones de las series observadas en un horizonte de respuesta. A diferencia de la descomposición histórica, este es un análisis “hacia adelante” que naturalmente se relaciona con lo ya observado.

En el Apéndice A11 se reportan los gráficos DVEP para el PIB, el consumo, la inflación IPC, la tasa de interés y el tipo de cambio para un horizonte de ocho trimestres.¹⁹ En relación al PIB,

¹⁹ Se recalca nuevamente, que el análisis se realiza en términos relativos entre los cinco choques que se estudian, admitiendo la posibilidad de otros choques estructuras incidentes en estas variables.

los resultados sugieren que la mayor proporción de su variación estaría explicada por los choques de productividad y de política monetaria, en alrededor de un 93% y 6% respetivamente, y en menor escala por el choque del nivel de precios internacional. Mientras tanto, el consumo dependería en torno un 56% del choque de productividad, un 39% del choque de preferencias, un 4% de la política monetaria y, la parte remante, de los choques externos.

En lo que respecta a la inflación, su variación en el error de pronóstico estaría compuesta primariamente por choqués domésticos y monetarios, en aproximadamente un 92%, y en segundo orden por los choques externos, en alrededor de un 8%. Entretanto, la tasa de interés se explicaría en cerca de un 75% por los choques externos, y de un 25% por los choques domésticos y monetarios. Por último, se espera que las variaciones en el tipo de cambio dependan en un 74% de los choques domésticos y monetarios, y en un 26% de los choques externos.

5.6 Diagnósticos de estimaciones

El apéndice A12.1 muestra los diagnósticos de convergencia individuales de los parámetros estimados, en tanto que el apéndice A12.2 presenta el diagnóstico multivariado, es decir, del modelo general. Como se puede apreciar en los gráficos, en sentido amplio, los diagnósticos para cada parámetro y para el modelo en general sugieren que las estimaciones no presentan problemas de convergencia.

En última instancia, se comparan las estimaciones posteriores de los parámetros computados mediante el algoritmo RWMH-MCMC con la aproximación de Laplace, que es otra herramienta que se emplea para estos fines (Mancini, 2008).²⁰ En el Apéndice A12.3, se presenta la comparación gráfica de las estimaciones por ambos métodos, donde se evidencia que en su conjunto los resultados son muy similares. Mediante el RWMH-MCMC, los estimadores de σ_ξ y φ_π tienen menor varianza, mientras que la media de σ_{R^*} se ubica un poco más a la derecha.

²⁰ En este tema, Christiano, Trabandt, y Walentin (2010) arguyen que, si bien se puede ahorrar tiempo sustancial computando la aproximación de Laplace en las fases iniciales e intermedias de un proyecto de investigación, es recomendable realizar las estimaciones finales mediante el algoritmo RWMH-MCMC. En virtud de lo señalado, la comparación de los resultados por ambas técnicas suele emplearse como una estrategia de análisis de robustez.

6 Conclusiones

En este trabajo se realizó un análisis empírico para determinar las reglas de política monetaria (RPM) óptimas para la República Dominicana en el contexto de minimizar el costo en bienestar social de los hogares representativos. Asimismo, se definieron las RPM que mejor explican la interrelación dinámica de las variables macroeconómicas estudiadas, derivando consiguientemente análisis complementarios con miras a identificar fuentes de fluctuaciones económicas e interrelaciones esperadas de respuesta bajo diversos choques estructurales y marcos de simulación. Lo anterior, se construyó sobre la base de un modelo de equilibrio general dinámico y estocástico (DSGE) Neo Keynesiano estimado por técnicas bayesianas y de máxima verosimilitud en el período 2007T1-2020T1, donde se identificaron choques de política monetaria, productividad, preferencias, tasa de interés internacional y nivel de precios mundial.

En primer lugar, las estimaciones identificaron que una RPM de orientación *forward-looking* de estructura trinomial, en la que se pondere la inflación observada, la inflación proyectada y un componente de inercia de la tasa de interés, exhibe las evaluaciones más propicias en términos de bienestar. Este resultado es altamente robusto cuando se perciben choques de política monetaria, productividad y preferencias. No obstante, ante choques externos de tasas de interés internacional o nivel de precios mundial, se obtienen efectos favorables desde una RPM que combina la inflación doméstica, el tipo de cambio y el suavizamiento de la tasa de interés local.

Los hallazgos anteriores son relevantes para economías que siguen un esquema de metas explícitas de inflación. En efecto, con el enfoque de orientación prospectivo de la inflación y el componente de gradualismo de la tasa de interés se toman en consideración los rezagos de transmisión de la política monetaria, hecho que favorece conjuntamente atenuar presiones inflacionarias futuras, evitar reacciones adversas en los mercados financieros ante cambios inesperados en la tasa de referencia, incorporar información potencial para predecir la inflación y lograr un alto grado de suavizamiento del producto. Al mismo tiempo, este enfoque es capaz de condicionar la formación de expectativas de los agentes económicos en favor de los fines perseguidos por el banco central, lo cual incide positivamente en la eficacia y eficiencia de la política monetaria.

Sin embargo, el modelo interpreta que con la presencia de choques externos se requiere de una intervención más inmediata de la política monetaria para contrarrestar la volatilidad del tipo de cambio y la inflación, para lo cual sugiere ponderar en mayor cuantía la reacción de la tasa de política hacia estas variables. Esta alternativa ha reflejado ser eficiente en minimizar la pérdida de bienestar en economías pequeñas y abiertas expuestas a este tipo de choques.

De su parte, las funciones de respuestas a los choques estructurales muestran un patrón cualitativo similar en función a las RPM simuladas, aunque con magnitudes heterogéneas. En el caso de los choques de política monetaria, los efectos en el tipo de cambio y el nivel de precios se estabilizan si la RPM pondera el tipo de cambio. Respecto al choque de productividad, las variables exhiben mayor volatilidad que con el choque de política monetaria, aunque logran amortiguarse considerablemente por medio de una regla con inercia de la tasa de interés. Asimismo, bajo el choque de preferencias, se generan distorsiones diversificadas en las tasas de corto y largo plazo y en el nivel de precios, que consiguen atenuarse al ponderar la brecha del producto en la RPM. Por su lado, con los choques externos de tasa de interés internacional y nivel de precios mundial, la volatilidad en el nivel de precios y en la inflación logra reducirse en gran escala a través de una RPM compuesta por la inflación doméstica, el tipo de cambio y un componente de inercia de la tasa de interés local.

Adicionalmente, las simulaciones indican que la RPM de inflación IPC estricta es la que explica con mayor ajuste la dinámica de las variables macroeconómicas observadas, siguiendo a esta, la regla que combina la inflación IPC y la brecha del producto. Este precedente insinúa que la política monetaria local ha reaccionado principalmente y de forma agresiva a los desvíos de la inflación y la brecha del producto, con poco grado de inercia. En consecuencia, dados los efectos favorables de la inclusión del término de suavizamiento de la tasa de interés que justifica la literatura y que se demuestra en este estudio, se sugiere contrastar en el contexto nacional una reacción más gradual en la tasa de política monetaria si el objetivo es minimizar la pérdida de bienestar definida en este trabajo.

La última fase de las estimaciones consistió en derivar descomposiciones de varianza de las series observadas para identificar fuentes de fluctuaciones históricas y esperadas en la dinámica de

estas variables. Estos análisis complementarios reconocieron una contribución importante de la política monetaria sobre el desempeño del producto, la inflación y el tipo de cambio en la muestra analizada, incluyendo los episodios donde la economía fue golpeada marcadamente por choques globales. De forma similar, dada la característica de una economía pequeña y abierta que tiene la República Dominicana, el modelo pudo capturar de forma adecuada la incidencia de choques externos en las variaciones del tipo de cambio, la inflación y la tasa de interés de política.

Es evidente que el BCRD utiliza la política monetaria como instrumento de estabilización macroeconómica, por lo que un amplio conocimiento de su mecanismo de transmisión constituye un factor clave para el diseño e implementación de una estrategia efectiva y eficiente. Por consiguiente, en adición a las sugerencias señaladas previamente, se recomienda dar seguimiento a la reacción dinámica de las variables estudiadas, de manera que se puedan identificar cambios estructurales que pueda experimentar la economía y que varíen la transmisión monetaria y objetivos que se persigan. Es importante de igual modo, preservar la confianza y expectativas de los agentes económicos ancladas a las metas de inflación, lo que consistentemente incide de forma positiva en la eficacia y eficiencia de la política monetaria.

Una línea de investigación futura consiste en la incorporación del capital y el mercado bancario en la estructura del modelo, de modo que permita analizar el comportamiento del capital y el crédito bancario, y de este modo, indagar los efectos de la política monetaria sobre estas variables. De igual forma, otro aspecto a considerar en el modelo es el rol del gobierno, con lo que se puedan estimar los efectos de la deuda pública, las reformas fiscales y su interacción con la política monetaria. Además, el sector externo puede enriquecerse para incluir el rol de las remesas, la progresiva importancia de la exportación de minerales y otros choques externos.

Otra agenda de investigación parte del hecho de que las RPM juegan un papel fundamental en la evaluación de pronósticos macroeconómicos. Mediante la especificación de estas reglas, la relación entre la política monetaria y el desempeño de la economía es endógena, es decir, la tasa de interés se determina dentro del contexto del modelo. De este modo, el análisis de reglas monetarias en el ámbito de modelos macroeconómicos ofrece la posibilidad de evaluar RPM alternativas en función del desempeño macroeconómico que estas generen.

Referencias

- Aboal, D. y Lorenzo, F. (2005). Regla Monetaria Óptima para una Economía pequeña, abierta y dolarizada. Banco Central del Uruguay, Revista de Economía, Segunda Época, Vol. XII.
- Aliaga, A. (2020). Monetary policy rules for an open economy with financial frictions: A Bayesian approach. *Dynare Working Papers Series*, 62.
- Aguilera, B. (2018). Estimación de preferencias para Bancos Centrales con un segundo instrumento de política monetaria. Tesis de Magíster en Economía UAI, Argentina.
- An, S., y Schorfheide, F. (2006). Bayesian analysis of DSGE models (*Working Paper* No. 06-5). Federal Reserve Bank of Philadelphia.
- Arana, R., Ramírez, F. y Wright, A. (2017). Credit Risks and Monetary Policy within Caribbean Economies. *IDB Working Paper Series* No. 814.
- Ball, L. (1999). Policy Rules for Open Economies. En J. Taylor (ed.), *Monetary Policy Rules*, The University of Chicago Press, pp. 127-156.
- Banerjee, R., Devereux, M. B., y Lombardo, G. (2015). Self-oriented monetary policy, global financial markets and excess volatility of international capital flows. *NBER Working Papers* No. 21737. National Bureau of Economic Research.
- Barro, R. y Gordon, D. (1983). Rules, Discretion and Reputation in a Model of Monetary Policy. *Journal of Monetary Economics*, 12(1), pp. 101–121.
- Batini, N., y Haldane, A. G. (1998). Forward-looking rules for monetary policy. *NBER Working Papers* No. 6543. National Bureau of Economic Research.
- Batini, N., Harrison, R., y Millard, S. (2003). Monetary policy rules for an open economy. *Journal of Economic Dynamics Control*, 27(11–12), pp. 2059–2094
- Calvo, G. (1983). Staggered prices in a utility-maximizing framework. *Journal of Monetary Economics*, 12(3), pp. 383–398.
- Checo, A. y Camahco, F. (2018). Impacto macroeconómico de una política monetaria con metas de inflación. Santo Domingo: Nueva Literatura Económica.

- Christiano, L., Trabandt, M., y Walentin, K. (2010). DSGE models for monetary policy analysis (*FRB Atlanta CQER Working Paper* No. 2010-02). Federal Reserve Bank of Atlanta.
- Clarida, R., Galí, J. y Gertler, M. (1999). The Science of Monetary Policy: A New Keynesian Perspective. *Journal of Economic Literature*, 37, pp. 1661-1707.
- Clarida, R., Galí, J. y Gertler, M. (2000). Monetary policy rules and macroeconomic stability: evidence and some theory. *Quarterly Journal of Economics*, 115, pp. 147-180.
- Consolo, A. y Favero, C. (2009). Monetary Policy Inertia: More a Fiction than a Fact? *Journal of Monetary Economics*, 56(6), pp. 900-906.
- DeJong, D., Ingram, B. y Whiteman, C. (2000). A Bayesian Approach to Dynamic Macroeconomics. *Journal of Econometrics*, 98, pp. 203-223.
- De La Dehesa, G. (2001). La credibilidad del Banco Central Europeo. *El País* (23 de mayo).
- Del Negro, M. y Schorfheide, F. (2008). Inflation dynamics in a small open-economy model under inflation targeting: some evidence from Chile. *Staff Reports* 329, Federal Reserve Bank of New York.
- Galí, J. (2015). Monetary policy, inflation and the business cycle. Princeton, New Jersey: Princeton University Press.
- Galí, J. y Monacelli, T. (2005). Monetary Policy and Exchange Rate Volatility in a Small Open Economy. *Review of Economic Studies*, Oxford University Press, 72(3), pp. 707-734.
- Geweke, J. (1999). Using simulation methods for Bayesian econometric models: inference, development, and communication. *Econometric Reviews* 18(1), pp. 1-73.
- Giannoni, M. y Woodford, M. (2003). How Forward-Looking is Optimal Monetary Policy? *Journal of Money, Credit, and Banking*, 35(6), pp. 1425-1469.
- Giannoni, M. (2012). Optimal Interest Rate Rules and Inflation Stabilization versus Price-Level Stabilization. *Federal Reserve Bank of New York Staff Reports* No. 546.
- Gil, J. (2015). Posturas de política monetaria ante fluctuaciones de la economía: una revisión de la evolución teórica. *Finanzas y Política Económica*, 7(2), pp. 381-401.

- Giraldo, A. (2008). Aversión a la Inflación y Regla de Taylor en Colombia, 1994-2005. *Cuadernos de Economía*, 27(49), pp. 229-262.
- Goodfriend, M. (1991), Interest Rates and the Conduct of Monetary Policy. *Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy*, 34, pp. 7–30.
- Goodhart, C. (1997), Why Do the Monetary Authorities Smooth Interest Rates? En *European Monetary Policy* (S. Collignon, ed.), London: Pinter, pp. 119-174.
- Harrison, R. (2017). Optimal quantitative easing. *Bank of England working papers* 678, Bank of England.
- Herbst, E. y Schorfheide, F. (2015). Bayesian Estimation of DSGE Models, Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Ireland, P. (2001). Sticky-price models of the business cycle: Specification and stability. *Journal of Monetary Economics*, 47(1), pp. 3-18.
- Kim, J. (2000). Constructing and Estimating a Realistic Optimizing Model of Monetary Policy. *Journal of Monetary Economics*, 45, pp. 329-359.
- Kozicki, S. (1999). How Useful Are Taylor Rules for Monetary Policy? *Economic Review*, Federal Reserve Bank of Kansas City, 84(2), pp. 5-33.
- Kydland, F. y Prescott, E. (1977). Rules rather than discretion: The inconsistency of optimal plans. *Journal of Political Economy*, 85(3), pp. 473–492.
- Lubik, T., y Schorfheide, F. (2005). A Bayesian look at new open economy macroeconomics (*Economics Working Paper Archive* No. 521). The Johns Hopkins University.
- Mancini, T. (2008). DYNARE User Guide: An introduction to the solution & estimation of DSGE models.
- Mariusz, G. y Zbigniew, K. (2018). Measuring Uncertainty of Optimal Simple Monetary Policy Rules in DSGE models. *Lodz Economics Working Papers* 6/2018, University of Lodz, Faculty of Economics and Sociology.
- McDermott, J. y Peter McMenamin, P. (2008). Assessing Inflation Targeting in Latin America With a DSGE Model. *Working Papers Central Bank of Chile* 469, Central Bank of Chile.

- Morón, E. y Winkelried, D. (2005). Monetary policy rules for financially vulnerable economies. *Journal of Development Economics*, 76, pp. 25-51.
- Novales, A. (2017). Filtro de Kalman: teoría y aplicaciones. Departamento de Economía Cuantitativa, Universidad Complutense de Madrid, España.
- Orphanides, A. (2003). Historical monetary policy analysis and the Taylor rule (*Finance and Economics Discussion Series* No. 2003-36). Board of Governors of the Federal Reserve System.
- Pérez, M. (2019). Midiendo los efectos y canales de transmisión de la política monetaria en la República Dominicana. Santo Domingo: Nueva Literatura Económica.
- Piña, S. (2016). El impacto de shocks contractivos de política monetaria en un modelo DSGE estimado con métodos bayesianos para Chile. Universidad Torcuato di Tella.
- Poole, W. (1991). Interest Rates and the Conduct of Monetary Policy: A Comment. *Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy*, 34, pp. 31-40.
- Rabanal, P., y Rubio-Ramírez, J. (2005). Comparing new Keynesian models of the business cycle: A Bayesian approach (*Working Papers* No. 2001-22b). Federal Reserve Bank of Atlanta.
- Ramírez, F. (2013). Petróleo e Inflación en la República Dominicana: Análisis Empírico para el periodo 2000-2011. Banco Central de la República Dominicana.
- Ramírez, F., y Torres, F. (2015). Modelo de Equilibrio General Dinámico y Estocástico con Rigideces Nominales para el Análisis de Política y Proyecciones en la República Dominicana. *Serie de Estudios Económicos* No. 9, Banco Central de la República Dominicana.
- Rojas, F. (2002). El efecto del suavizamiento de la tasa de interés en una regla de política monetaria bajo un régimen de “Inflation Targeting”: el caso peruano. Concurso de Investigación para jóvenes economistas 2001- 2002, BCRP.
- Roley, V. y Sellon, G. (1995). Monetary Policy Actions and Long-Term Interest Rates. *Economic Review*, Federal Reserve Bank of Kansas City, 80(4), pp. 73-89.

- Sack, B. y Wieland, V. (2000) Interest-Rate Smoothing and Optimal Monetary Policy: A Review of Recent Empirical Evidence. *Journal of Economics and Business*, 52, pp. 205-228.
- Shambaugh, J. (2004). The Effect of Fixed Exchange Rates on Monetary Policy. *The Quarterly Journal of Economics*, 119, pp. 300-351.
- Smets, F., y Wouters, R. (2007). Shocks and frictions in US business cycles: A Bayesian DSGE approach (*Working Papers* No. 109). European Central Bank.
- Svensson, L. (1996). Inflation Forecast Targeting: Implementing and Monitoring Inflation Targets. *NBER Working Papers* No. 5797. National Bureau of Economic Research.
- Svensson, L. (1999). Inflation Targeting as a Monetary Policy Rule. *Journal of Monetary Economics*, 43(3) pp. 607-654.
- Taylor, J. (1993). Discretion versus policy rules in practice. *Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy*, 39(1), pp. 195-214.
- Taylor, J. (1999). A Historical Analysis of Monetary Policy Rules. En J. Taylor (ed.), *Monetary Policy Rules*, The University of Chicago Press, pp. 319-348.
- Uhlig, H. (1995). A toolkit for analyzing nonlinear dynamic stochastic models easily. *Discussion Paper* No. 101, Federal Reserve Bank of Minneapolis.
- Van Nguyen, P. (2020). The Vietnamese business cycle in an estimated small open economy New Keynesian DSGE model. *Dynare Working Papers Series*, 62.
- Vitek, F. (2006). Monetary Policy Analysis in a Small Open Economy: A Dynamic Stochastic General Equilibrium Approach. *MPRA Paper* 800, University Library of Munich, Germany.
- Walsh, C. (2017). *Monetary Theory and Policy*, fourth edition, Cambridge, MA: MIT Press.
- Woodford, M. (1999). Optimal Monetary Policy Inertia. *NBER Working Paper* No. 7261.
- Woodford, M. (2003a). Optimal Interest Rate Smoothing. *Review of Economic Studies*, 70, pp. 861-886.
- Woodford, M. (2003b). *Interest prices: Foundations of a theory of monetary policy*. Princeton, New Jersey: Princeton University Press.

Apéndices

A1 Derivación del problema de optimización de los hogares

El problema de optimización consiste en:

$$\max_{\{B_t^s, B_t^l, A_{t+1}^c, C_t, N_t\}_{t=0}^{\infty}} E_0 \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t g_t \left\{ \frac{C_t^{1-\sigma}}{1-\sigma} - \frac{N_t^{1+\varphi}}{1+\varphi} \right\} \quad (\text{A1.1})$$

Sujeto a:

$$B_t^s + B_t^l + E_t Q_{t,t+1} A_{t+1}^c + P_t C_t = R_{t-1} B_{t-1}^s + R_t^l B_{t-1}^l + A_t^c + W_t N_t + T_t + D_t$$

$$- \frac{P_t(b^s + b^l)}{2} \left[\delta \frac{B_t^s}{B_t^l} - 1 \right]^2 - \frac{P_t(b^s + b^l)}{2} \left[\frac{B_t^s/B_t^l}{B_{t-1}^s/B_{t-1}^l} - 1 \right]^2 \quad (\text{A1.2})$$

$$\lim_{T \rightarrow \infty} E_t Q_{t,T+1} \{R_T B_T^s + R_{T+1}^l B_T^l + A_{T+1}^c\} \quad (\text{A1.3})$$

Las condiciones de primer orden vienen dadas por:

$$\omega_t + \omega_t \frac{P_t(b^s + b^l)}{B_t^l} \left[\delta \frac{B_t^s}{B_t^l} - 1 \right] + \omega_t \frac{P_t(b^s + b^l)}{B_{t-1}^s} \frac{B_{t-1}^l}{B_t^l} \left[\frac{B_t^s}{B_{t-1}^s} \frac{B_{t-1}^l}{B_t^l} - 1 \right]$$

$$= \beta E_t R_t \omega_{t+1} + \beta E_t \omega_{t+1} \frac{P_{t+1}(b^s + b^l) B_{t+1}^s}{(B_t^s)^2} \frac{B_t^l}{B_{t+1}^l} \left[\frac{B_{t+1}^s}{B_t^s} \frac{B_t^l}{B_{t+1}^l} - 1 \right] \quad (\text{A1.4})$$

$$\omega_t + \omega_t \frac{P_t(b^s + b^l) B_t^s}{(B_t^l)^2} \left[\delta \frac{B_t^s}{B_t^l} - 1 \right] + \omega_t \frac{P_t(b^s + b^l) B_t^s}{B_{t-1}^s} \frac{B_{t-1}^l}{(B_t^l)^2} \left[\frac{B_t^s}{B_{t-1}^s} \frac{B_{t-1}^l}{B_t^l} - 1 \right]$$

$$= \beta E_t R_{t+1}^l \omega_{t+1} + \beta E_t \omega_{t+1} \frac{P_{t+1}(b^s + b^l) B_{t+1}^s}{B_t^s} \frac{B_{t+1}^l}{B_{t+1}^l} \left[\frac{B_{t+1}^s}{B_t^s} \frac{B_{t+1}^l}{B_{t+1}^l} - 1 \right] \quad (\text{A1.5})$$

$$E_t \omega_t Q_{t,t+1} = \beta \omega_{t+1} \quad (\text{A1.6})$$

$$g_t C_t^{-\sigma} = \omega_t P_t \quad (\text{A1.7})$$

$$g_t N_t^\varphi = \omega_t W_t \quad (\text{A1.8})$$

donde ω_t es el multiplicador de Lagrange de la restricción presupuestaria nominal. Sea Λ_t el multiplicador de Lagrange de la restricción presupuestaria real:

$$\Lambda_t = \omega_t P_t \quad (\text{A1.9})$$

Entonces, las condiciones de primer orden se pueden escribir en términos reales:

$$\begin{aligned}
\Lambda_t + \Lambda_t \frac{(b^s + b^l)}{b_t^l} \left[\delta \frac{b_t^s}{b_t^l} - 1 \right] + \Lambda_t \frac{(b^s + b^l)}{b_{t-1}^s} \frac{b_{t-1}^l}{b_t^l} \left[\frac{b_t^s}{b_{t-1}^s} \frac{b_{t-1}^l}{b_t^l} - 1 \right] \\
= \beta E_t R_t \Lambda_{t+1} \pi_{t+1}^{-1} + \beta E_t \Lambda_{t+1} \frac{(b^s + b^l) b_{t+1}^s}{(b_t^s)^2} \frac{b_t^l}{b_{t+1}^l} \left[\frac{b_{t+1}^s}{b_t^s} \frac{b_t^l}{b_{t+1}^l} - 1 \right]
\end{aligned} \tag{A1.10}$$

$$\begin{aligned}
\Lambda_t + \Lambda_t \frac{(b^s + b^l) b_t^s}{(b_t^l)^2} \left[\delta \frac{b_t^s}{b_t^l} - 1 \right] + \Lambda_t \frac{(b^s + b^l) b_t^s}{b_{t-1}^s} \frac{b_{t-1}^l}{(b_t^l)^2} \left[\frac{b_t^s}{b_{t-1}^s} \frac{b_{t-1}^l}{b_t^l} - 1 \right] \\
= \beta E_t R_{t+1}^l \Lambda_{t+1} \pi_{t+1}^{-1} + \beta E_t \Lambda_{t+1} \frac{(b^s + b^l) b_{t+1}^s}{b_t^s} \frac{b_{t+1}^l}{b_{t+1}^l} \left[\frac{b_{t+1}^s}{b_t^s} \frac{b_{t+1}^l}{b_{t+1}^l} - 1 \right]
\end{aligned} \tag{A1.11}$$

$$E_t \Lambda_t Q_{t,t+1} \pi_{t+1} = \beta \Lambda_{t+1} \tag{A1.12}$$

$$g_t C_t^{-\sigma} = \Lambda_t \tag{A1.13}$$

$$g_t N_t^\varphi = \Lambda_t \frac{W_t}{P_t} \tag{A1.14}$$

Combinando y reduciendo estas ecuaciones, se obtiene la ecuación de Euler para el consumo:

$$\begin{aligned}
g_t C_t^{-\sigma} = \beta E_t R_t g_{t+1} C_{t+1}^{-\sigma} \pi_{t+1}^{-1} + \beta E_t g_{t+1} C_{t+1}^{-\sigma} \frac{(b^s + b^l) b_{t+1}^s}{(b_t^s)^2} \frac{b_t^l}{b_{t+1}^l} \left[\frac{b_{t+1}^s}{b_t^s} \frac{b_t^l}{b_{t+1}^l} - 1 \right] \\
- g_t C_t^{-\sigma} \frac{(b^s + b^l)}{b_t^l} \left[\delta \frac{b_t^s}{b_t^l} - 1 \right] - g_t C_t^{-\sigma} \frac{(b^s + b^l) b_{t-1}^l}{b_{t-1}^s} \frac{b_{t-1}^l}{b_t^l} \left[\frac{b_t^s}{b_{t-1}^s} \frac{b_{t-1}^l}{b_t^l} - 1 \right]
\end{aligned} \tag{A1.15}$$

De forma similar, se obtiene la oferta laboral:

$$\frac{W_t}{P_t} = C_t^\sigma N_t^\varphi \tag{A1.16}$$

A continuación, cada variable con circunflejo denota su forma log-lineal. Teniendo $b^l(b^s)^{-1} = \delta$, $b^s(b^s + b^l)^{-1} = (1 + \delta)^{-1}$, y $b^l(b^s + b^l)^{-1} = \delta(1 + \delta)^{-1}$, la ecuación de Euler para el consumo puede expresarse en su forma log-lineal como:

$$\begin{aligned}
\hat{c}_t = E_t \hat{c}_{t+1} - \frac{1}{\sigma} [\hat{R}_t - E_t \hat{\pi}_{t+1}] + \frac{\delta(1 + \delta)}{\sigma} [\hat{b}_t^s - \hat{b}_t^l] + \frac{(1 + \delta)}{\sigma} \Delta [\hat{b}_t^s - \hat{b}_t^l] \\
- \frac{(1 + \delta)}{\sigma} \beta E_t \Delta [\hat{b}_{t+1}^s - \hat{b}_{t+1}^l] + \frac{1}{\sigma} (1 - \rho_g) \hat{g}_t
\end{aligned} \tag{A1.17}$$

Mientras que la forma log-lineal de la oferta laboral es:

$$\hat{w}_t - \hat{p}_t = \sigma \hat{c}_t + \varphi \hat{n}_t \tag{A1.18}$$

Siguiendo esta estructura, la condición de primer orden para la tenencia de bonos de corto plazo, en su forma log-linear, viene dada por:

$$\begin{aligned}\widehat{\Lambda}_t = E_t \left[\widehat{R}_t + \widehat{\Lambda}_{t+1} - \widehat{\pi}_{t+1} \right] - \delta(1 + \delta) [\widehat{b}_t^s - \widehat{b}_t^l] - (1 + \delta) \Delta [\widehat{b}_t^s - \widehat{b}_t^l] \\ + \beta(1 + \delta) E_t \Delta [\widehat{b}_{t+1}^s - \widehat{b}_{t+1}^l]\end{aligned}\quad (A1.19)$$

De manera similar, la condición de primer orden para la tenencia de bonos de largo plazo, en su forma log-linear, resulta:

$$\begin{aligned}\widehat{\Lambda}_t = E_t \left[\widehat{R}_{t+1}^l + \widehat{\Lambda}_{t+1} - \widehat{\pi}_{t+1} \right] + (1 + \delta) [\widehat{b}_t^s - \widehat{b}_t^l] + \frac{(1 + \delta)}{\delta} \Delta [\widehat{b}_t^s - \widehat{b}_t^l] \\ - \frac{\beta(1 + \delta)}{\delta} E_t \Delta [\widehat{b}_{t+1}^s - \widehat{b}_{t+1}^l]\end{aligned}\quad (A1.20)$$

Al combinar las dos ecuaciones anteriores, se obtiene la ecuación de la tasa de interés nominal de largo plazo esperada:

$$E_t \widehat{R}_{t+1} = \widehat{R}_t - (1 + \delta) [\widehat{b}_t^s - \widehat{b}_t^l] - \frac{(1 + \delta)}{\delta} \Delta \{ [\widehat{b}_t^s - \widehat{b}_t^l] - \beta E_t [\widehat{b}_{t+1}^s - \widehat{b}_{t+1}^l] \} \quad (A1.21)$$

Por último, la ecuación de Euler se puede reescribir como:

$$\widehat{c}_t = E_t \widehat{c}_{t+1} - \frac{1}{\sigma} [\widehat{R}_t - E_t \widehat{\pi}_{t+1}] - \frac{\delta}{\sigma(1 + \delta)} [\widehat{R}_t - E_t \widehat{R}_{t+1}^l] + \frac{1}{\sigma} (1 - \rho_g) \widehat{g}_t \quad (A1.22)$$

$$\widehat{c}_t = E_t \widehat{c}_{t+1} - \frac{1}{\sigma} \left[\frac{1}{1 + \delta} \widehat{R}_t + \frac{\delta}{1 + \delta} E_t \widehat{R}_{t+1}^l - E_t \widehat{\pi}_{t+1} \right] + \frac{1}{\sigma} (1 - \rho_g) \widehat{g}_t \quad (A1.23)$$

A2 Derivación del problema de optimización de las firmas

Seguindo a Calvo (1983), se asume que cada firma individual restablece su precio con probabilidad $1 - \theta$ cada período, independientemente del tiempo transcurrido desde su último ajuste de precio. Por lo tanto, en cada período, una proporción $1 - \theta$ de empresas (seleccionadas aleatoriamente) restablecen sus precios, mientras que una fracción θ mantiene sus precios sin cambios. Sea $\tilde{P}_{d,t}$ el precio establecido por una firma j que ajusta su precio en el período t . Entonces, bajo la estructura de fijación de precios de Calvo (1983), $P_{d,t+k}(j) = \tilde{P}_{d,t}(j)$ con probabilidad θ^k para $k = 0, 1, 2, \dots$. Dado que todas las firmas que restablecen los precios en un período determinado elegirán el mismo precio, en lo adelante se descarta el subíndice j .

Al establecer un nuevo precio en el período t , la firma j busca maximizar el valor actual de su flujo de dividendos, condicional sobre ese precio siendo efectivo:

$$\max_{\{\tilde{P}_{d,t}\}} E_t \sum_{k=0}^{\infty} \theta^k \{Q_{t,t+k} [Y_{t+k}(\tilde{P}_{d,t} - MC_{t+k}^n)]\} \quad (A2.1)$$

sujeto a la secuencia de restricciones de demanda

$$Y_{t+k}(j) \leq \left(\frac{\tilde{P}_{d,t}}{P_{d,t+k}} \right)^{-\epsilon} \left(C_{d,t+k} + \int_0^i C_{d,t+k}^i di \right) \equiv Y_{t+k}^d(\tilde{P}_{d,t}) \quad (A2.2)$$

donde $MC_t^n = (1 - s) \frac{W_t}{A_t}$ denota el costo marginal nominal.

Por lo tanto, $\tilde{P}_{d,t}$ debe satisfacer la condición de primer orden

$$\sum_{k=0}^{\infty} \theta^k E_t \left\{ Q_{t,t+k} Y_{t+k} \left(\tilde{P}_{d,t} - \frac{\epsilon}{\epsilon - 1} MC_{t+k}^n \right) \right\} = 0 \quad (A2.3)$$

Considerando el hecho que $Q_{t,t+k} = \beta^k (C_{t+k}/C_t)^{-\sigma} (P_t/P_{t+k})$, se puede reescribir la ecuación anterior como:

$$\sum_{k=0}^{\infty} (\beta\theta)^k E_t \left\{ P_{t+k}^{-1} C_{t+k}^{-\sigma} Y_{t+k} \left(\tilde{P}_{d,t} - \frac{\epsilon}{\epsilon - 1} MC_{t+k}^n \right) \right\} = 0 \quad (A2.4)$$

o, en términos de variables estacionarias,

$$\sum_{k=0}^{\infty} (\beta\theta)^k E_t \left\{ C_{t+k}^{-\sigma} Y_{t+k} \frac{P_{d,t-1}}{P_{t+k}} \left(\frac{\tilde{P}_{d,t}}{P_{d,t-1}} - \frac{\epsilon}{\epsilon - 1} \Pi_{t-1,t+k}^H MC_{t+k} \right) \right\} = 0 \quad (A2.5)$$

siendo $\Pi_{t-1,t+k}^H \equiv \frac{P_{d,t+k}}{P_{d,t-1}}$, y $MC_{t+k} \equiv \frac{MC_{t+k}^n}{P_{d,t+k}}$. Log-linealizando la condición anterior en torno al estado estacionario de inflación cero con comercio balanceado, se obtiene:

$$\tilde{p}_{d,t} = \hat{p}_{d,t-1} + \sum_{k=0}^{\infty} (\beta\theta)^k E_t\{\pi_{d,t+h}\} + (1-\beta\theta) \sum_{k=0}^{\infty} (\beta\theta)^k E_t\{\widehat{mc}_{t+k}\} \quad (A2.6)$$

donde $\widehat{mc}_t \equiv mc_t - mc_{ss}$ es la (log) desviación del costo marginal real de su valor de estado estacionario $mc_{ss} = -\log(\frac{\epsilon}{\epsilon-1}) \equiv -\hat{\mu}$. Nótese que la expresión anterior se puede reformular en una versión más compacta como:

$$\tilde{p}_{d,t} - \hat{p}_{d,t-1} = \beta\theta E_t\{\tilde{p}_{d,t+1} - p_{d,t}\} + \hat{\pi}_{d,t} + (1-\beta\theta)\widehat{mc}_t \quad (A2.7)$$

Alternativamente, usando la relación $\widehat{mc}_t = mc_t^n - \hat{p}_{d,t} + \hat{\mu}_t$ para sustituir por \widehat{mc}_t en la igualdad (A2.7), y resolviendo algebraicamente, se obtiene una versión de la regla de fijación de precios en términos de los costos marginales nominales esperados:

$$\tilde{p}_{d,t} = \hat{\mu}_t + (1-\beta\theta) \sum_{k=0}^{\infty} (\beta\theta)^k E_t\{mc_{t+k}^n\} \quad (A2.8)$$

Bajo el supuesto de fijación de precios, la dinámica del índice de precios doméstico se describe mediante la ecuación:

$$P_{d,t} \equiv \left[\theta P_{d,t-1}^{1-\epsilon} + (1-\theta) (\tilde{P}_{d,t})^{1-\epsilon} \right]^{\frac{1}{1-\epsilon}} \quad (A2.9)$$

el cual puede ser log-linealizado en torno al estado estacionario de inflación cero, arrojando:

$$\hat{\pi}_{d,t} = (1-\theta)(\tilde{p}_{d,t} - p_{d,t-1}) \quad (A2.10)$$

Finalmente, combinando (A2.7) y (A2.10), se obtiene:

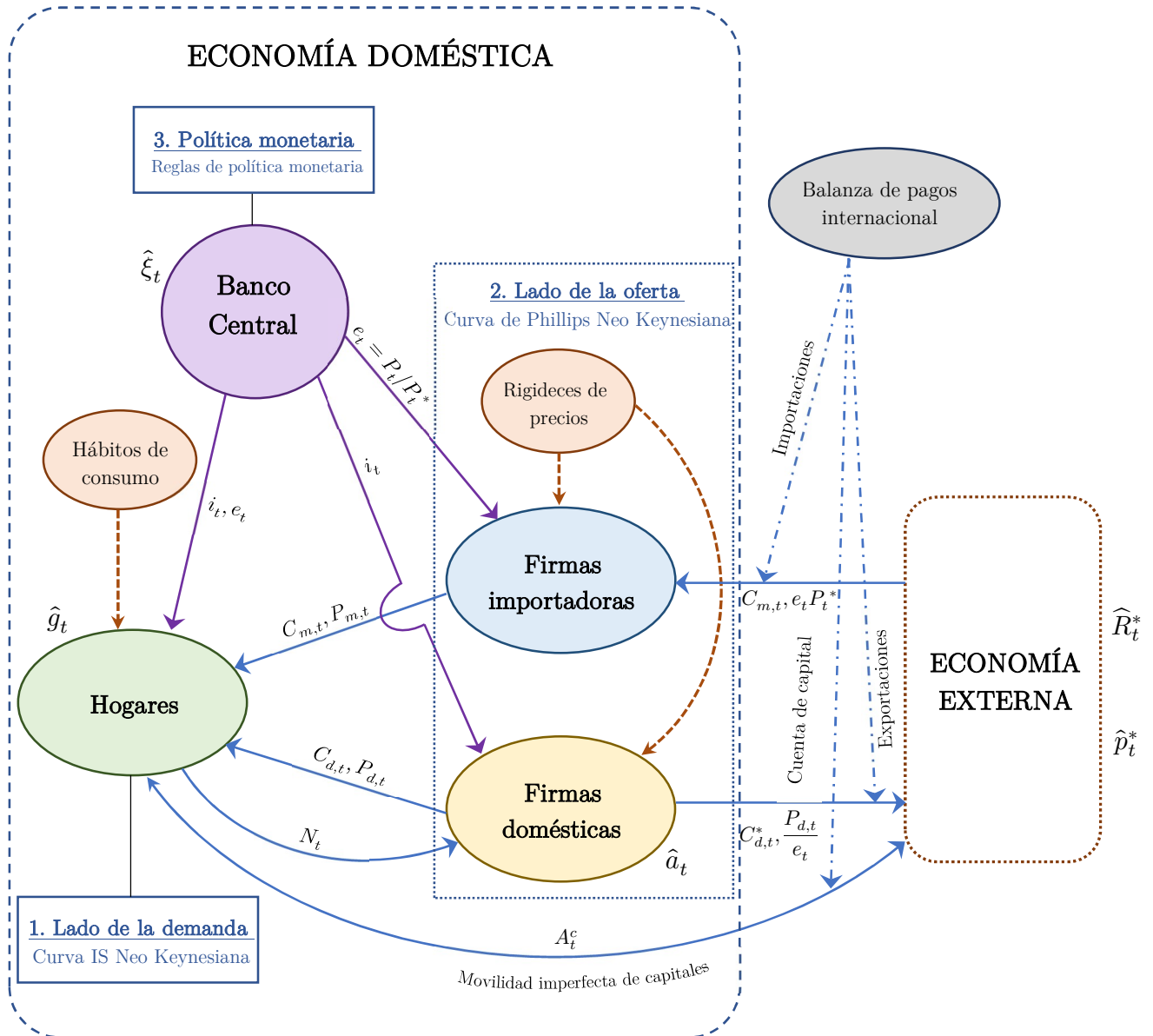
$$\hat{\pi}_{d,t} = \beta E_t\{\hat{\pi}_{d,t+1}\} + \lambda \widehat{mc}_t \quad (A2.11)$$

con $\lambda = \frac{(1-\theta)(1-\beta\theta)}{\theta}$. Considerando que el nivel natural de producción doméstica se puede obtener al imponer $\widehat{mc}_t = -\hat{\mu}_t$ para todo t , la ecuación anterior es equivalente a:

$$\hat{\pi}_{d,t} = \beta E_t\{\hat{\pi}_{d,t+1}\} - \lambda \hat{\mu}_t \quad (A2.12)$$

la cual corresponde a la ecuación (33) en la sección 3.4.

A3 Esquema de la estructura del modelo



Fuente: Elaboración del autor, basada en Van Nguyen (2020) y en la estructura del modelo.

Síntesis descriptiva del modelo:

La figura muestra la interacción entre los agentes del modelo. En el lado de la oferta, la empresa nacional produce sus bienes combinando tecnología estacionaria y la oferta de mano de obra de los hogares. También exporta sus bienes a la economía extranjera. Por el contrario, la empresa importadora no produce sus bienes, sino que los importa de la economía externa y los vende a los hogares domésticos. En ambas firmas, se tiene rigideces nominales en los precios. Por lo tanto, el traspaso del tipo de cambio es incompleto.

Por otro lado, en el lado de la demanda, el supuesto de tenencia de activos domésticos y extranjeros por parte de los hogares permite derivar la paridad descubierta de la tasa de interés. En última instancia, el modelo se “cierra” introduciendo la política monetaria, donde el papel de la autoridad monetaria se describe a través de las reglas “RPM” descritas en la sección 3.6.

A4 Formalidades de la estimación Bayesiana, algoritmo RWMH-MCMC y factor de Bayes

En este Apéndice se describe en forma resumida el trasfondo teórico de la metodología de estimación bayesiana implementada en este trabajo.

Estimación Bayesiana

La densidad *prior* $\mathcal{P}(\Theta|M_R)$ supone que la información previa sobre el vector de parámetros se puede resumir mediante una función de densidad de probabilidad conjunta. Así, la función de verosimilitud describe la densidad de los datos observados dado el modelo y el vector de parámetros. Esta última se estima utilizando el filtro de Kalman, el cual evalúa la función de verosimilitud asociada con la solución del sistema estado-espacio del modelo. Esta función se puede representar recursivamente, mediante:

$$\mathcal{L}(\Theta|y_T, M_R) \equiv \mathcal{P}(y_0|\Theta, M_R) \prod_{i=1}^T \mathcal{P}(y_t|y_{t-1}, \Theta, M_R) \quad (A4.1)$$

donde $\mathcal{L}(\Theta|y_T, M_R)$ es la función de verosimilitud y $\mathcal{P}(y_t|y_{t-1}, \Theta, M_R)$ es la densidad condicional sobre la información disponible hasta $t - 1$.

La distribución posterior es dada por el Teorema de Bayes:

$$\mathcal{P}(\Theta|y_t, M_R) = \frac{\mathcal{L}(\Theta|y_T, M_R) \mathcal{P}(\Theta|M_R)}{\mathcal{P}(y_t|M_R)} \quad (A4.2)$$

siendo el término $\mathcal{P}(y_t|M_R)$ la densidad marginal de los datos, el cual se incluye como una constante de normalización en el denominador. Aquí, el logaritmo de la densidad marginal de los datos se puede interpretar como una función logarítmica de máxima verosimilitud penalizada por la dimensión del modelo. De su parte, el término $\mathcal{P}(\Theta|y_t, M_R)$ es la densidad posterior proporcional al producto de la función de verosimilitud y la *prior*:

$$\mathcal{P}(\Theta|y_T, M_R) \propto \mathcal{L}(\Theta|y_T, M_R) \mathcal{P}(\Theta|M_R) \equiv \mathbb{K}(\Theta|y_T, M_R) \quad (A4.3)$$

La ecuación anterior es de interés fundamental, ya que resume todo lo que se sabe sobre el parámetro Θ después del uso de los datos. Por su lado, el kernel posterior $\mathbb{K}(\Theta|y_T, M_R)$ corresponde al numerador de la densidad posterior.

Algoritmo Metrópolis-Hastings

Para la obtención de los momentos posteriores, el algoritmo RWMH-MCMC se ejecuta siguiendo los siguientes pasos, partiendo de la moda posterior $\tilde{\Theta}$.

Primer paso: Elegir un punto de inicio $\hat{\Theta}^0$, que por lo general se encuentra en $\tilde{\Theta}$.

Segundo paso: Derivar un parámetro $\hat{\Theta}^*$ de una distribución de saltos:

$$J(\hat{\Theta}^*|\hat{\Theta}^{t-1}) = N(\hat{\Theta}^{t-1}|\omega^2\Omega_d) \quad (A2.4)$$

donde N denota una distribución normal, ω es un escalar que controla la magnitud de salto de la actualización del algoritmo propuesto, Ω es la inversa de la matriz Hessiana calculada en $\tilde{\Theta}$, y d es la dimensión de Θ .

Tercer paso: Computar la tasa de aceptación y su probabilidad asociada, respectivamente, como:

$$r = \frac{\mathcal{P}(\hat{\Theta}^*|y_t, M_R)}{\mathcal{P}(\hat{\Theta}^{t-1}|y_t, M_R)} = \frac{\mathbb{K}(\hat{\Theta}^*|y_T, M_R)}{\mathbb{K}(\hat{\Theta}^{t-1}|y_T, M_R)} \quad (A2.5)$$

$$\mathfrak{B} = \min \left\{ 1, \frac{\mathbb{K}(\hat{\Theta}^*|y_T, M_R)}{\mathbb{K}(\hat{\Theta}^{t-1}|y_T, M_R)} \right\} \quad (A2.6)$$

Cuarto paso: Aceptar o rechazar el parámetro propuesto $\hat{\Theta}^*$. Derivar una variable aleatoria $q \sim (0, 1)$. La propuesta $\hat{\Theta}^t = \hat{\Theta}^*$ se acepta si $q \leq \mathfrak{B}$, de lo contrario considerar otro candidato.

Este proceso se repite \mathcal{H} veces para generar la densidad posterior $\mathcal{P}(\hat{\Theta}|y_t, M_R)$. La tasa de convergencia es sensible tanto a ω como a \mathcal{H} . Para permitir la convergencia, se configuraron $\mathcal{H} = 250,000$ replicaciones, como en Smets y Wouters (2007) y un ω que conduce a una tasa de aceptación de aproximadamente 30%, iniciando con $\omega = 2.4/\sqrt{d}$

Factor de Bayes

Para cada regla en el modelo, la densidad marginal posterior se estima utilizando el estimador de la media armónica modificada de Geweke (1998). De esta manera, el factor Bayes se considera una herramienta para determinar cuál RPM explica mejor el comportamiento del conjunto de variables observadas. Para hacer esto, se define el factor de Bayes de la regla k sobre la regla l , $FB_{k,l}$, como:

$$FB_{k,\ell} = \frac{\mathcal{P}(\mathcal{Y}_t | \mathbf{M}_{R,k})}{\mathcal{P}(\mathcal{Y}_t | \mathbf{M}_{R,\ell})} \quad (A2.7)$$

donde $\mathcal{P}(\mathcal{Y}_t | \mathbf{M}_{R,k})$ es la densidad marginal posterior del modelo con la regla k y $\mathcal{P}(\mathcal{Y}_t | \mathbf{M}_{R,\ell})$ es la densidad marginal posterior de la regla l . Usando este factor, es posible calcular la probabilidad posterior de cada regla, \mathcal{P}_k .

Considerando que $\sum_{k=1}^{10} \mathcal{P}_k = 1$, se tiene:

$$\frac{1}{\mathcal{P}_1} = \sum_{k=2}^{10} FB_{k,1} \quad (A2.8)$$

siendo \mathcal{P}_1 la probabilidad posterior de la regla R1. Así, $\mathcal{P}_k = \mathcal{P}_1 FB(k, 1)$ provee las probabilidades restantes del modelo.

Si la probabilidad posterior de la regla k es mayor que la probabilidad posterior de la regla l , entonces se considera que la regla k es mejor que la regla l .

A5 Evolución de las variables observables



Nota: Los gráficos corresponden a la variación porcentual interanual (excepto tasas de interés), sin ajustes estacionales ni de tendencia.

Fuente: Elaboración del autor a partir de datos del BCRD y la FRED.

A6 Correlaciones contemporáneas y estadísticas descriptivas de variables observables

A6.1 Correlaciones contemporáneas

	y_t	c_t	π_t	R_t	e_t	y_t^*	p_t^*	R_t^*
y_t	1	0.648	-0.076	-0.561	-0.370	0.684	0.098	0.224
c_t	0.648	1	0.023	-0.178	-0.382	0.146	0.031	0.141
π_t	-0.076	0.023	1	0.604	-0.011	-0.062	0.808	0.220
R_t	-0.561	-0.178	0.604	1	0.009	-0.548	0.347	0.169
e_t	-0.370	-0.382	-0.011	0.009	1	-0.225	-0.162	-0.477
y_t^*	0.684	0.146	-0.062	-0.548	-0.225	1	0.266	0.087
p_t^*	0.098	0.031	0.808	0.347	-0.162	0.266	1	0.434
R_t^*	0.224	0.141	0.220	0.169	-0.477	0.087	0.434	1

Fuente: Elaboración del autor a partir de datos del BCRD y la FRED.

A6.2 Estadísticas descriptivas

	Obs.	Mínimo	Media	Mediana	Máximo	Desviación estándar	Asimetría	Curtosis
y_t	53	-2.782	5.144	6.259	8.866	2.876	-1.010	3.340
c_t	53	-0.324	4.918	4.922	9.258	1.992	-0.387	3.282
π_t	53	-1.089	4.270	3.430	14.291	3.019	0.971	4.046
R_t	53	5.420	7.193	6.452	15.483	2.013	2.316	9.010
e_t	53	0.040	3.515	3.370	8.410	1.548	0.305	4.094
y_t^*	53	-3.924	1.676	2.034	3.978	1.632	-2.047	7.076
p_t^*	53	-1.623	1.857	1.811	5.303	1.255	-0.060	4.233
R_t^*	53	0.073	1.023	0.187	5.257	1.413	1.793	5.458

Fuente: Elaboración del autor a partir de datos del BCRD y la FRED.

Leyenda:

- y_t : PIB
- c_t : Consumo privado
- π_t : Inflación IPC
- R_t : Tasa de interés interbancaria
- e_t : Tipo de cambio nominal
- y_t^* : PIB externo
- p_t^* : Inflación externa
- R_t^* : Tasa de interés externa

A7 Estimaciones de parámetros

A7.1 Parámetros calibrados

Parámetro	Descripción	Valor
β	Factor de descuento	0.99
ϵ	Elasticidad de sustitución entre bienes domésticos	9
α	Grado de apertura de la economía	0.43
δ	Ratio de estado estacionario de bonos de largo plazo a bonos de corto plazo	3
φ	Inversa de la elasticidad de la oferta laboral	1.00
$\varphi_{\pi F}$	Coficiente IFB	5

A7.2 Parámetros estimados por MV

Parámetro	Descripción	Prior	Estimación	DS	Estadístico-t
θ	Probabilidad de Calvo	0.50	0.343	0.116	2.972
σ	Inversa de la elasticidad de sustitución intertemporal	1.00	0.969	0.289	3.362
η	Elasticidad de sustitución entre bienes domésticos e importados	1.00	1.132	0.268	4.217
φ_R	Coficiente de inercia de la tasa de interés	0.70	0.735	0.089	8.239
φ_π	Coficiente de reacción a la inflación	1.25	2.232	2.057	1.086
φ_y	Coficiente de la desviación del producto	0.25	0.007	0.412	0.017
φ_e	Coficiente de reacción al tipo de cambio	0.50	0.154	0.161	0.957
ρ_ξ	Autocorrelación de choque de política monetaria	0.50	0.158	0.109	1.445
ρ_a	Autocorrelación de choque de productividad	0.50	0.626	0.108	5.785
ρ_g	Autocorrelación de choque de preferencias	0.50	0.608	0.104	5.836
ρ_{R^*}	Autocorrelación de choque de tasa de interés internacional	0.50	0.650	0.164	3.975
ρ_{p^*}	Autocorrelación de choque del nivel de precios mundial	0.50	0.849	0.063	13.416
σ_ξ	Desviación estándar del choque de política monetaria	4.00	4.431	4.171	1.062
σ_a	Desviación estándar del choque de productividad	2.00	2.176	0.506	4.300
σ_g	Desviación estándar del choque de preferencias	1.00	1.359	0.387	3.510
σ_{R^*}	Desviación estándar del choque de tasa de interés internacional	1.00	0.498	0.237	2.106
σ_{p^*}	Desviación estándar del choque del nivel de precios mundial	2.00	2.011	0.202	9.940

Nota: Los coeficientes de inercia de tasa de interés y de reacción al tipo de cambio fueron estimados con métodos ARIMA y ARIMAX, incluyendo en las regresiones la tasa de política monetaria y la inflación. Lo anterior, dado que el kernel de verosimilitud logarítmica no acotaba el máximo para estos parámetros, lo que castigaba las demás estimaciones y los resultados.

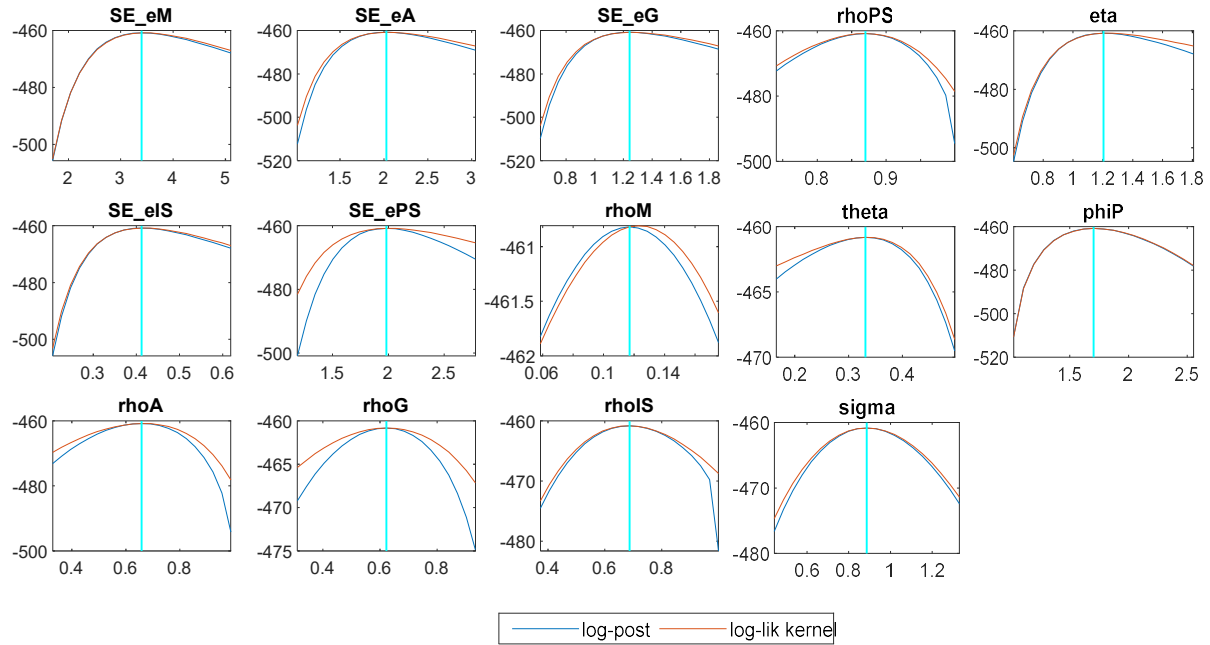
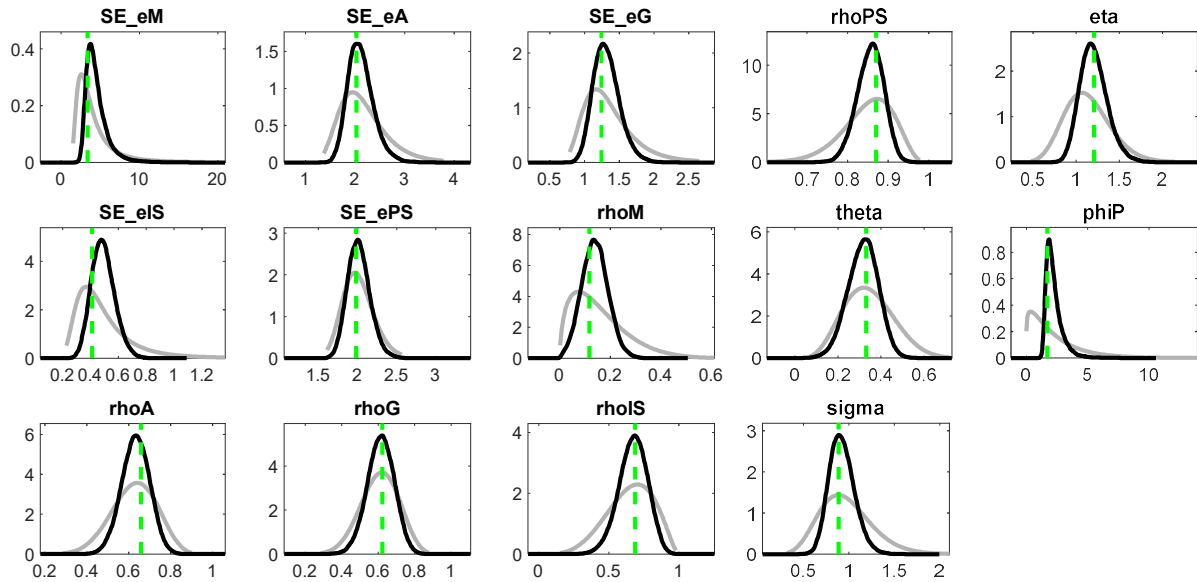
A7.3 Estimación bayesiana de parámetros

Parámetro	Densidad	Prior		Posterior		Intérv. confianza	
		Media	DS	Moda	Media	Inferior	Superior
θ	Beta	0.343	0.116	0.332	0.316	0.201	0.429
σ	Gamma	0.969	0.289	0.887	0.921	0.699	1.146
η	Gamma	1.132	0.268	1.205	1.201	0.950	1.456
φ_π	Gamma	2.232	2.057	1.703	2.233	1.381	3.137
ρ_ξ	Beta	0.158	0.109	0.117	0.139	0.055	0.224
ρ_a	Beta	0.626	0.108	0.659	0.632	0.527	0.743
ρ_g	Beta	0.608	0.104	0.622	0.612	0.495	0.735
ρ_{R^*}	Beta	0.650	0.164	0.687	0.671	0.506	0.838
ρ_{p^*}	Beta	0.849	0.063	0.870	0.856	0.802	0.908
σ_ξ	Inv-Gamma	4.431	4.171	3.401	4.492	2.676	6.342
σ_a	Inv-Gamma	2.176	0.506	2.028	2.109	1.700	2.519
σ_g	Inv-Gamma	1.359	0.387	1.242	1.314	1.013	1.616
σ_{R^*}	Inv-Gamma	0.498	0.237	0.412	0.490	0.355	0.622
σ_{p^*}	Inv-Gamma	2.011	0.202	1.982	2.015	1.787	2.252

Nota: Dado que los coeficientes de reacción al producto y al tipo de cambio resultaron no significativos (ver tabla A7.2), lo que es verificado luego por métodos bayesianos, se descartaron en las estimaciones posteriores.

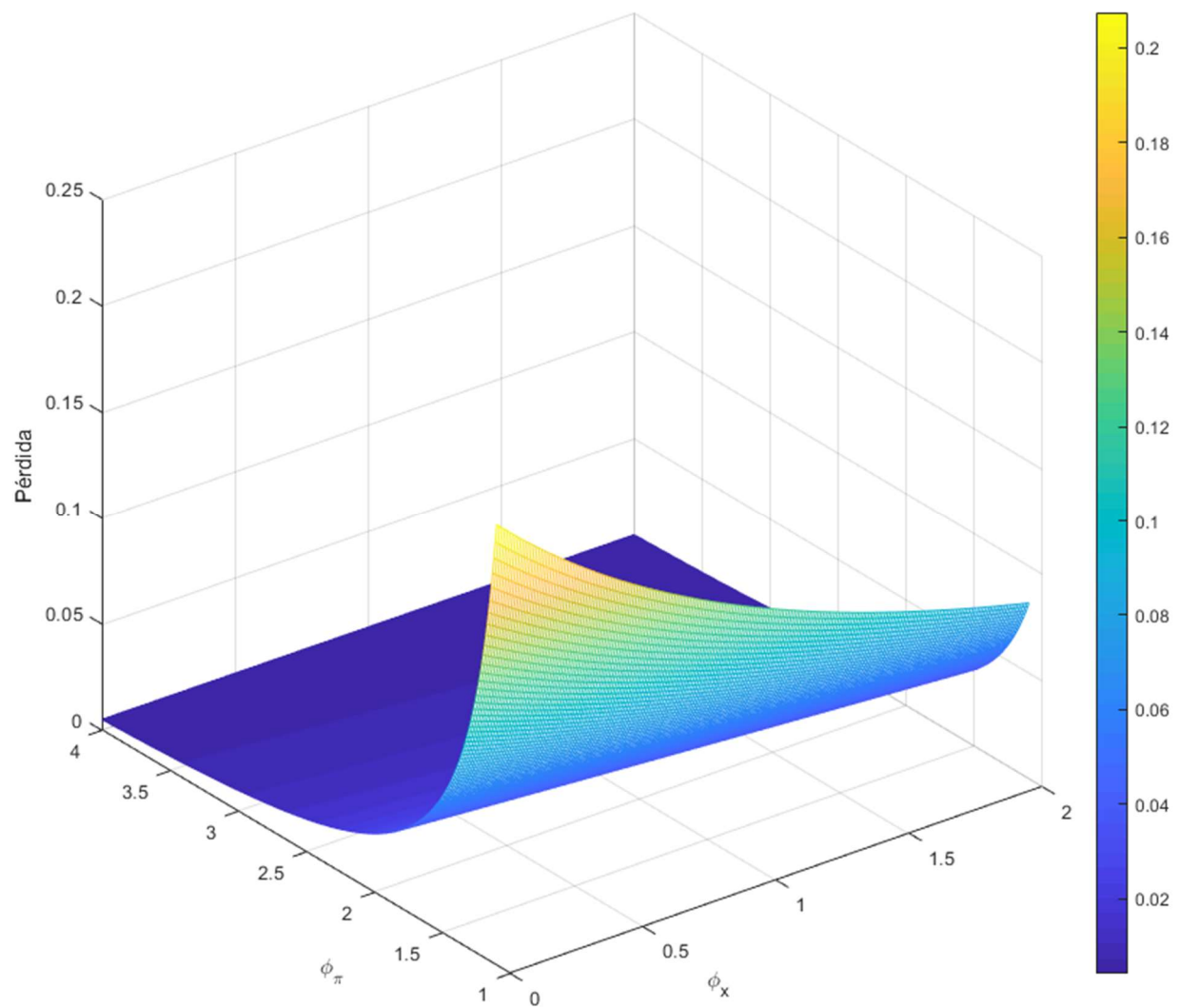
Por otro lado, según se verifica en las estimaciones posteriores (ver tabla 9, sección 5.3), las dos reglas de política monetaria que más se alinean a los datos no incluyen el término de suavizamiento de la tasa de interés. En consecuencia, este coeficiente se omite para las estimaciones bayesianas de la descomposición histórica y de la descomposición de varianza del error de predicción, para las cuales se considera la regla R1.

A7.4 Verificación de la moda de los parámetros estimados

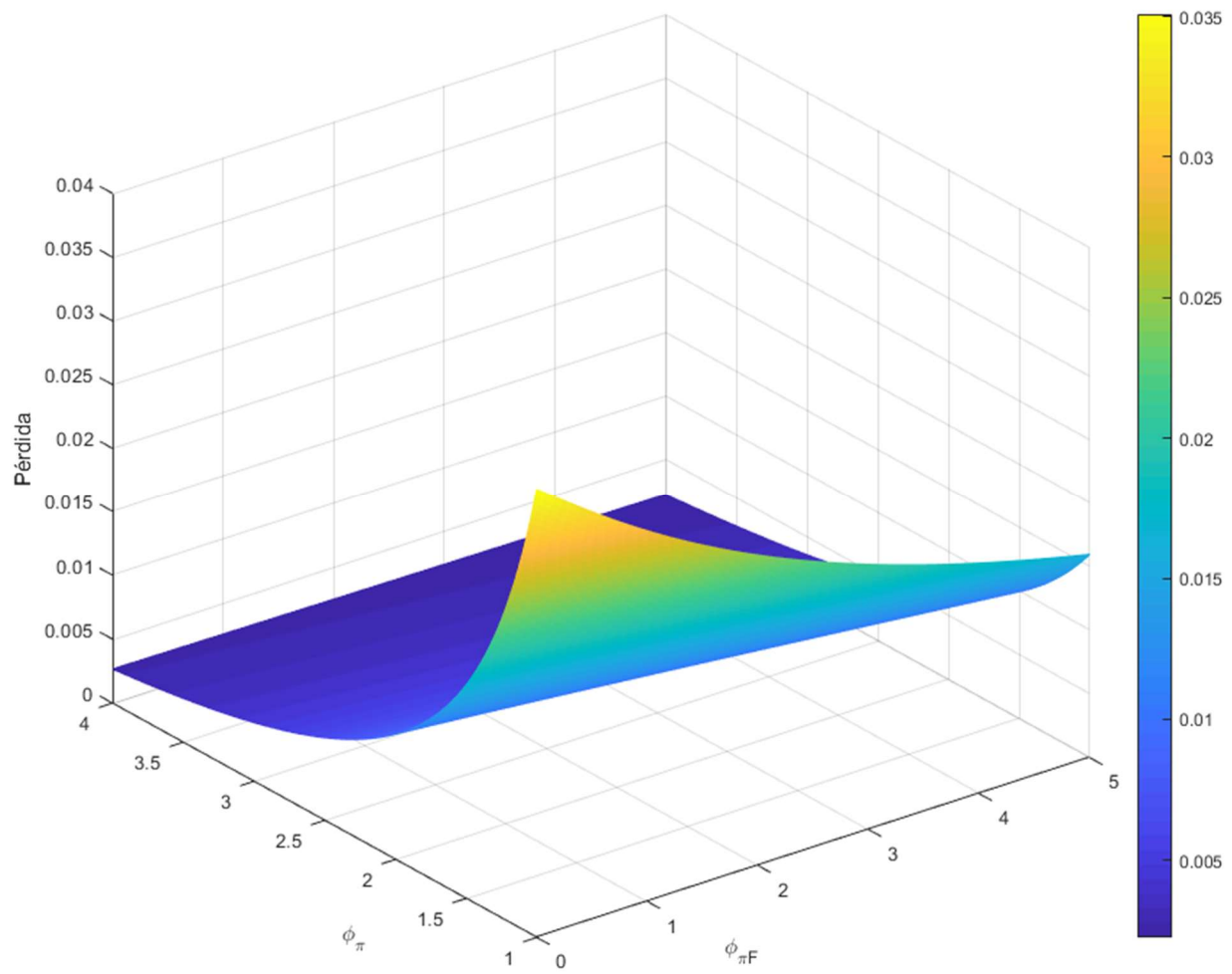
A7.5 Gráficos distribuciones *prior* y posteriores

A8 Superficies de pérdida en bienestar por ponderaciones en reglas binomiales

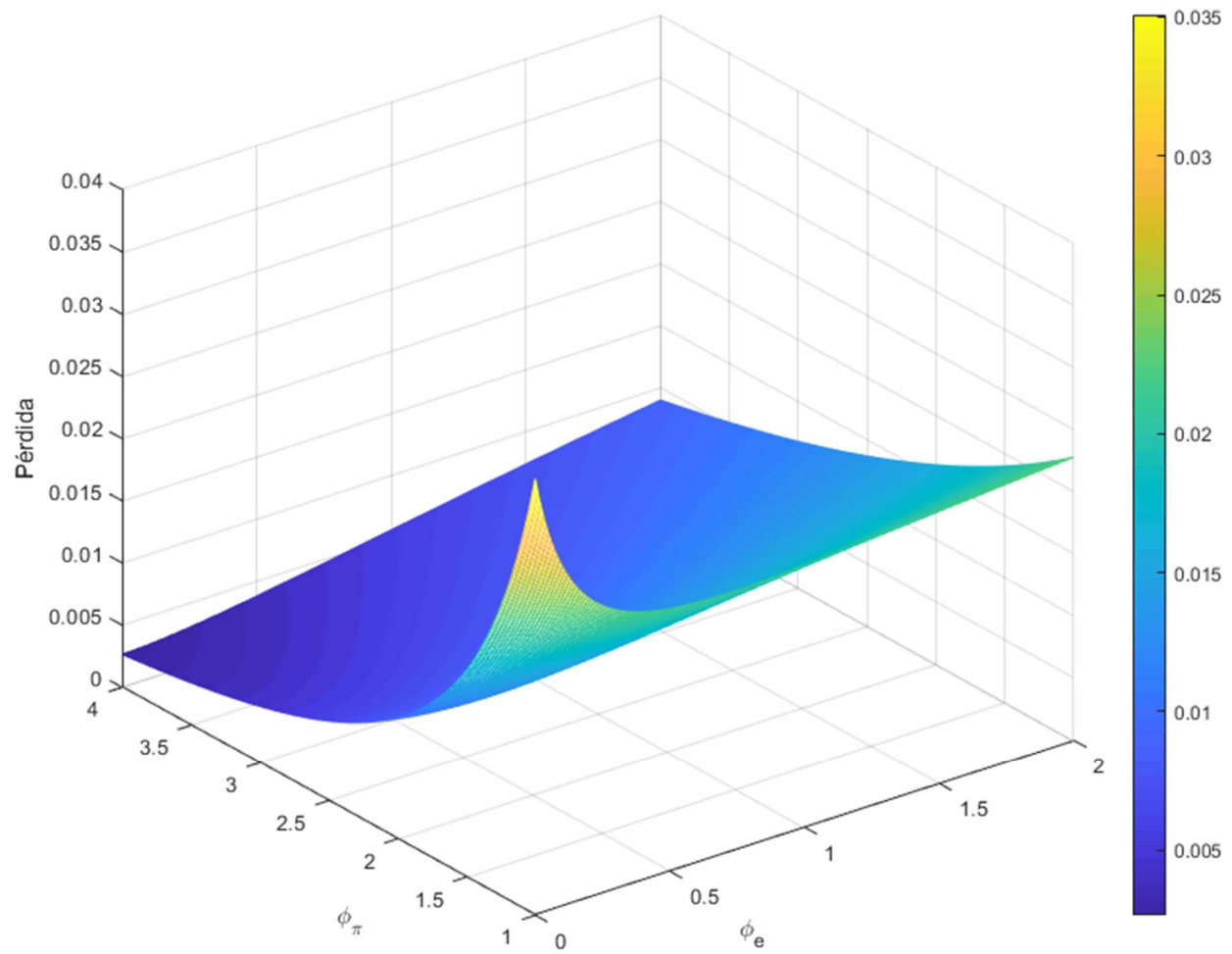
A8.1 Reacción a la inflación IPC y a la brecha del producto



A8.2 Reacción a la inflación IPC y a la inflación proyectada

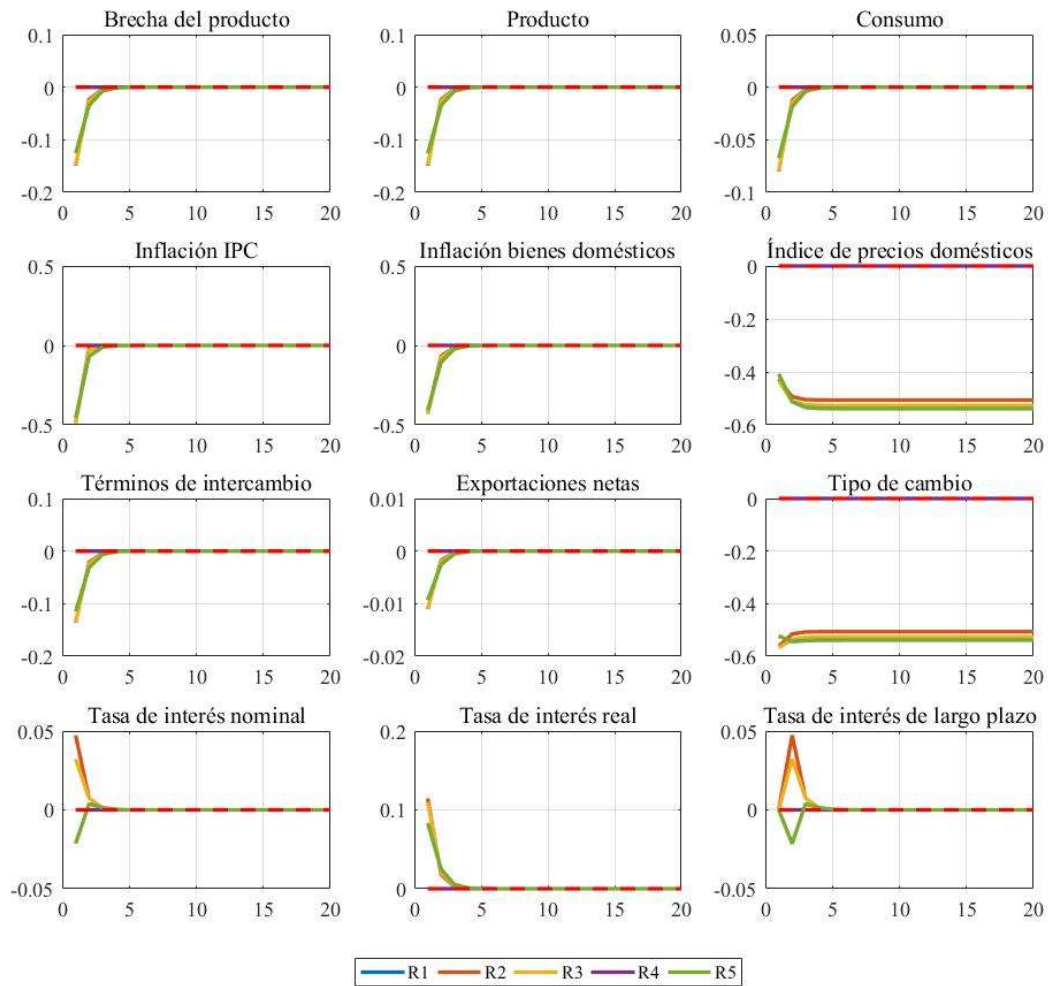


A8.3 Reacción a la inflación IPC y al tipo de cambio



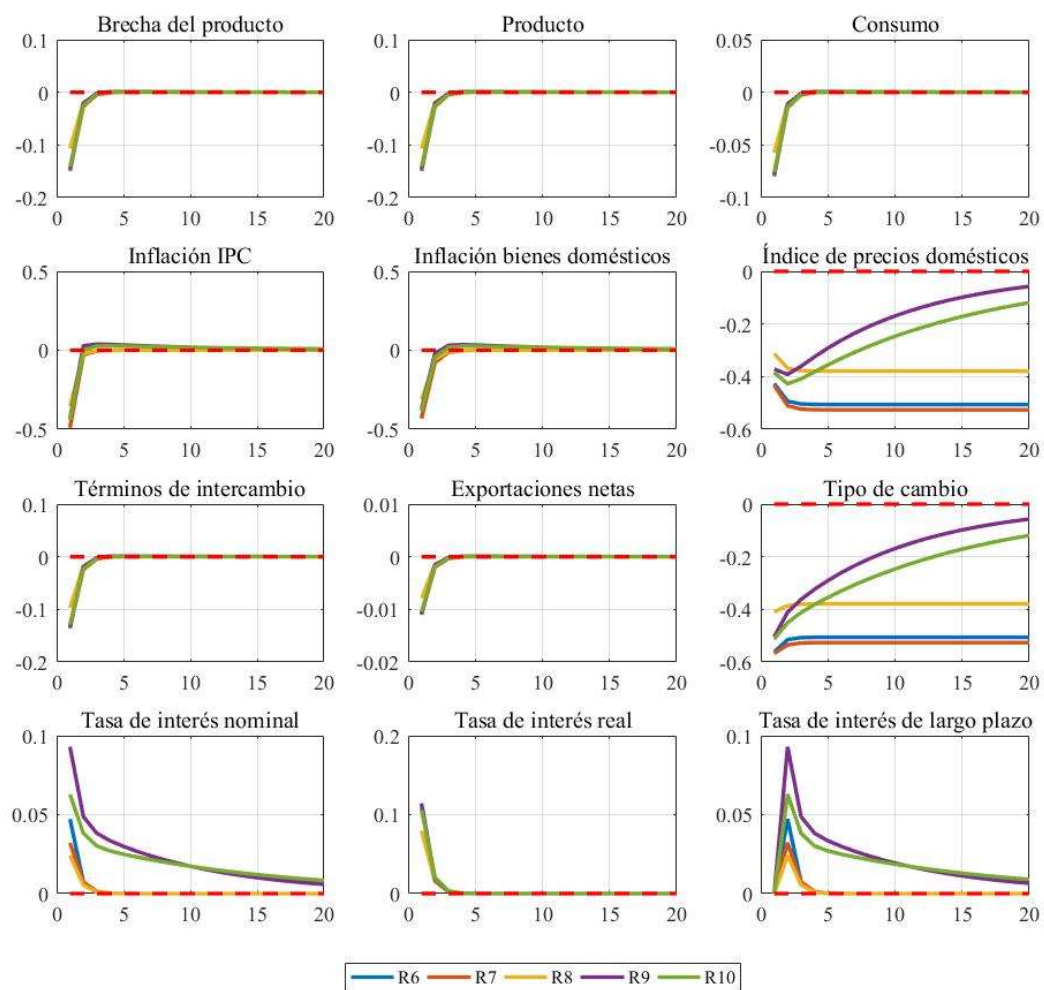
A9 Funciones impulso respuesta

A9.1 Choque de política monetaria (Reglas R1-R5)

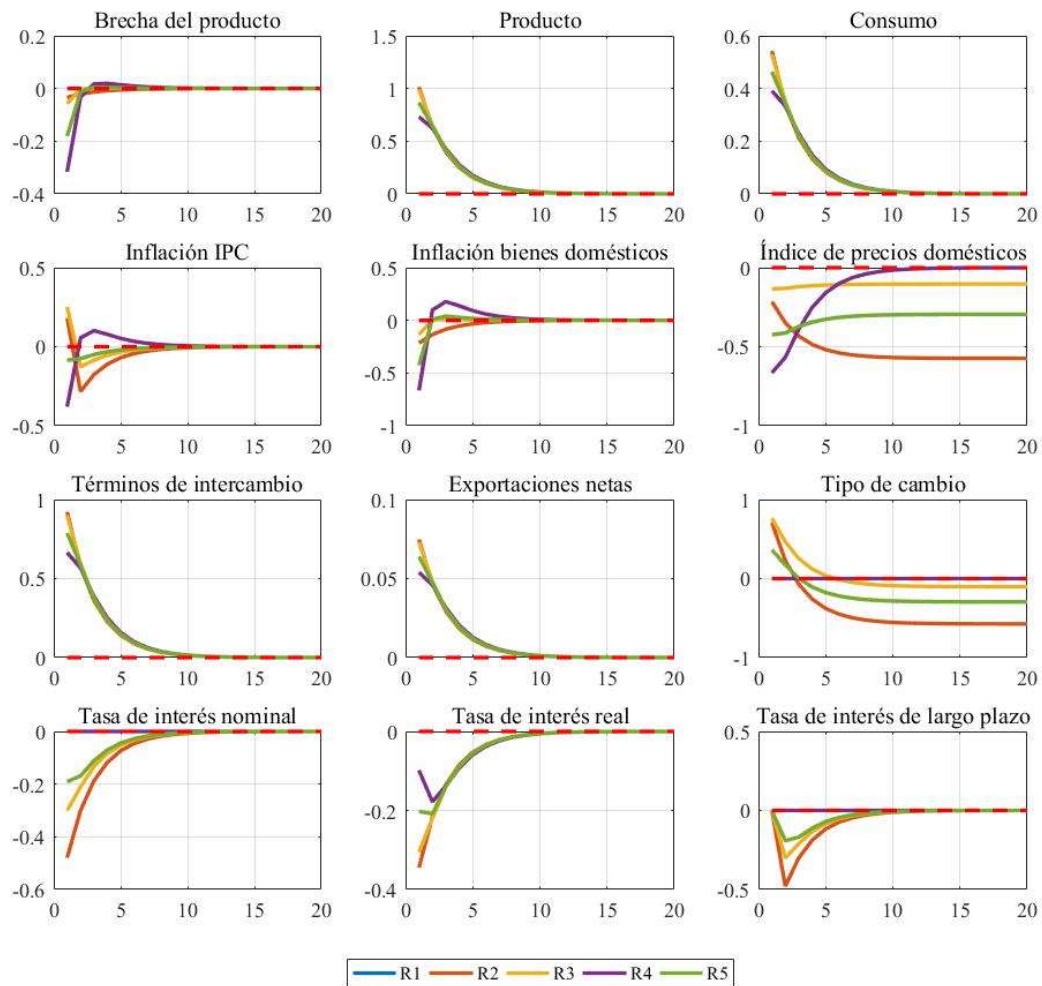


Nota: Las IRF con la regla R1 son casi idénticas a las IRF con la regla R2. Por su lado, las IRF con la regla R4 son nulas por lo explicado en la sección 5.1.1.

A9.1 Choque de política monetaria (Reglas R6-R10)

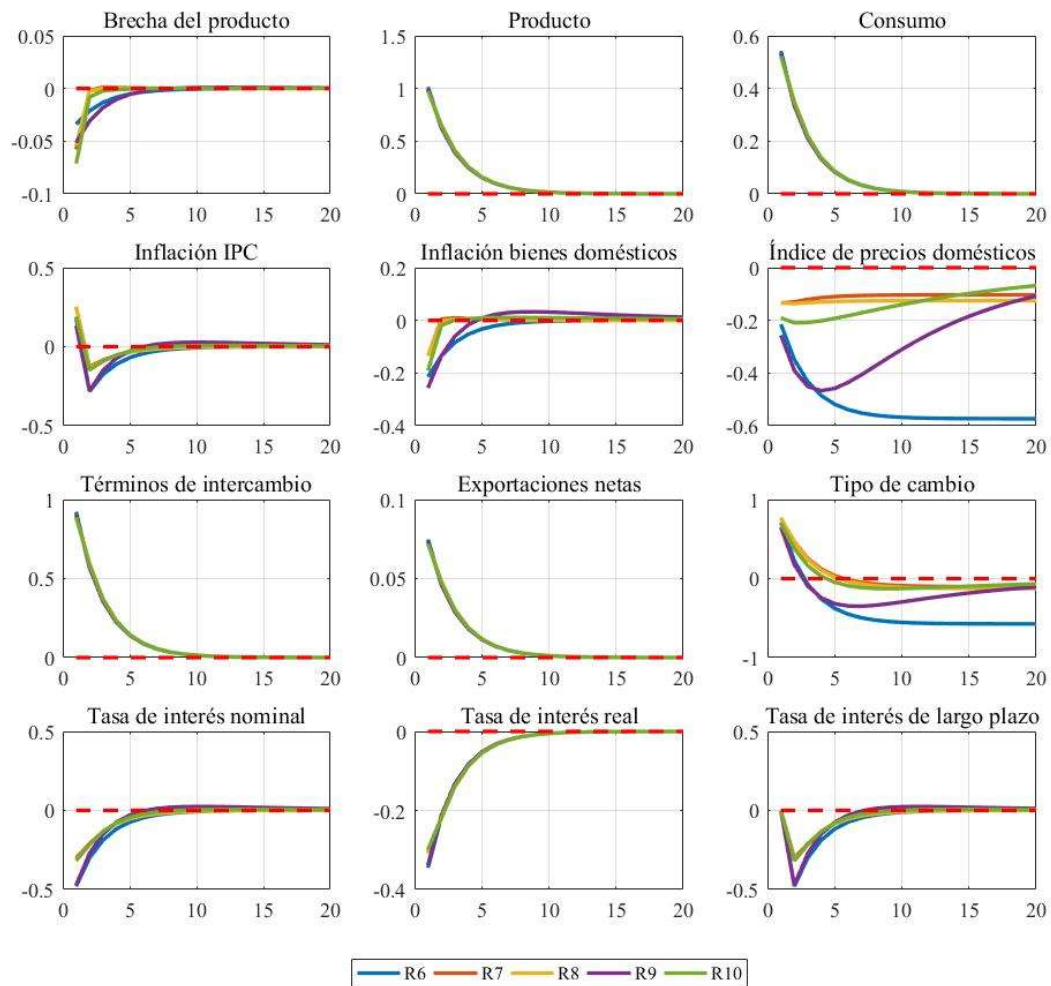


A9.2 Choque de productividad (Reglas R1-R5)

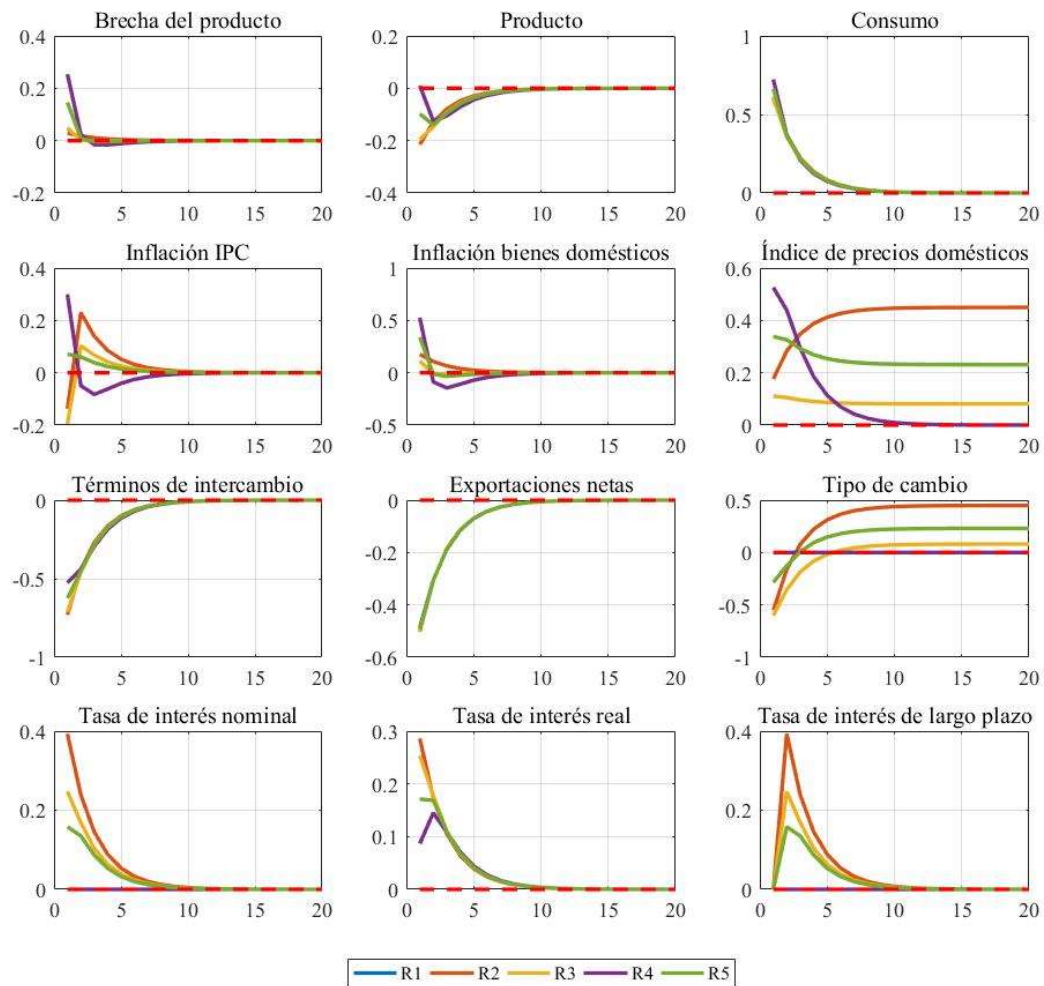


Nota: Las IRF con la regla R1 son casi idénticas a las IRF con la regla R2.

A9.2 Choque de productividad (Reglas R6-R10)

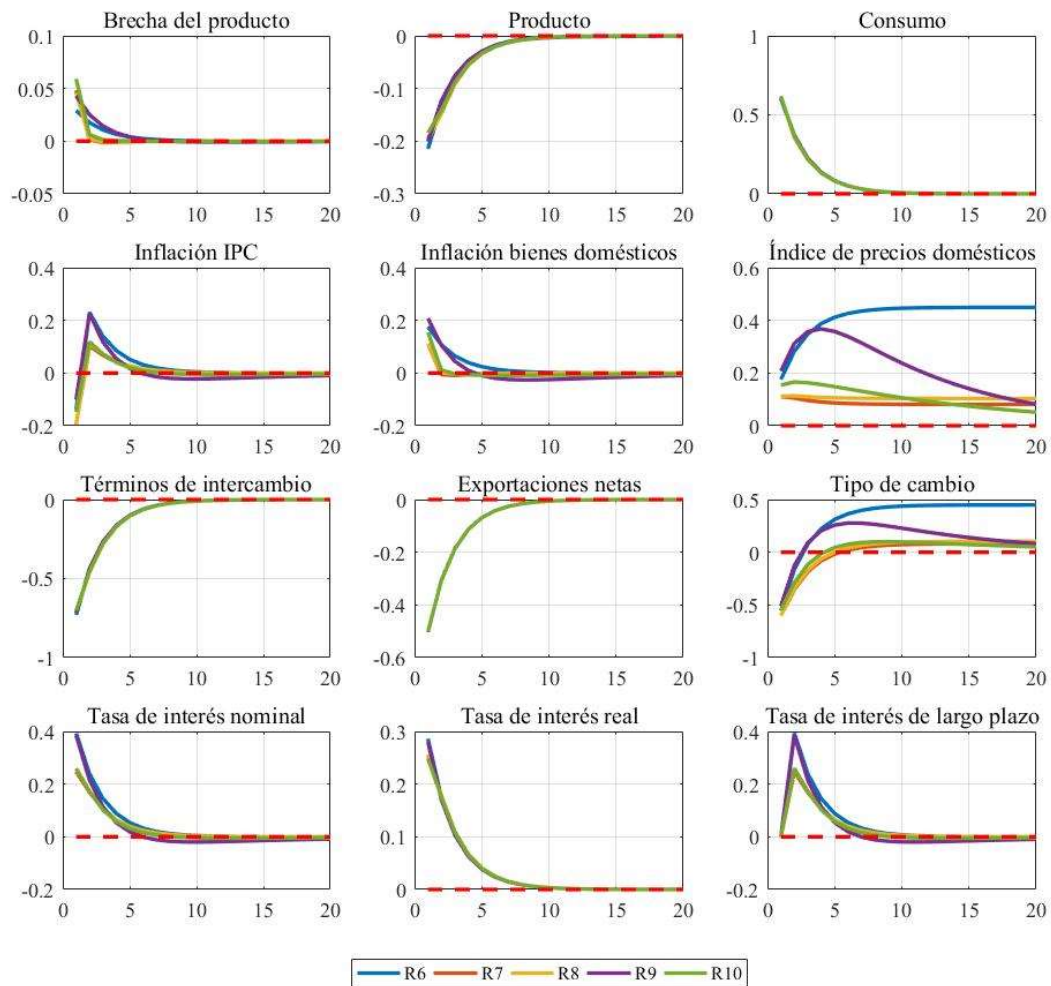


A9.3 Choque de preferencias (Reglas R1-R5)

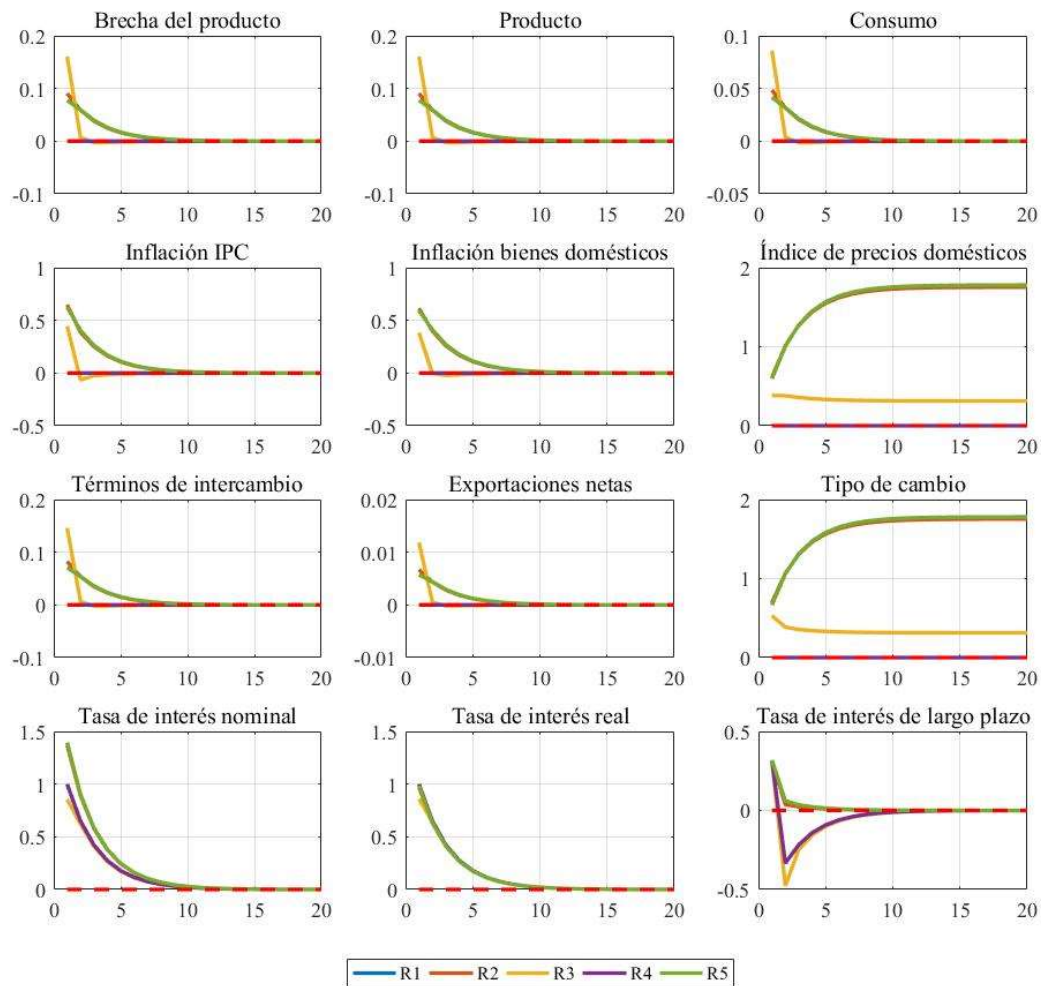


Nota: Las IRF con la regla R1 son casi idénticas a las IRF con la regla R2.

A9.3 Choque de preferencias (Reglas R6-R10)

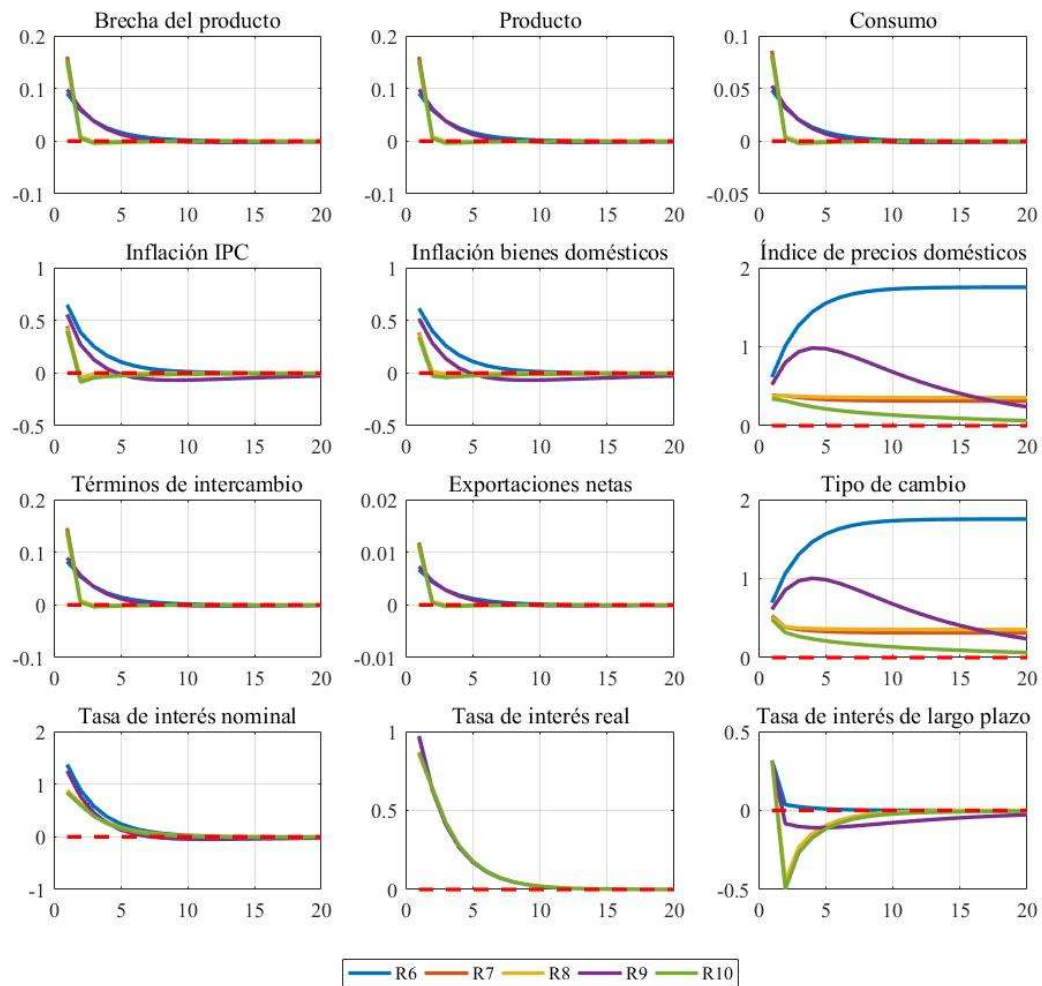


A9.4 Choque de tasa de interés internacional (Reglas R1-R5)

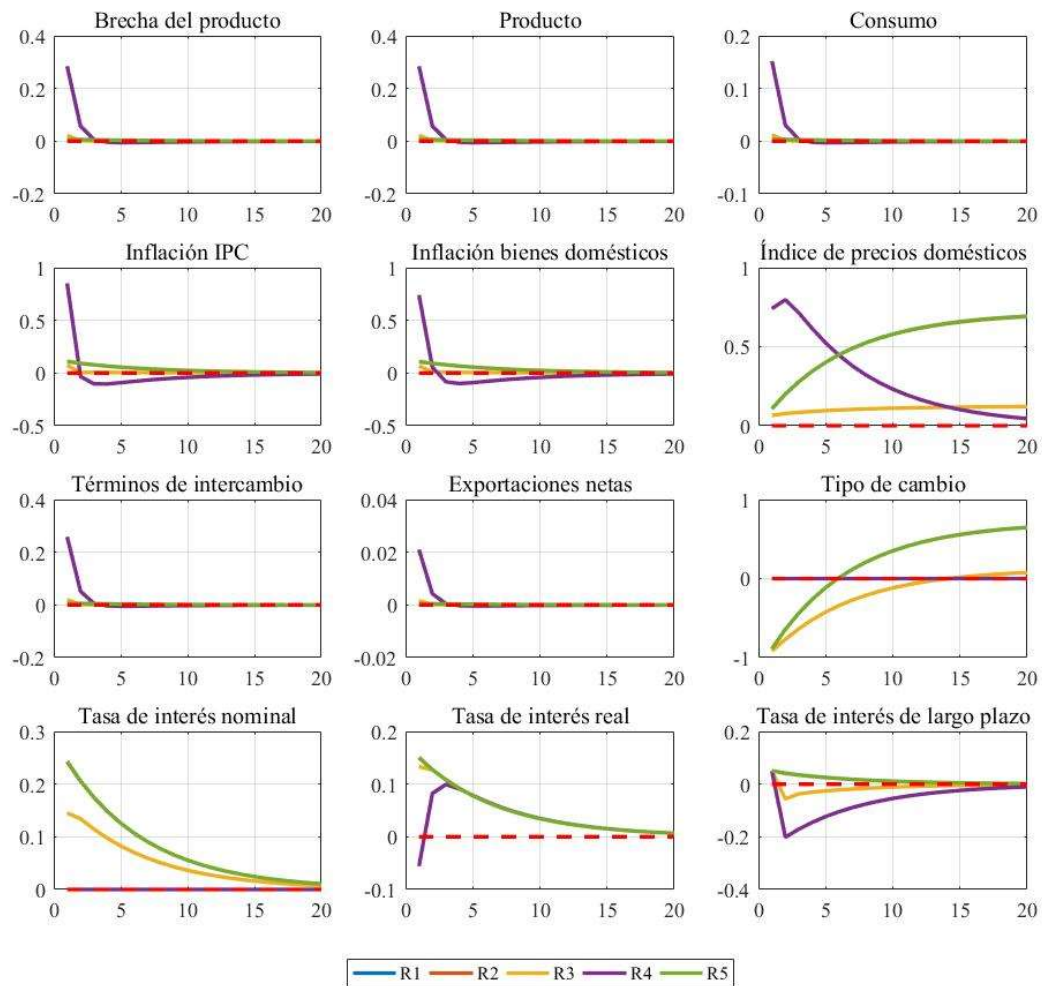


Nota: Las IRF con la regla R1 son casi idénticas a las IRF con la regla R2.

A9.4 Choque de tasa de interés internacional (Reglas R6-R10)

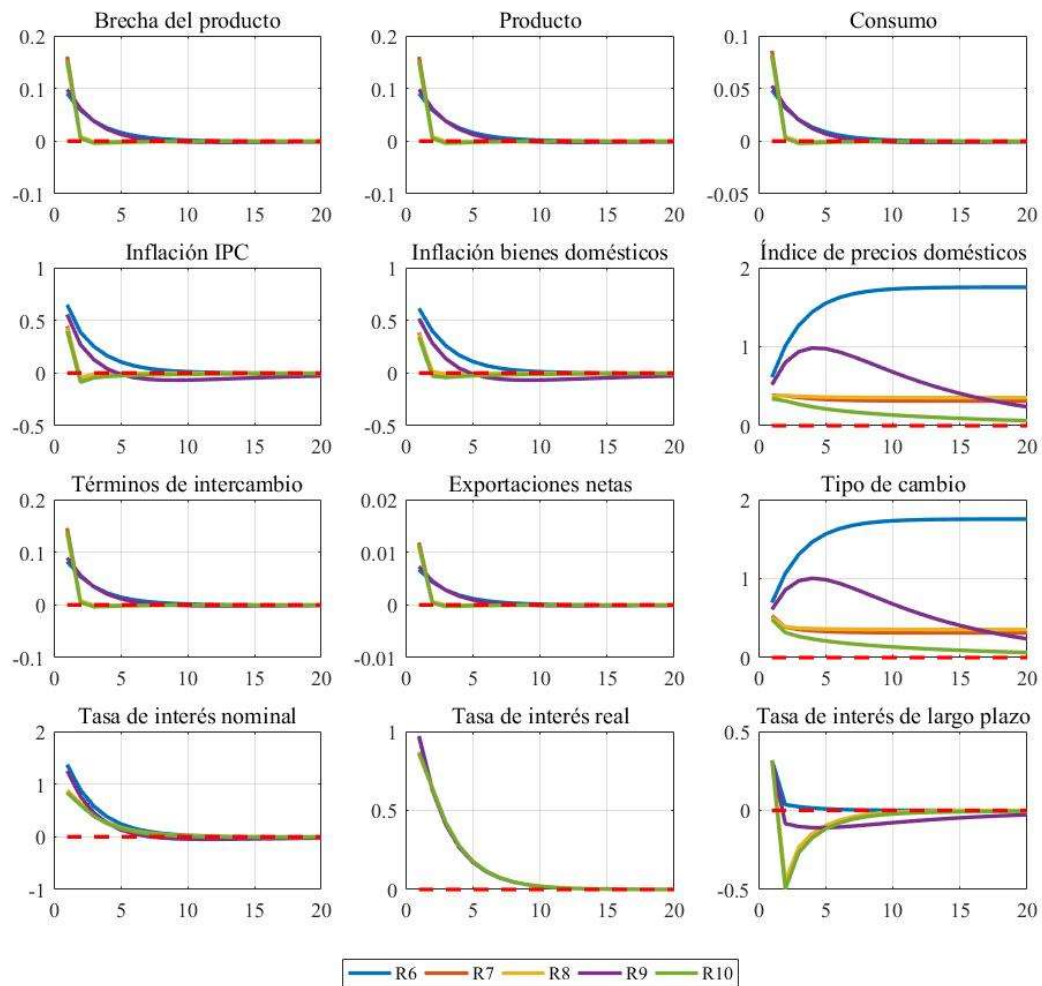


A9.5 Choque de nivel de precios mundial (Reglas R1-R5)



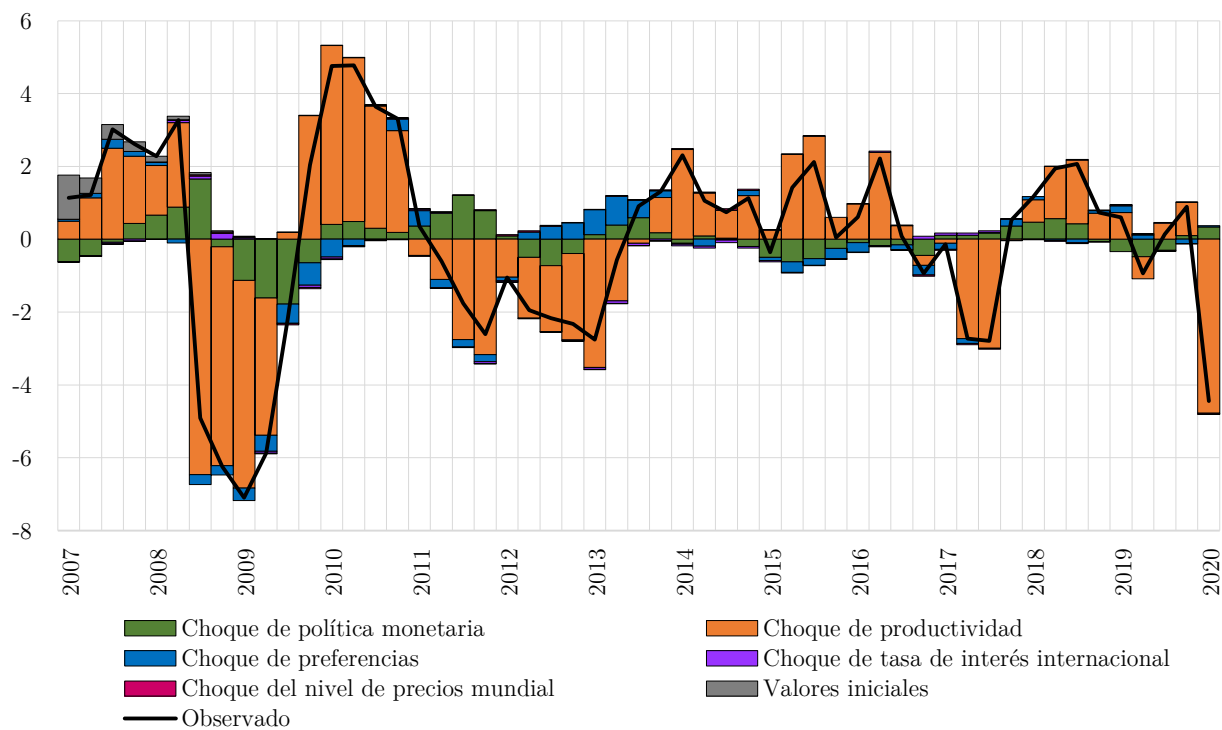
Nota: Las IRF con la regla R1 son casi idénticas a las IRF con la regla R2.

A9.5 Choque de nivel de precios mundial (Reglas R6-R10)

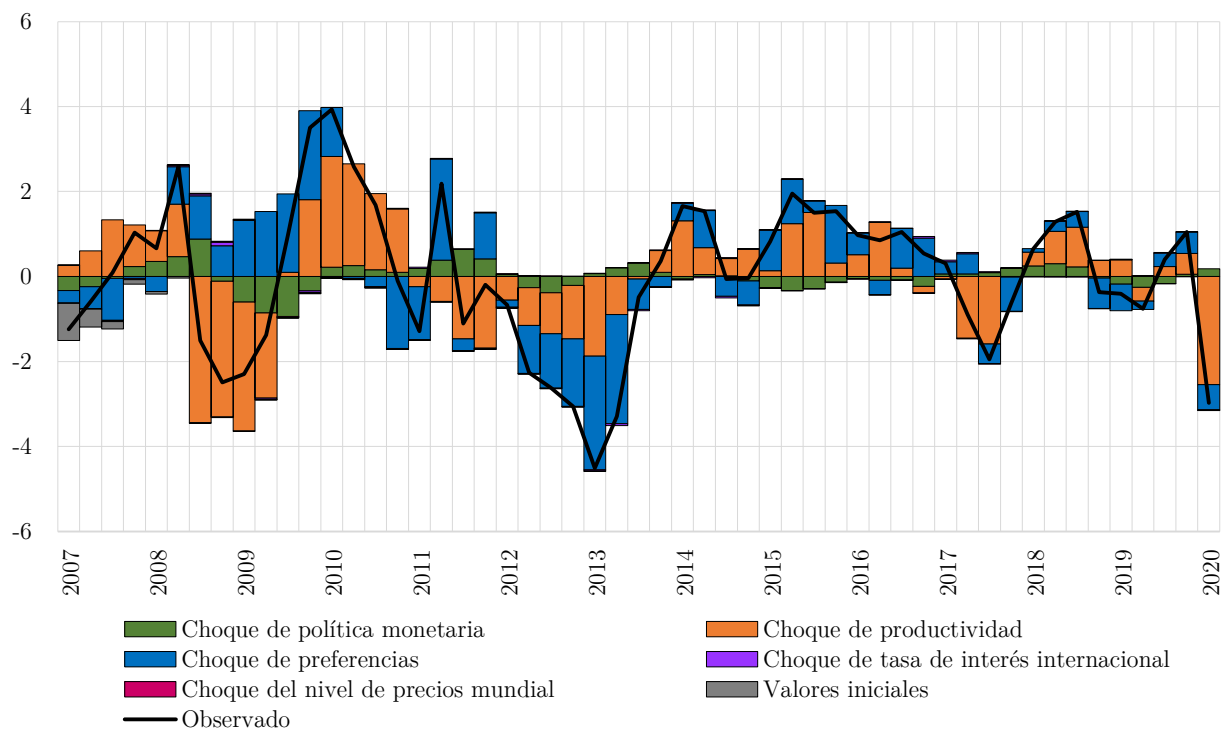


A10 Descomposiciones históricas de varianza

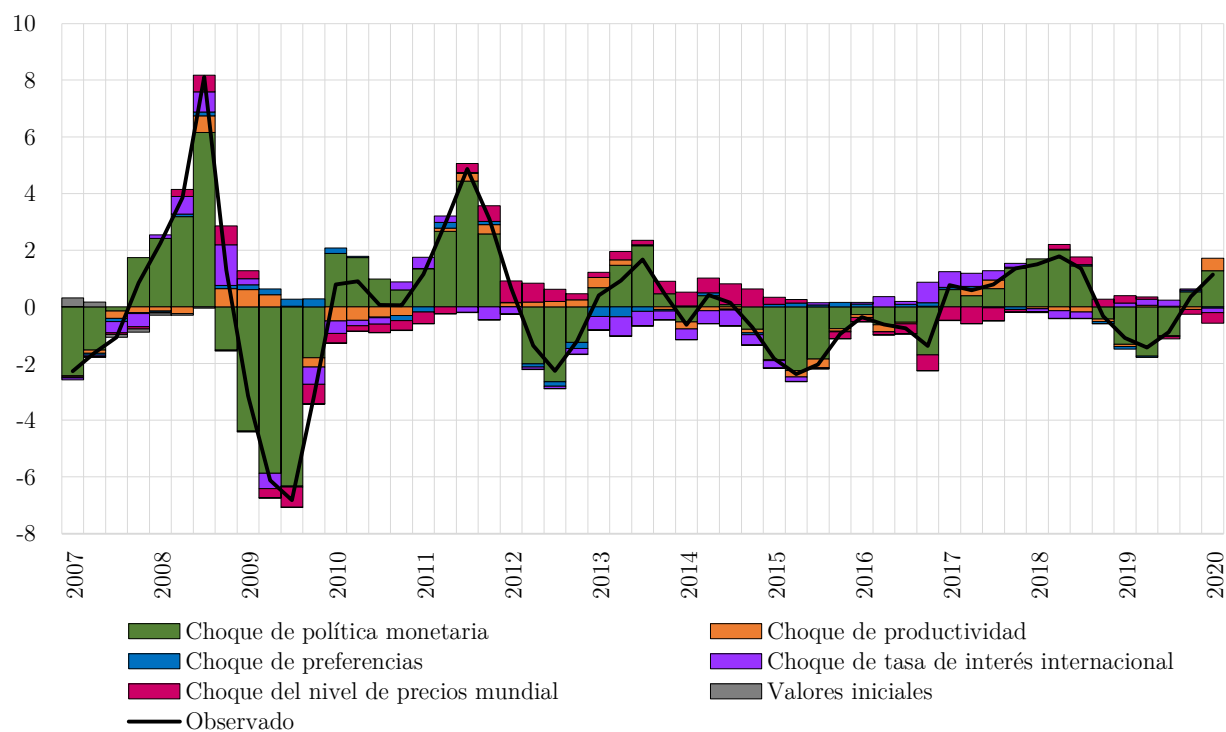
A10.1 Descomposición histórica del PIB



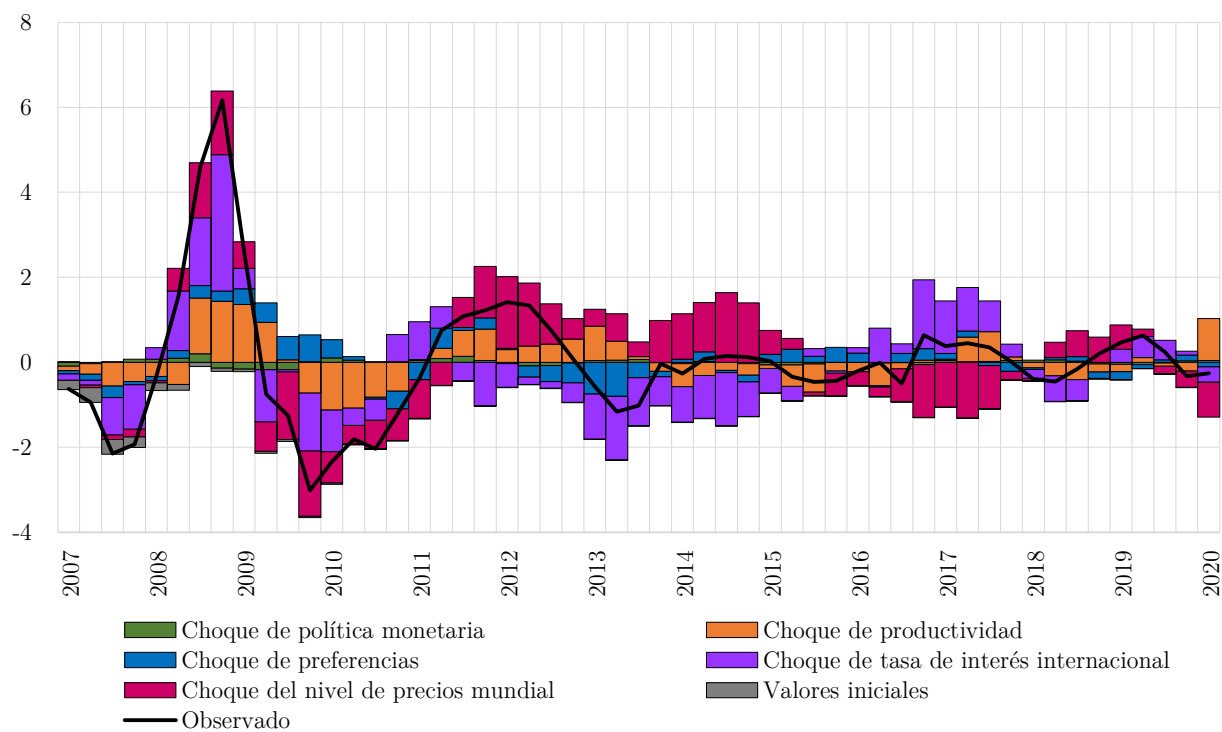
A10.2 Descomposición histórica del consumo privado



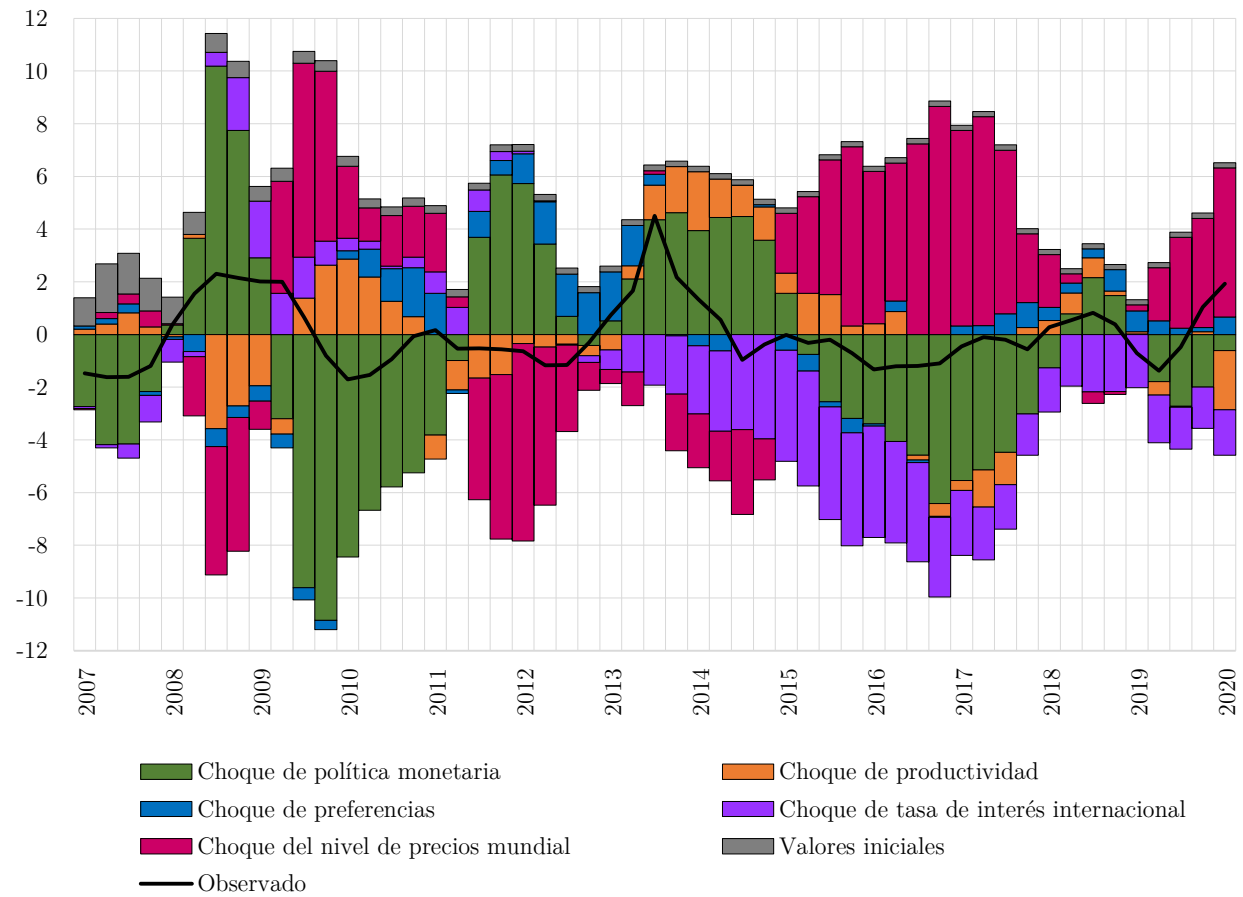
A10.3 Descomposición histórica de la inflación IPC



A10.4 Descomposición histórica de la tasa de interés interbancaria

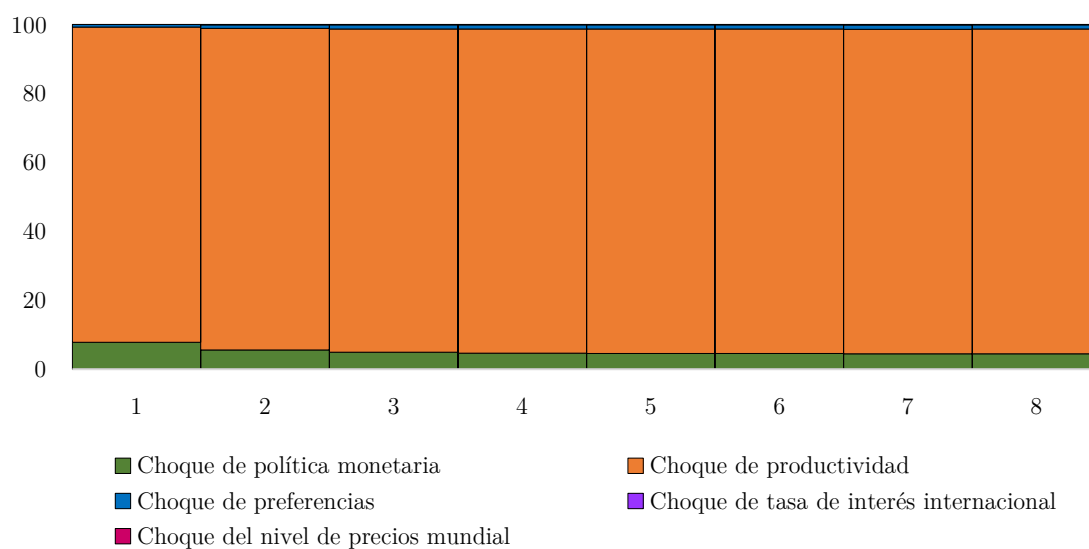


A10.5 Descomposición histórica del tipo de cambio nominal

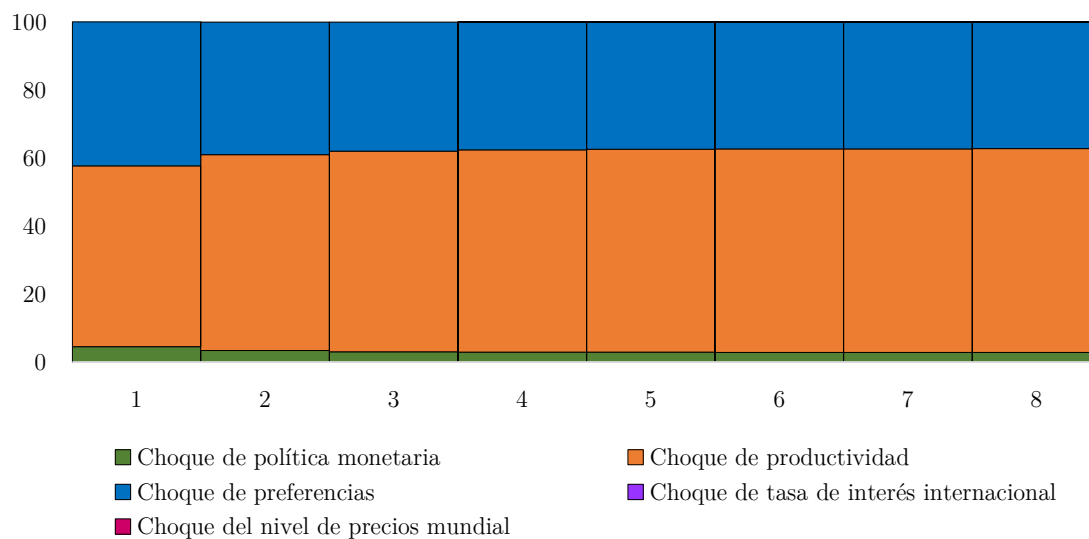


A11 Descomposiciones de varianza del error de predicción

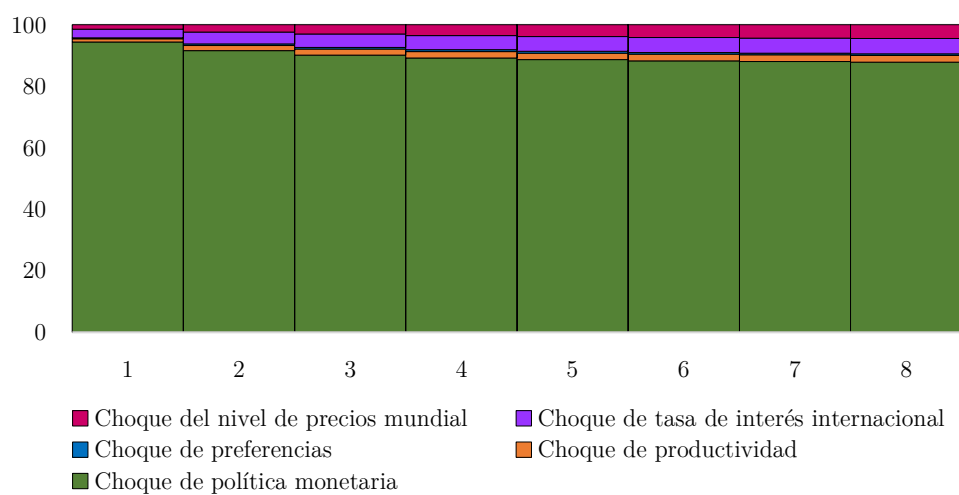
A11.1 DVEP del PIB



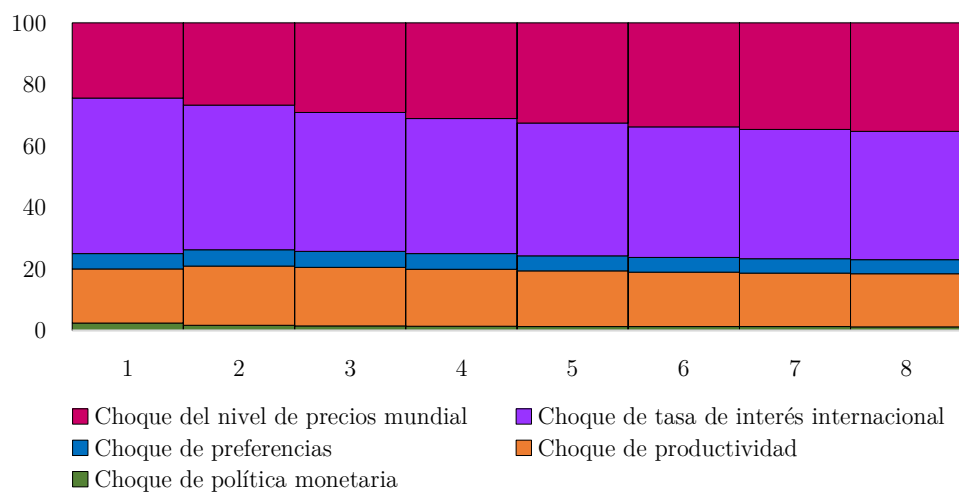
A11.2 DVEP del consumo privado



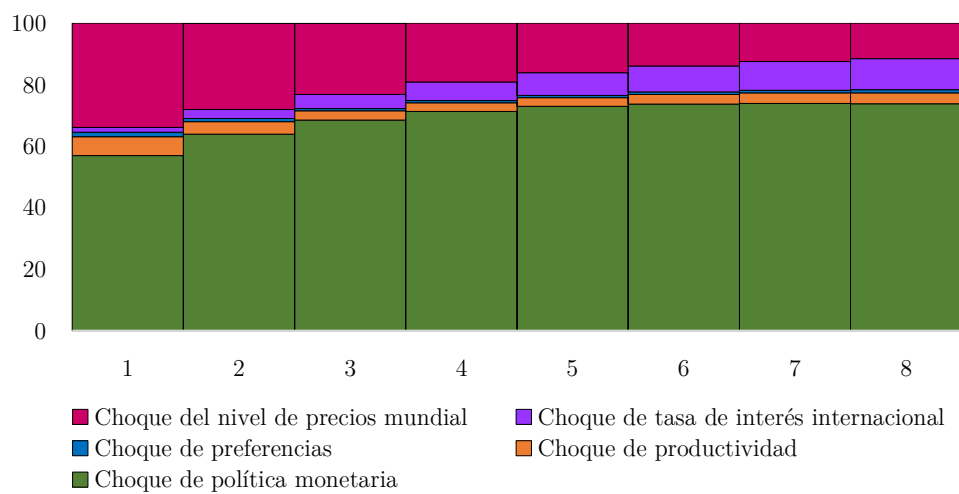
A11.3 DVEP de la inflación IPC



A11.4 DVEP de la tasa de interés interbancaria

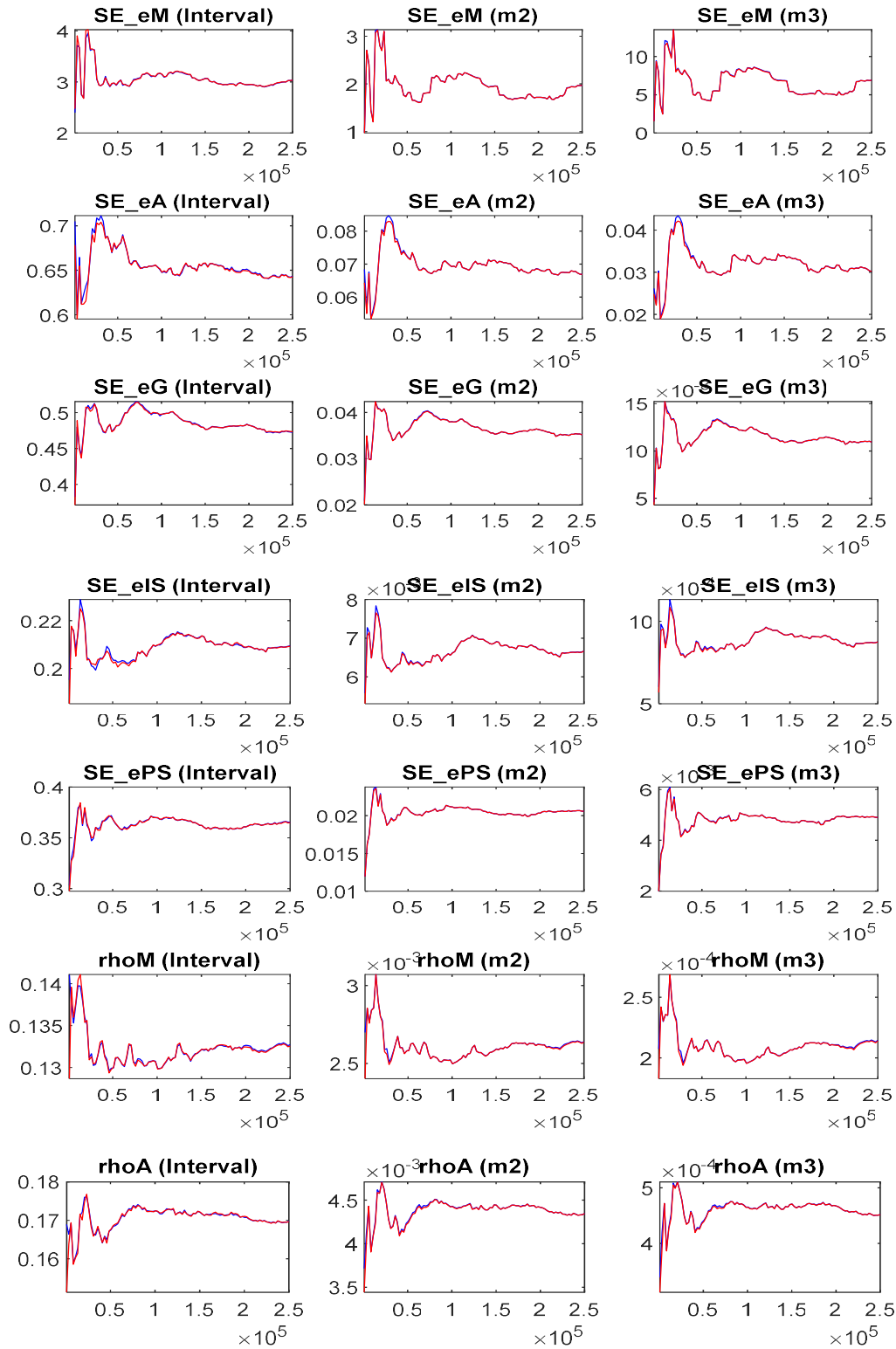


A11.5 DVEP del tipo de cambio nominal

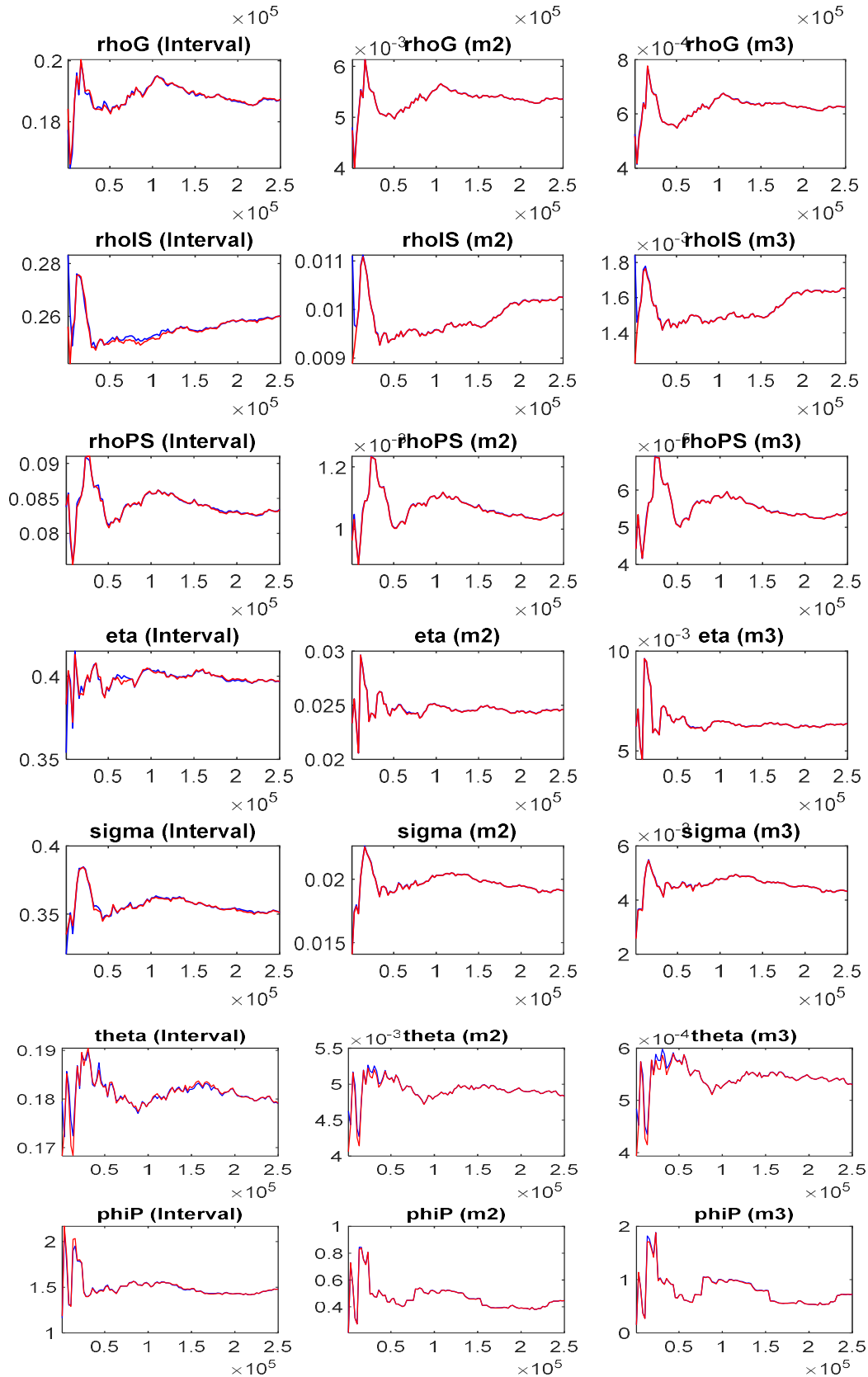


A12 Diagnósticos de estimaciones del modelo

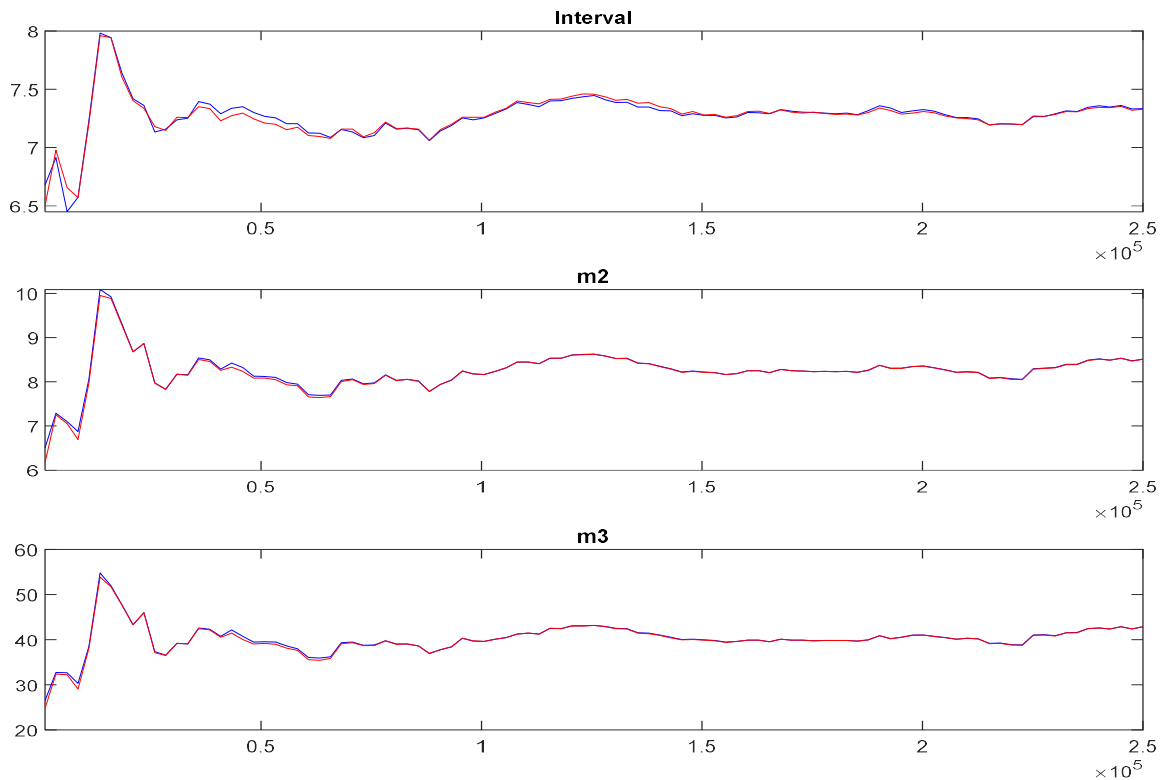
A12.1 Diagnóstico de convergencia de parámetros



A12.1 Diagnóstico de convergencia de parámetros (continuación)



A12.2 Diagnóstico de convergencia del modelo (multivariable)



Nota descriptiva de diagnósticos de convergencia:

Cada gráfico en este Apéndice A12 representa medidas de convergencia específicas con dos líneas distintas que muestran los resultados dentro (cadena roja) y entre cadenas (línea azul) (Geweke, 1999). Esas medidas están relacionadas con el análisis de los parámetros: media (intervalo), varianza (m2) y tercer momento (m3). Para cada una de las tres medidas, la convergencia requiere que ambas líneas se vuelvan relativamente horizontales y converjan entre sí.

El Apéndice A12.1 muestra los diagnósticos de convergencia individuales de los parámetros estimados, en tanto que el Apéndice A12.2 presenta el diagnóstico multivariado, es decir, del modelo general. Así, como se observa en los gráficos, los diagnósticos para cada parámetro y del modelo, en el sentido amplio, indican que las estimaciones no presentan problemas de convergencia.

A12.3 Comparación entre el algoritmo RWMH-MCMC y la aproximación de Laplace

