



Munich Personal RePEc Archive

Monetary policy rules for an open economy with financial frictions: A Bayesian approach

Aliaga, Augusto

August 2020

Online at <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/100604/>
MPRA Paper No. 100604, posted 20 Aug 2020 15:26 UTC

Reglas de política monetaria para una economía abierta con fricciones financieras: Un enfoque Bayesiano

Autor:

Augusto Aliaga Miranda¹

20 de agosto de 2020

Resumen

Este documento evalúa la política monetaria óptima en un modelo nuevo Keynesiano para una economía abierta con fricciones financieras. En el modelo, la demanda agregada está compuesta por el promedio ponderado de las tasas de interés a corto y largo plazo. Se establece un conjunto integral de reglas de política monetaria, todas adecuadas para pequeñas economías abiertas, como Perú. Se encuentra que una regla basada en el pronóstico de la inflación doméstica y una regla basada en el tipo de cambio funcionan bien. Además, choques internacionales pueden afectar la competitividad e implican co-movimientos en las tasas de interés domésticas. Finalmente, las estimaciones, sugieren que adicionar el tipo de cambio nominal a la regla monetaria mejora significativamente el ajuste del modelo. En consecuencia, los parámetros estimados indican que los choques internacionales introducidos en este modelo pueden replicar hechos empíricos clave observados en el ciclo de negocios de la economía doméstica.

Palabras clave: Comparación de reglas, Economía abierta, Estimación Bayesiana, Fricciones financieras, Política monetaria óptima.

Clasificación JEL: C11, E31, E32, E44, E52, E58.

¹E-mail: augusto-dealiagam@outlook.com

Dedico esta investigación a la memoria de mis abuelos y a mis padres quienes vivieron un periodo de alta inflación.

Abstract

This paper evaluates optimal monetary policy in a new Keynesian model for an open economy with financial frictions. In the model, aggregate demand is made up of the weighted average of the short and long-term interest rates. A comprehensive set of monetary policy rules is established, all suitable for small open economies, such as Peru. A domestic inflation forecast based rule and an exchange rate based rule are found to work well. Furthermore, international shocks can affect competitiveness and involve co-movements in domestic interest rates. Finally, the estimates suggest that adding the nominal exchange rate to the monetary rule significantly improves the model fit. Consequently, the estimated parameters indicate that international shocks introduced in this model can replicate key empirical facts observed in the domestic business cycle.

Keywords: Bayesian estimation, Financial frictions, Open economy, Optimal monetary policy, Rules comparison.

JEL classification: C11, E31, E32, E44, E52, E58.

Índice

1. Introducción	6
2. Construcción del modelo	8
2.1. Restricción presupuestaria	8
2.2. Familias	9
2.2.1. Intratemporal	9
2.2.2. Intertemporal	11
2.3. Identidades importantes	11
2.4. Empresas	13
2.4.1. Tecnología	13
2.4.2. Ajuste del precio óptimo	13
2.5. Equilibrio de mercado	14
2.6. Política monetaria	17
2.7. Representación de los choques	19
2.8. Bienestar	19
2.9. Calibración	20
3. Estimación del modelo	22
3.1. Los datos	22
3.2. Estimación Bayesiana	22
3.3. Algoritmo Metrópolis-Hastings	23
3.4. Factor de Bayes	24
3.5. Información a priori	24
4. Resultados	25
4.1. Política monetaria óptima	25
4.2. Función de impulso respuesta	29
4.3. Estimación posterior	35
5. Conclusiones	36
6. Recomendación	37
A. Derivación del modelo	38
B. Distribuciones posteriores	41
C. Descomposición de los choques	43
Referencias	45

Índice de figuras

1.	Choque de política monetaria	29
2.	Choque de productividad	30
3.	Choque de preferencias	31
4.	Choque de tasa de interés internacional R2 y R5	32
5.	Choque de tasa de interés internacional R8 y R10	33
6.	Choque del nivel de precios mundial	34
7.	Distribuciones posteriores R8	41
8.	Comparación entre MH-MCMC y Laplace	42
9.	Producto	43
10.	Consumo	43
11.	Inflación	44
12.	Tasa de política monetaria	44

Índice de cuadros

1.	Calibración	20
2.	Información a priori	25
3.	Comparación entre reglas de política monetaria	25
4.	Choque de política monetaria	27
5.	Choque de productividad	27
6.	Choque de preferencias	27
7.	Choque de tasa de interés internacional	28
8.	Choque del nivel de precios mundial	28
9.	Probabilidad posterior del modelo	35
10.	Estimación R8	36

1. Introducción

Este documento evalúa el desempeño de las diferentes reglas de política monetaria en un modelo nuevo Keynesiano de economía abierta con imperfecta sustitución de bonos del gobierno a corto y largo plazo. La regla más popular, la regla de Taylor fue diseñada para economías cerradas, en el cual, se asume que el canal del tipo de cambio es poco importante y que los activos financieros tienen perfecta sustitución. Por lo que aquí se busca introducir estos dos conceptos en una economía como Perú, que al ser un país que comercia intensivamente con el mundo, la regla de Taylor usual, puede que no sea la más eficiente. Por otro lado, al ser un mercado financiero poco profundo, los bonos del gobierno a corto y largo plazo no son necesariamente sustitutos perfectos.

Después de la crisis financiera de 2008, el entorno económico ha evolucionado de manera que antes se consideraba poco común. La relevancia de las fricciones financieras en la dinámica del ciclo de negocios de la economía es el objeto de una actividad amplia de investigación. Con el desarrollo de nuevas técnicas de estimación para modelos de equilibrio general dinámico estocástico, es posible resaltar el rol del sector financiero como una fuente de fluctuación del ciclo económico y como un propagador de choques adversos. Existe un amplio debate en cómo asegurar la estabilidad del sistema económico con fricciones financieras propensa a choques externos, esto ha llevado al desarrollo de un conjunto de herramientas de política monetaria y macroprudenciales para asegurar la estabilidad económica.

En el lado teórico, es posible enfocarse en una extensión del modelo nuevo Keynesiano canónico, en el cual, la demanda agregada está compuesta por el promedio ponderado de las tasas de interés a corto y largo plazo. La oferta agregada, caracterizada por la curva de Phillips, asume que los precios son rígidos y no se ajustan inmediatamente a cambios en costos o demanda. El tipo de cambio nominal y la paridad descubierta de tasas de interés cumplen el rol de propagar choques internacionales en la economía doméstica. Siguiendo a [Batini, Harrison, y Millard \(2003\)](#), es posible establecer un conjunto integral de diez reglas de política monetaria y el cálculo de la función de pérdida basada en la utilidad.

En el lado de la estimación, combino mi información a priori con la función de máxima verosimilitud para estimar la distribución posterior de los parámetros que son fuente de fluctuación en el modelo. Se utiliza el filtro de Kalman para evaluar la función de verosimilitud y el algoritmo de caminata aleatoria Metrópolis-Hastings Cadenas de Markov Monte Carlo (MH-MCMC) para trazar la distribución posterior de cada regla del modelo. Además, se utiliza la probabilidad marginal, el factor de Bayes, y la probabilidad posterior para comparar cada regla del modelo. En línea con lo establecido, es posible determinar que regla se ajusta mejor a los datos.

Mis hallazgos sugieren que, para una economía abierta como Perú, una regla basada en el pronóstico de la inflación y una regla basada en el tipo de cambio funcionan bien al minimizar la función de pérdida. En contraposición la regla de Taylor que tiene una función de pérdida mayor. Si bien la economía peruana tiene un esquema de metas explícitas de inflación, su banco central utiliza un conjunto de reglas de política monetaria para cada choque en particular.

Por otro lado, choques internacionales pueden afectar la competitividad e implican movimientos en las tasas de interés domésticas. [Banerjee, Devereux, y Lombardo \(2015\)](#), mencionan que un choque monetario contractivo internacional conduce a una reducción en los flujos de capitales y a una depreciación del tipo de cambio en países emergentes. Además, políticas óptimas no necesitan ser coordinadas entre países. [Kolasa y Wesolowski](#)

(2018), mencionan que los estímulos monetarios con bajas tasas de interés por parte de economías avanzadas, provoca efectos colaterales relacionado con los flujos de capitales, lo que lleva a un aumento en los co-movimientos internacionales de la prima a plazos y una apreciación del tipo de cambio en economías emergentes.

Seguidamente, es posible utilizar métodos bayesianos desarrollados por [Geweke \(1998\)](#), [Lubik y Schorfheide \(2005\)](#), [Rabanal y Rubio-Ramírez \(2005\)](#), [An y Schorfheide \(2006\)](#), y [Smets y Wouters \(2007\)](#). De acuerdo a las simulaciones del modelo, las reglas basadas en el tipo de cambio nominal proporcionan un mejor ajuste. En consecuencia, los parámetros estimados indican que existe una menor volatilidad en el choque de tasas de interés internacional y una mayor persistencia en el choque del nivel de precios mundial. Con esto se contrasta empíricamente los resultados iniciales y lo hallado en [Batini, Levine, y Pearlman \(2009\)](#), demostrando que una regla simple de tipo de cambio nominal mejora las ganancias de bienestar, se ajusta mejor a los datos, y es óptima.

Mi contribución consiste en la adición de los costos de ajuste del portafolio de bonos del gobierno a corto y largo plazo al análisis de una economía abierta. Otras contribuciones utilizan costos de ajuste del portafolio en un contexto de compra de activos a gran escala cuando la economía atraviesa el límite inferior de cero en sus tasas de interés. En [Andrés, López-Salido, y Nelson \(2004\)](#), evalúan la política monetaria óptima en un modelo de equilibrio general dinámico estocástico de economía cerrada, que permite la sustitución imperfecta entre activos financieros. Esta modificación proporciona un canal adicional, a través del cual, los precios relativos de los activos financieros pueden afectar a los rendimientos a largo plazo y a la demanda agregada. En [Harrison \(2012\)](#), utiliza un modelo nuevo Keynesiano de economía cerrada con imperfecta sustitución de bonos a corto y largo plazo, con ello evalúa una política en la que el banco central utiliza las compras de activos como un instrumento de política no convencional para mejorar la estabilización de la brecha del producto y la inflación, que, por un choque de demanda negativo, lleva la tasa de política a corto plazo a su límite inferior.

En una economía como Perú las tasas de interés todavía no llegan a su límite inferior, pero queda un estrecho margen por recorrer. El efecto traspaso de las tasas de interés es incompleto debido a que el impacto en las tasas a largo plazo es más lento y menor que el ajuste en la tasa de política monetaria, esto reduce la potencia de la política monetaria convencional. Cabe destacar que el banco central peruano mantiene una política monetaria expansiva desde abril de 2017, por lo que las principales tasas de interés mantienen una trayectoria descendente.

Actualmente el mercado de capitales doméstico es el destino de un gran flujo de fondos producto de una mayor demanda por bonos soberanos por parte de inversores no residentes. Algunas características distintivas con respecto a [Castillo, Montoro, y Tuesta \(2009\)](#) y [Vega \(2015\)](#) es que se evalúa la regla óptima de política monetaria dándole un mayor énfasis a los flujos de capitales, al proceso de des-dolarización de la economía doméstica, y al mercado de bonos a largo plazo. Asumir estos supuestos posiblemente sea más realista considerando los estímulos monetarios alrededor del mundo.

El resto del documento tiene una estructura secuencial. En la sección 2, se describe el modelo nuevo Keynesiano con fricciones financieras para una economía abierta, se establece el equilibrio, la dinámica de cada regla de política monetaria, la función de pérdida, y la calibración. En la sección 3, se describe los datos, la estimación, la comparación de cada regla del modelo, y seguidamente se establece la información a priori. En la sección 4, se presentan los resultados. En la sección 5, se concluye.

2. Construcción del modelo

Este modelo proporciona una descripción general de una economía abierta con fricciones financieras el cual está basado en Galí (2015, cap. 8) y Harrison (2017). En esta economía la incertidumbre proviene del lado de la demanda y la oferta, se asumen choques de política monetaria, productividad, preferencias, tasa de interés internacional y nivel de precios internacional. En cada caso, se aborda las implicaciones de política monetaria con un énfasis especial en las reglas que los bancos centrales utilizan en la actualidad para su diseño de política monetaria. Teniendo en cuenta que la economía doméstica comercia con el mundo, mediante Galí (2015, cap. 8), utilizo una extensión simple del modelo nuevo Keynesiano en una economía abierta para resaltar la determinación de la política monetaria óptima y su contribución a la estabilidad de la inflación, fluctuaciones económicas y bienestar. Modificando el modelo de Harrison (2017), me enfoco en evaluar la política monetaria óptima cuando las familias enfrentan costos de ajuste del portafolio de bonos del gobierno, en la restricción presupuestaria. La derivación completa del modelo es presentada en el Apéndice A.

2.1. Restricción presupuestaria

Una típica economía pequeña y abierta habitada por familias tienen restricciones de recursos; con el ingreso que recaudan, asignan su gasto a un conjunto de bienes y activos. Existen tres activos en la economía: bonos nominales del gobierno a corto plazo, bonos nominales del gobierno a largo plazo y activos estado contingente. Los bonos nominales a largo plazo son tomados como instrumentos de maduración infinita y los activos estado contingente se transan en mercados internacionales completos. Considerando lo propuesto por Woodford (2003, cap. 2), la restricción presupuestaria está compuesta por activos nominales, en una economía sin saldos monetarios.

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

El lado izquierdo captura el gasto, B_t^c son los bonos nominales del gobierno a corto plazo, B_t^l son los bonos nominales del gobierno a largo plazo, A_{t+1} son las tenencias de activos estado contingente, $Q_{t,t+1}$ es el precio del activo (también considerado el factor de descuento estocástico) y \mathbb{E}_t su expectativa condicional, C_t son los bienes de consumo, y P_t es el índice de precios al consumidor. El lado derecho captura el ingreso, B_{t-1}^c son bonos nominales del gobierno a corto plazo adquiridos en el periodo anterior que maduran en el periodo actual con un pago nominal de R_{t-1} por bono, B_{t-1}^l son bonos nominales del gobierno a largo plazo adquiridos en el periodo anterior que maduran en el periodo actual con un pago nominal de R_t^l por bono, N_t son las horas trabajadas, W_t es su salario nominal, T_t son transferencias netas o impuestos, D_t son dividendos de las empresas, y Ψ_t son los costos de ajuste del portafolio. R_t es la tasa de interés a corto plazo y R_t^l es la tasa de interés a largo plazo.

Estos bonos nominales del gobierno al ser sustitutos imperfectos mantienen costos de ajuste cuadráticos.

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

Los costos de ajuste del portafolio son una función convexa que refleja los costos de intermediación. δ es la tasa de la tenencia de bonos del gobierno a largo plazo relativos

a la tenencia de bonos del gobierno a corto plazo. Estos costos del portafolio son cero en el estado estacionario, b^c son los bonos nominales del gobierno a corto plazo en el estado estacionario y b^l son los bonos nominales del gobierno a largo plazo en el estado estacionario.

Estos costos de ajuste tienen dos componentes. El primer componente es una función de la desviación de la mezcla del portafolio, B_t^c/B_t^l de su nivel deseado. Estos costos de ajuste intentan capturar los cambios en el suministro de estos bonos que pueden tener efectos directos en sus tasas. El segundo componente es una función de la desviación del cambio en la mezcla del portafolio de las familias. Estos costos de ajuste muestran que los cambios en el suministro de los bonos asociado con su adquisición tienen efecto en la tasa de los bonos comprados y sus sustitutos cercanos. Posteriormente esta relación puede ser mostrada en la demanda agregada, en mercados imperfectos los bancos centrales tienen un canal adicional para impulsar la demanda agregada.

2.2. Familias

La función de utilidad cumple un rol importante para la construcción de un modelo de equilibrio general, se asume que la economía está poblada por un conjunto de familias idénticas que tienen vida infinita, este supuesto permite analizar su comportamiento por medio del estudio de un agente representativo que busca maximizar su función de utilidad descontada.

$$\max_{\{B_t^c, B_t^l, A_{t+1}, C_t, N_t\}_{t=0}^{\infty}} \mathbb{E}_0 \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t g_t \left\{ \frac{C_t^{1-\sigma} - 1}{1-\sigma} - \frac{N_t^{1+\varphi}}{1+\varphi} \right\} \quad (3)$$

Donde β es el factor de descuento, σ es el coeficiente de aversión al riesgo, φ corresponde la inversa de la elasticidad de sustitución del trabajo o comúnmente conocido como la elasticidad de Frisch, y g_t representa al choque de preferencias que genera una disminución persistente en la tasa de interés real natural (discutida posteriormente).

De otro lado, la maximización está sujeta a la restricción presupuestaria, que incluye la formulación de los costos de ajuste del portafolio, Ψ .

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

La condición de no acumulación excesiva de deuda.

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

Esta restricción establece que a largo plazo los pasivos nominales netos de las familias deben crecer a una tasa menor que la tasa de interés nominal. Esta condición descarta esquemas en el cual las familias renuevan sus deudas netas para siempre.

2.2.1. Intratemporal

El gasto en consumo está compuesto por el gasto en consumo de bienes domésticos y el gasto de 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 doméstico, $P_{m,t}$ es el índice de precios importados expresado en moneda doméstica, $C_{d,t}$ y $C_{m,t}$ son índices de consumo de bienes domésticos e importados respectivamente.

El consumo y el índice de precios al consumidor están definidos por la función de Elasticidad de Sustitución Constante (ESC).

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

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

El parámetro η mide el grado de sustitución entre bienes domésticos e importados y el parámetro α consiste en el grado de apertura.

Consumo de bienes domésticos e importados

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

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

Donde $i \in [0, 1]$ representa la variedad de bienes domésticos y $j \in [0, 1]$ representa la variedad de bienes importados. Cada consumo representa el consumo de bienes diferenciados. $C_{d,t}(i)$ es el consumo individual doméstico y $C_{m,t}(j)$ es el consumo individual importado. El parámetro ε denota la elasticidad de sustitución entre la variedad de bienes producidos domésticamente.

Índice de precio de bienes domésticos e importados

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

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

Donde $P_{d,t}(i)$ es el precio individual doméstico y $P_{m,t}(j)$ es el precio individual importado expresado en moneda doméstica.

Demanda por consumo de bienes domésticos e importados

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

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

Estas identidades son las asignaciones óptimas a través de la variedad en bienes domésticos y bienes importados que resulta en la función de demanda por consumo de bienes domésticos e importados.

2.2.2. Intertemporal

Cada variable con un circunflejo esta expresada en su forma log-lineal. Siguiendo el método de Uhlig (1995), $\widehat{\mathbf{a}}_t = \log(\mathbf{a}_t) - \log(\mathbf{a}_{ss})$ es la desviación de la variable \mathbf{a}_t con respecto a su valor de estado estacionario \mathbf{a}_{ss} .

Mediante las condiciones de primer orden del proceso de optimización, se llega a la ecuación principal del consumo, esta ecuación es representada como la log-desviación de su estado estacionario.

Ecuación de Euler

$$\widehat{c}_t = \mathbb{E}_t \widehat{c}_{t+1} - \frac{1}{\sigma} \left[\widehat{R}_t - \mathbb{E}_t \widehat{\pi}_{t+1} \right] + \frac{\delta(1+\delta)}{\sigma} \left[\widehat{b}_t^c - \widehat{b}_t^l \right] + \frac{(1+\delta)}{\sigma} \Delta \left[\widehat{b}_t^c - \widehat{b}_t^l \right] - \frac{(1+\delta)}{\sigma} \beta \mathbb{E}_t \Delta \left[\widehat{b}_{t+1}^c - \widehat{b}_{t+1}^l \right] + \frac{1}{\sigma} (1-\rho_g) \widehat{g}_t \quad (15)$$

El consumo agregado está compuesto por el consumo esperado $\mathbb{E}_t \widehat{c}_{t+1}$, la tasa de interés nominal \widehat{R}_t , la inflación esperada $\mathbb{E}_t \widehat{\pi}_{t+1}$, la tenencia de bonos reales a corto plazo \widehat{b}_t^c , la tenencia de bonos reales a largo plazo \widehat{b}_t^l , y el choque de preferencias \widehat{g}_t . Esta ecuación también puede ser representada como un promedio ponderado de las tasas de interés de los bonos a corto y largo plazo.

$$\widehat{c}_t = \mathbb{E}_t \widehat{c}_{t+1} - \frac{1}{\sigma} \left[\frac{1}{1+\delta} \widehat{R}_t + \frac{\delta}{1+\delta} \mathbb{E}_t \widehat{R}_{t+1}^l - \mathbb{E}_t \widehat{\pi}_{t+1} \right] + \frac{1}{\sigma} (1-\rho_g) \widehat{g}_t \quad (16)$$

Tasa de interés de los bonos del gobierno a largo plazo esperada

$$\mathbb{E}_t \widehat{R}_{t+1}^l = \widehat{R}_t - \delta \gamma \left[\widehat{b}_t^c - \widehat{b}_t^l \right] - \gamma \Delta \left[\widehat{b}_t^c - \widehat{b}_t^l \right] + \beta \gamma \mathbb{E}_t \Delta \left[\widehat{b}_{t+1}^c - \widehat{b}_{t+1}^l \right] \quad (17)$$

Donde $\gamma \equiv (1+\delta)^2 / \delta$. Esta ecuación indica que la tasa de interés esperada a largo plazo depende de la tenencia de los bonos a corto y largo plazo de las familias. En consecuencia, un incremento en la tenencia relativa de bonos del gobierno a corto plazo por parte de las familias actúa como una reducción en la tasa de interés nominal a largo plazo, aumentando la demanda por consumo.

2.3. Identidades importantes

Términos de intercambio

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

Esta identidad está definida como la diferencia entre el índice de precios importados y el índice de precios domésticos.

Índice de precios al consumidor (IPC)

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

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

El IPC (19) está compuesto por el índice de precios domésticos y el índice de precios importados. Este índice de precios agregado puede ser expresado en mediante los términos de intercambio en la identidad (20).

Inflación al IPC e inflación doméstica

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

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

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

La inflación al IPC (21) está definida como la tasa de cambio del IPC, la inflación doméstica (22) está definida como la tasa de cambio del índice de precios domésticos. Las dos identidades anteriores pueden relacionarse utilizando los términos de intercambio (23).

Tipo de cambio nominal

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

Se asume que la ley de un solo precio se mantiene en todos los periodos, \widehat{e}_t es el tipo de cambio nominal, \widehat{p}_t^* es el nivel de precios mundial expresado en moneda extranjera, esta variable es representada mediante un choque. El tipo de cambio nominal esta expresado como el precio de una moneda extranjera en términos de la moneda nacional.

Tipo de cambio real

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

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

El tipo de cambio real (25) está definido como la diferencia entre el índice de precios importados y el IPC, ambos términos están expresados en moneda doméstica, tal como las demás variables también puede ser relacionada con los términos de intercambio (26).

Riesgo compartido internacional

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

Esta identidad asume un conjunto completo de activos estado contingente comerciados internacionalmente, donde \widehat{y}_t^* es el producto mundial.

Paridad descubierta de tasas de interés

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

Se asume un régimen de tipo de cambio flexible con perfecta movilidad de capitales. Donde \widehat{R}_t^* es la tasa de interés internacional, esta tasa es representada mediante un choque. Esta ecuación parte del diferencial entre tasa de interés doméstica e internacional, el tipo de cambio de ajusta lentamente. Si el retorno en moneda doméstica es mayor que el retorno en moneda extranjera, los inversores solo tienen que esperar a que la moneda doméstica se deprecie.

Exportaciones

$$X_t = \alpha \text{TI}_{ss}^\eta Y_t^* \quad (29)$$

Donde TI_{ss} son los términos de intercambio en el estado estacionario y Y_t^* es el nivel del producto mundial. Esta identidad asume que las preferencias de las familias domésticas son idénticas a las preferencias de las familias del resto del mundo, además implica que el consumo internacional equivale al nivel del producto mundial, $C_t^* = Y_t^*$.

2.4. Empresas

Existe competencia monopolística en el mercado de bienes. Cada empresa esta indexada por $i \in [0, 1]$, que producen bienes diferenciados que son adquiridos por las familias.

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

Donde Y_t es el producto doméstico agregado, análogo al consumo doméstico.

2.4.1. Tecnología

Las empresas producen utilizando la función de producción con rendimientos constantes de escala.

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

Donde $Y_t(i)$ es el producto de la empresa i , A_t representa el nivel de tecnología que evoluciona exógenamente a través del tiempo, y $N_t(i)$ es el nivel de trabajo contratado por cada empresa.

2.4.2. Ajuste del precio óptimo

Siguiendo a [Calvo \(1983\)](#), la empresa doméstica establece precios de manera escalonada, la función objetivo a ser re-optimizada es,

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

La empresa elige el precio $\tilde{P}_{d,t}$ que maximiza el valor actual de los beneficios del mercado generados mientras ese precio permanece efectivo, $Q_{t,t+k}$ representa el factor de descuento estocástico del periodo $t+k$, θ es el índice natural de la rigideces de precios o también conocido como la probabilidad que la empresa no re-optimice su precio, S es un subsidio que neutraliza la distorsión asociada con el poder de mercado de las empresas.

Curva de Phillips con rigideces de precios

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

Esta ecuación muestra que la inflación doméstica está compuesta por la inflación doméstica esperada, $\mathbb{E}_t \hat{\pi}_{d,t+1}$, y la brecha del margen del costo marginal, $\hat{\mu}_t$. Inicialmente se deduce que para esta economía la inflación doméstica no depende de ningún parámetro que caracteriza a una economía abierta. Donde $\lambda \equiv (1-\theta)(1-\beta\theta)/\theta$.

2.5. Equilibrio de mercado

Demanda agregada

El equilibrio en el mercado de bienes domésticos requiere de la siguiente identidad.

$$Y(i) = \left(\frac{P_{d,t}(i)}{P_{d,t}} \right)^{-\varepsilon} \left\{ (1-\alpha) \left(\frac{P_{d,t}}{P_t} \right)^{-\eta} C_t + \alpha \text{TI}_{ss}^\eta Y_t^* \right\} + \Psi_t \quad (34)$$

Poniendo el producto doméstico agregado (30) en la definición de la demanda doméstica agregada se llega a la siguiente condición.

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

Los costos de ajuste del portafolio log-lineales no afectan al equilibrio en el mercado de bienes, el producto agregado en equilibrio puede ser aproximado a través de su estado estacionario simétrico.

$$\hat{y}_t = (1-\alpha) \hat{c}_t + \alpha (2-\alpha) \eta \hat{t}_t + \alpha y_t^* \quad (36)$$

Los términos de intercambio pueden ser derivado de la unión de (27) y (36).

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

Donde $\sigma_\alpha \equiv \sigma \Phi$, $\Phi \equiv 1/(1+\alpha(\varpi-1))$, y $\varpi \equiv \sigma\eta + (1-\alpha)(\sigma\eta-1)$.

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

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

Combinando (36), (37), y (38) resulta la primera versión de la ecuación IS dinámica para una economía pequeña y abierta.

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

Donde $\Gamma_\varpi \equiv \alpha\varpi - \alpha$.

El ciclo de negocios en la economía es caracterizado mediante la brecha del producto.

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

Esta identidad corresponde al desvío entre el producto y el producto natural. La brecha del producto es positiva si el producto actual excede al producto natural, y negativa si el producto actual no alcanza al producto natural.

En general, la ecuación (39) puede reescribirse en términos de la brecha del producto,

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

La ecuación de la IS dinámica está compuesta por el promedio ponderado de las tasas de interés a corto y largo plazo. Esta ecuación representa la demanda agregada de la economía. La tasa de interés real natural, \hat{r}_t^n , tiene implícita un concepto de equilibrio

que permite determinar si la política monetaria es contractiva o expansiva. Mediante cambios en la tasa de interés nominal a corto plazo, el banco central puede corregir las desviaciones del producto o mantener la inflación doméstica en un rango determinado, con imperfecta sustitución de bonos es posible tener un canal adicional de política monetaria que influye en la demanda agregada.

Consumo determinado por la restricción presupuestaria

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

Exportaciones netas

$$\widehat{x}_t = \alpha \left(\frac{\varpi}{\sigma} - 1 \right) \widehat{t}_t - \frac{\alpha}{\sigma} \widehat{g}_t \quad (43)$$

Un choque de preferencias negativo afecta a las exportaciones netas, provocando un déficit comercial.

Función de producción

$$\widehat{y}_t = \widehat{a}_t + \widehat{n}_t \quad (44)$$

Producto natural

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

Esta identidad indica que el producto natural \widehat{y}_t^n , puede ser influenciado por el choque de productividad, el choque de preferencias, y el producto mundial. Un choque positivo de productividad y un choque positivo de preferencias aumenta transitoriamente el producto natural. Donde $\Gamma_a \equiv (1 + \varphi) / (\sigma_\alpha + \varphi)$, $\Gamma_g \equiv -\alpha \varpi \Phi / (\sigma_\alpha + \varphi)$, y $\Gamma_* \equiv -\alpha (\varpi - 1) \sigma_\alpha / (\sigma_\alpha + \varphi)$.

Términos de intercambio natural

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

Esta identidad indica que los términos de intercambio natural \widehat{t}_t^n , pueden ser influenciados por el producto natural, el producto internacional y el choque de preferencias.

Brecha de los términos de intercambio

La brecha de los términos de intercambio \widetilde{t}_t , puede ser representada utilizando los términos de intercambio (37) y los términos de intercambio natural (46).

$$\widetilde{t}_t = \sigma_\alpha \widehat{x}_t \quad (47)$$

Brecha del margen de los costos marginales

$$\widehat{\mu}_t = -(\sigma + \varphi) \widehat{y}_t + \alpha (\varpi - 1) \widehat{t}_t + (1 + \varphi) \widehat{a}_t - \alpha \widehat{g}_t \quad (48)$$

$$\widehat{\mu}_t = -(\sigma + \varphi) \widehat{x}_t + \alpha (\varpi - 1) \widetilde{t}_t \quad (49)$$

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

Oferta agregada

Combinando (33) y (48), conforman la curva de Phillips para una economía abierta.

$$\widehat{\pi}_{d,t} = \beta \mathbb{E}_t \widehat{\pi}_{d,t+1} + \kappa \widehat{y}_t - \lambda \alpha (\varpi - 1) \widehat{t}i_t - \lambda (1 + \varphi) \widehat{a}_t + \lambda \alpha \widehat{g}_t \quad (51)$$

Esta curva refleja que la inflación doméstica se ajusta lentamente de un periodo a otro, hay una relación positiva con el producto, tiene una relación negativa con los términos de intercambio, está expuesta a choques de productividad (oferta), y choques de preferencias (demanda). Donde $\kappa \equiv \lambda (\sigma + \varphi)$.

Combinando (33) y (50), conforman la curva de Phillips del nuevo Keynesianismo.

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

Esta curva indica que la inflación doméstica está compuesta por la inflación doméstica esperada y la brecha del producto. En el cual, $\kappa_\alpha \equiv \lambda (\sigma_\alpha + \varphi)$, muestra que la dinámica de la inflación está influenciada por el grado de apertura del país, α , y la sustitución entre bienes domésticos e importados, η . Por lo que una mayor apertura comercial reduce la sensibilidad de la inflación doméstica a la brecha del producto.

Tasa de interés real

$$\widehat{u}_t = \widehat{R}_t - \mathbb{E}_t \widehat{\pi}_{d,t+1} \quad (53)$$

Tasa de interés real natural

$$\widehat{u}_t^n = -\sigma_\alpha \Gamma_a (1 - \rho_a) \widehat{a}_t + \Theta_* \mathbb{E}_t \Delta \widehat{y}_{t+1}^* + \Theta_g (1 - \rho_g) \widehat{g}_t \quad (54)$$

Un choque negativo de productividad, un aumento del crecimiento del producto mundial esperado, y un choque positivo de preferencias aumenta transitoriamente la tasa de interés real natural de equilibrio. Con $\Theta_* \equiv \sigma_\alpha (\alpha (\varpi - 1) + \Gamma_*)$ y $\Theta_g \equiv (1 - \alpha) \Phi - \sigma_\alpha \Gamma_g$.

Bonos del gobierno

El equilibrio para bonos a corto plazo.

$$\frac{B_t^c}{P_t} = \widehat{b}_t^c = b \quad (55)$$

El equilibrio para bonos a largo plazo.

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

En equilibrio, el mercado de bonos del gobierno.

$$\widehat{b}_t^c - \widehat{b}_t^l = -\widehat{b}_t^l \quad (57)$$

En consecuencia, se mantiene la relación entre bonos del gobierno a largo plazo y la tasa de interés a largo plazo esperada.

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

Salario

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

Términos de intercambio

$$\widehat{t}_t = \widetilde{t}_t + \widehat{t}_t^n \quad (60)$$

Producto mundial

$$\widehat{y}_t^* = 0 \quad (61)$$

2.6. Política monetaria

Las reglas de política monetaria son fórmulas matemáticas que describen como el banco central debe ajustar su tasa de política monetaria a cambios en las variables macroeconómicas de interés. Asumo que cambios la tasa de política monetaria se transmite a la tasa de interés nominal a corto plazo y a la tasa de interés real en la economía.

Regla 1 (R1)

$$\widehat{R}_t = \varphi_\pi \widehat{\pi}_t + \widehat{\xi}_t \quad (62)$$

Esta regla impone un esquema de metas de inflación al IPC. Donde φ_π es la reacción a la inflación de la regla monetaria.

Regla 2 (R2)

$$\widehat{R}_t = \varphi_\pi \widehat{\pi}_{d,t} + \widehat{\xi}_t \quad (63)$$

Esta regla impone un esquema de metas de inflación doméstico.

Regla 3 (R3)

$$\widehat{e}_t = 0 \quad (64)$$

Tipo de cambio nominal fijo. [Banerjee y cols. \(2015\)](#), mencionan que en una economía emergente con fricciones financieras, un esquema de metas de inflación tiene poca ventaja ante un régimen de tipo de cambio fijo.

Regla 4 (R4)

$$\widehat{R}_t = \varphi_\pi \widehat{\pi}_t + \varphi_x \widehat{x}_t + \widehat{\xi}_t \quad (65)$$

Siguiendo a [Taylor \(1993\)](#), esta regla fue diseñada para una economía cerrada, donde el canal del tipo de cambio de la política monetaria no tiene un rol significativo en la propagación de impulsos monetarios. Formalmente, la regla de Taylor reacciona a las desviaciones de la inflación y la brecha del producto. Donde φ_x es la reacción a la brecha del producto de la regla monetaria.

Regla 5 (R5)

$$\widehat{R}_t = \varphi_\pi \widehat{\pi}_{d,t} + \varphi_x \widehat{x}_t + \widehat{\xi}_t \quad (66)$$

Consiste en la regla de Taylor para la inflación doméstica.

Regla 6 (R6)

$$\widehat{R}_t = \varphi_R \widehat{R}_{t-1} + \varphi_\pi \widehat{\pi}_{d,t} + \varphi_x \widehat{x}_t + \widehat{\xi}_t \quad (67)$$

Siguiendo a [Orphanides \(2003\)](#), esta regla incorpora un componente inercial en la tasa de interés. Donde φ_R es la reacción del componente inercial o la reacción a la tasa de interés rezagada de la regla monetaria.

Regla 7 (R7)

$$\widehat{R}_t = \varphi_R \widehat{R}_{t-1} + \varphi_{\pi F} \widehat{\pi}_{d,t+1} + \widehat{\xi}_t \quad (68)$$

Siguiendo a [Batini y Haldane \(1998\)](#), una regla basada en el pronóstico de inflación doméstica, es una regla que reacciona a las desviaciones de la inflación doméstica esperada de la meta. Donde $\varphi_{\pi F}$ es la reacción a la inflación proyectada de la regla monetaria. Conforme a [Batini y cols. \(2009\)](#), la estabilización de esta regla se deteriora si el horizonte futuro $\widehat{\pi}_{d,t+j}$, se incrementa para periodos mayores a 2 trimestres.

Regla 8 (R8)

$$\widehat{R}_t = \varphi_R \widehat{R}_{t-1} + \varphi_\pi \widehat{\pi}_{d,t} + \varphi_e \widehat{e}_t + \widehat{\xi}_t \quad (69)$$

Esta regla incorpora el canal del tipo de cambio nominal en la transmisión de política monetaria. En esta economía se toma en cuenta que los cambios en la tasa de interés nominal no solo afectan a la curva IS mediante la tasa de interés real, sino también a las exportaciones netas mediante su relación con el tipo de cambio real (proporción de los términos de intercambio). Donde φ_e es la reacción al tipo de cambio nominal de la regla monetaria.

Regla 9 (R9)

$$\widehat{R}_t = \varphi_{R1} \widehat{R}_{t-1} + \varphi_{\pi 0} \widehat{\pi}_{d,t} + \varphi_{\pi 1} \widehat{\pi}_{d,t-1} + \varphi_{x0} \widehat{x}_t - \varphi_{x1} \widehat{x}_{t-1} + \varphi_{\Delta e} \Delta \widehat{e}_t + \varphi_{ti} \widehat{ti}_t + \widehat{\xi}_t \quad (70)$$

Modificando la regla óptima a corto plazo de [Cabrera, Bejarano, y Savino \(2011\)](#), esta regla implica que la tasa de interés responde a los movimientos de la inflación doméstica, la brecha del producto, las fluctuaciones del tipo de cambio nominal y los términos de intercambio. Donde φ_{R1} , $\varphi_{\pi 0}$, $\varphi_{\pi 1}$, φ_{x0} , φ_{x1} , $\varphi_{\Delta e}$, y φ_{ti} son sus coeficientes asociados. En economías emergentes es útil incorporar la variación del tipo de cambio nominal, comúnmente denominada flotación cambiaria.

Regla 10 (R10)

$$\widehat{R}_t = \varphi_R \widehat{R}_{t-1} + \varphi_\pi \widehat{\pi}_{d,t} + \varphi_x \widehat{x}_t + \varphi_e \widehat{e}_t + \widehat{\xi}_t \quad (71)$$

Esta regla compuesta, incorpora el componente inercial de la tasa de interés, la inflación doméstica, la brecha del producto, y el tipo de cambio nominal en las decisiones de política monetaria.

2.7. Representación de los choques

Choque de política monetaria

$$\widehat{\xi}_t = \rho_\xi \widehat{\xi}_{t-1} + \varepsilon_t^\xi \quad (72)$$

Donde ρ_ξ y ε_t^ξ son el coeficiente de autocorrelación y la innovación del choque de política monetaria respectivamente. La innovación esta normal, independiente e idénticamente distribuida con una desviación estándar, σ_ξ .

Choque tecnológico

$$\widehat{a}_t = \rho_a \widehat{a}_{t-1} + \varepsilon_t^a \quad (73)$$

Donde ρ_a y ε_t^a son el coeficiente de autocorrelación y la innovación del choque de productividad respectivamente. La innovación esta normal, independiente e idénticamente distribuida con una desviación estándar, σ_a .

Choque de preferencias

$$\widehat{g}_t = \rho_g \widehat{g}_{t-1} + \varepsilon_t^g \quad (74)$$

Donde ρ_g y ε_t^g son el coeficiente de autocorrelación y la innovación del choque de preferencias respectivamente. La innovación esta normal, independiente e idénticamente distribuida con una desviación estándar, σ_g .

Choque de tasa de interés internacional

$$\widehat{R}_t^* = \rho_{R^*} \widehat{R}_{t-1}^* + \varepsilon_t^{R^*} \quad (75)$$

Donde ρ_{R^*} y $\varepsilon_t^{R^*}$ son el coeficiente de autocorrelación y la innovación del choque de tasa de interés internacional respectivamente. La innovación esta normal, independiente e idénticamente distribuida con una desviación estándar, σ_{R^*} .

Choque del nivel de precios internacional

$$\widehat{p}_t^* = \rho_{p^*} \widehat{p}_{t-1}^* + \varepsilon_t^{p^*} \quad (76)$$

Donde ρ_{p^*} y $\varepsilon_t^{p^*}$ son el coeficiente de autocorrelación y la innovación del choque del nivel de precios mundial respectivamente. La innovación esta normal, independiente e idénticamente distribuida con una desviación estándar, σ_{p^*} .

2.8. Bienestar

Para evaluar el bienestar de las diferentes reglas de política monetaria es posible utilizar la función de pérdida basada en la utilidad. Para obtener un criterio de bienestar apropiado, es posible derivar una aproximación de segundo orden de la pérdida de utilidad descontada del consumidor representativo domestico asociado a las desviaciones de política óptima.

$$\mathcal{L} = \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t \left\{ \frac{(1-\alpha)\epsilon}{2\lambda} \widehat{\pi}_{d,t}^2 + \frac{(1-\alpha)(1+\varphi)}{2} \widehat{x}_t^2 \right\} \quad (77)$$

En una economía abierta con fricciones financieras, para el caso especial de $\sigma=\eta=1$. La función de pérdida \mathcal{L} , es expresada en términos de la inflación doméstica y la brecha del producto.

$$\mathbb{V} = \left\{ \frac{(1-\alpha)\epsilon}{2\lambda} \text{var}(\widehat{\pi}_{d,t}) + \frac{(1-\alpha)(1+\varphi)}{2} \text{var}(\widehat{x}_t) \right\} \quad (78)$$

Tomando expectativa incondicional en (77) y dejando que $\beta \rightarrow 1$, la pérdida de bienestar esperada se representa en términos de la varianza de la inflación y la brecha del producto. En contraste, la función de pérdida \mathcal{L} , es una fuente considerable de la pérdida de bienestar. Estas pérdidas no pueden ser evitadas, pero son considerablemente reducidas cuando el banco central puede comprometerse a planes de política que consisten en mantener las tasas de interés bajas por un periodo prolongado.

2.9. Calibración

Cuadro 1: Calibración

Parámetro	Descripción	Valor
β	Factor de descuento	0.9852
σ	Inversa de la elasticidad de sustitución intertemporal	1
φ	Inversa de la elasticidad de la oferta de trabajo	0.45
ϵ	Elasticidad de sustitución entre bienes domésticos	6
θ	Probabilidad de Calvo	0.75
α	Grado de apertura	0.6
η	Sustitución entre bienes domésticos e importados	2
δ	Tasa de la tenencia de bonos	3
φ_R	Reacción a la tasa de interés rezagada	0.5
φ_π	Reacción a la inflación	1.5
$\varphi_{\pi F}$	Reacción a la inflación proyectada	5
φ_x	Reacción a la brecha del producto	0.5
φ_e	Reacción al tipo de cambio	0.5
φ_{R1}	Reacción a la tasa de interés rezagada de R9	0.763
$\varphi_{\pi 0}$	Reacción a la inflación de R9	0.107
$\varphi_{\pi 1}$	Reacción a la inflación rezagada de R9	0.028
φ_{x0}	Reacción a la brecha del producto de R9	0.346
φ_{x1}	Reacción a la brecha del producto rezagado de R9	0.062
$\varphi_{\Delta e}$	Reacción a la variación del tipo de cambio de R9	0.053
φ_{ti}	Reacción a los términos de intercambio de R9	0.082
ρ_ξ	Autocorrelación del choque de política monetaria	0.5
ρ_a	Autocorrelación del choque tecnológico	0.9
ρ_g	Autocorrelación del choque de preferencias	0.9
ρ_{R^*}	Autocorrelación del choque de tasa de interés internacional	0.9
ρ_{p^*}	Autocorrelación del choque del nivel de precios mundial	0.95

La calibración puede ser considerada como una estrategia de estimación, [Gregory y Smith \(1987\)](#). Este procedimiento me permite asignar valores a los parámetros del modelo de equilibrio general basado en varias fuentes. Considerando la literatura estándar, la

economía peruana se caracteriza mediante parámetros estimados por diversos autores. Algunos parámetros reflejan sus valores históricos y otros mis propias estimaciones.

El factor de descuento subjetivo β , es establecido en 0.9852. En [Vega \(2015\)](#), este parámetro implica una tasa de interés real doméstica de estado estacionario equivalente al 6% por año.

La inversa de la elasticidad de sustitución intertemporal σ , es establecida en 1. Este parámetro es canónico y muestra que la elasticidad de sustitución intertemporal del consumo es invariante a escala del consumo.

La inversa de la elasticidad de la oferta de trabajo φ , es establecida en 0.45. mide el cambio porcentual de la oferta de trabajo con el salario real. En [Vega \(2015\)](#), este parámetro indica una oferta de trabajo muy inelástica. Para la economía peruana, refleja que la demanda laboral podría ser más sensible a los salarios.

La elasticidad de sustitución entre bienes domésticos ε , es establecida en 6. En [Castillo y cols. \(2009\)](#), este parámetro es consistente con un margen del 15% sobre los costos marginales en todos los sectores.

La probabilidad que una empresa individual no cambie su precio θ , es establecida en 0.75. La duración promedio de esta cotización de precios es $1/(1-\theta)$ trimestres. En [Castillo y cols. \(2009\)](#), esta elección implica que las empresas mantienen sus precios fijos durante 4 trimestres.

El grado de apertura α , es establecido en 0.6. En [Castillo y cols. \(2009\)](#), este parámetro implica una participación del 60% a los bienes domésticos en el IPC.

La elasticidad de sustitución intratemporal entre bienes domésticos e importados η , es 2. En [Vega \(2015\)](#), este parámetro sugiere un ambiente donde las familias tienen dificultades para sustituir bienes importados por bienes domésticos.

La tasa de la tenencia de bonos del gobierno a largo plazo relativos a la tenencias de bonos del gobierno a corto plazo δ , es establecida en 3 para propósitos del modelo. [Harrison \(2012\)](#), utiliza este parámetro en base al estudio de [Kuttner \(2006\)](#).

Los siguientes parámetros tienen una restricción de no negatividad. Los coeficientes de las reglas monetarias son consistentes a los hallazgos en [Taylor \(1993\)](#), [Henderson y McKibbin \(1993\)](#) y [Ball \(1999\)](#). Los choques son introducidos como procesos autorregresivos de primer orden.

Conforme a [Batini y Haldane \(1998\)](#) y [Batini y cols. \(2003\)](#), la reacción a la inflación proyectada $\varphi_{\pi F}$, es establecida en 5. Conforme a [Cabrera y cols. \(2011\)](#), los parámetros φ_{R1} , $\varphi_{\pi 0}$, $\varphi_{\pi 1}$, φ_{x0} , φ_{x1} , $\varphi_{\Delta e}$, y φ_{ti} , son establecidos en 0.763, 0.107, 0.028, 0.346, 0.062, 0.053, y 0.082 respectivamente.

La reacción a la tasa de interés rezagada φ_R , es establecida en 0.5. La reacción a la inflación φ_π , es establecida en 1.5. La reacción a la brecha del producto φ_x , es establecida en 0.5. La reacción al tipo de cambio nominal φ_e , es establecida en 0.5.

La autocorrelación del choque de política monetaria ρ_ξ , es establecida en 0.5. La autocorrelación del choque tecnológico ρ_a , es establecida en 0.9. La autocorrelación del choque de preferencias ρ_g , es establecida en 0.9. La autocorrelación del choque de tasa de interés internacional ρ_{R^*} , es establecida en 0.9. La autocorrelación del choque del nivel de precios mundial ρ_{p^*} , es establecida en 0.95.

3. Estimación del modelo

La siguiente estimación está basada [Lubik y Schorfheide \(2005\)](#), en [Rabanal y Rubio-Ramírez \(2005\)](#) y en [An y Schorfheide \(2006\)](#). Aquí las distribuciones a priori desempeñan un rol importante en la estimación del modelo de equilibrio general. En principio, la información a priori puede ser extraído de la introspección personal para reflejar con fuerza creencias sostenidas sobre la validez del modelo. En la práctica, la información a priori que elegí está basada en mi propia experiencia previa estimando modelos autorregresivos para la economía peruana.

En consecuencia, se combina la información a priori y la función de verosimilitud para obtener la distribución posterior del vector de parámetros. Se utiliza el filtro de Kalman para evaluar la función de verosimilitud de la aproximación logarítmica lineal del modelo y el algoritmo de caminata aleatoria MH-MCMC para trazar la distribución posterior². Luego, se utiliza la probabilidad marginal logarítmica, el factor de Bayes, y la probabilidad posterior del modelo para comparar cada regla de política monetaria. Al hacerlo, es posible determinar que regla ayuda a explicar mejor los datos, además de comparar cada regla del modelo.

3.1. Los datos

En el análisis empírico, los observables tienen una frecuencia trimestral que va desde el primer trimestre de 2004 hasta el cuarto trimestre de 2019³. Esta elección corresponde a la vigencia del esquema de metas explícitas de inflación.

Sea $\mathcal{Y}_T = \{\mathbf{y}_t\}_{t=1}^T$ el conjunto de observables.

$$\mathbf{y}_t = [\log Y_t, \log C_t, \log \pi_t, \log R_t]'$$

Se asume que el periodo t en el modelo corresponde a un trimestre, \mathbf{y}_t es el vector de observables, Y_t es el Producto Bruto Interno (PBI) real, C_t es el consumo privado, π_t es la inflación al IPC, y R_t es la tasa de política monetaria.

Los parámetros a estimar están contenidos en Θ .

$$\Theta = [\rho_\xi, \rho_a, \rho_g, \rho_{R^*}, \rho_{P^*}, \sigma_\xi, \sigma_a, \sigma_g, \sigma_{R^*}, \sigma_{P^*}]'$$

El vector de parámetros Θ , está conformado por las pendientes de autocorrelación y las desviaciones estándar de los choques exógenos que son fuente de fluctuación en el modelo de equilibrio general.

3.2. Estimación Bayesiana

La densidad a priori $p(\Theta | M_R)$, asume que la información a priori acerca del vector de parámetros pueden ser resumidos por una función conjunta de densidad de probabilidad. Poseen una distribución Beta e Inversa Gamma respectivamente.

La función de verosimilitud describe la densidad de los datos observados dado el modelo y el vector de parámetros. Se estima mediante el filtro de Kalman, que evalúa

²Estos métodos de simulación y estimación se implementan dentro de la plataforma de software Dynare, [Adjemian y cols. \(2011\)](#).

³Los datos fueron extraídos de las series históricas del Banco Central de Reservas del Perú (BCRP).

la función de verosimilitud asociada a la solución del sistema estado espacio del modelo. Esta función puede ser representada en forma recursiva.

$$\mathcal{L}(\Theta | \mathcal{Y}_T, M_R) \equiv p(\mathbf{y}_0 | \Theta, M_R) \prod_{t=1}^T p(\mathbf{y}_t | \mathcal{Y}_{t-1}, \Theta, M_R) \quad (79)$$

Donde $\mathcal{L}(\Theta | \mathcal{Y}_T, M_R)$ es la función de verosimilitud y $p(\mathbf{y}_t | \mathcal{Y}_{t-1}, \Theta, M_R)$ es la densidad condicional a la información disponible hasta el periodo $t - 1$.

La distribución posterior está dada por el teorema de Bayes.

$$p(\Theta | \mathcal{Y}_T, M_R) = \frac{\mathcal{L}(\Theta | \mathcal{Y}_T, M_R) p(\Theta | M_R)}{p(\mathcal{Y}_T | M_R)} \quad (80)$$

El término $p(\mathcal{Y}_T | M_R)$ es la densidad marginal de los datos y aparece como constante de normalización en el denominador de (80). El logaritmo de la densidad marginal de los datos se puede interpretar como una función de log-verosimilitud maximizada penalizada por la dimensión del modelo.

El término $p(\Theta | \mathcal{Y}_T, M_R)$, es la densidad posterior proporcional al producto de la función de verosimilitud y la densidad a priori.

$$p(\Theta | \mathcal{Y}_T, M_R) \propto \mathcal{L}(\Theta | \mathcal{Y}_T, M_R) p(\Theta | M_R) \equiv \mathbb{K}(\Theta | \mathcal{Y}_T, M_R) \quad (81)$$

Esta ecuación es de interés fundamental, debido a que resume todo lo que se sabe acerca de Θ , después de utilizar los datos. El kernel posterior $\mathbb{K}(\Theta | \mathcal{Y}_T, M_R)$, corresponde al numerador de la densidad posterior.

3.3. Algoritmo Metrópolis-Hastings

Para encontrar los momentos posteriores, el algoritmo de caminata aleatoria MH-MCMC, parte de la moda posterior $\tilde{\Theta}$.

Primer paso

Elegir un punto de comienzo $\hat{\Theta}^0$, donde se encuentre típicamente $\tilde{\Theta}$.

Segundo paso

Trazar un $\hat{\Theta}^*$ propuesto de una distribución de saltos.

$$J(\hat{\Theta}^* | \hat{\Theta}^{t-1}) = N(\hat{\Theta}^{t-1}, w^2 \mathbf{\Omega}_d) \quad (82)$$

Donde N es la distribución normal, w es un escalar que controla el tamaño del salto de la actualización propuesta del algoritmo, $\mathbf{\Omega}$ es la inversa del Hessiano calculado en $\tilde{\Theta}$, y d es la dimensión de Θ .

Tercer paso

Calcular una tasa de aceptación.

$$r = \frac{p(\hat{\Theta}^* | \mathcal{Y}_T, M_R)}{p(\hat{\Theta}^{t-1} | \mathcal{Y}_T, M_R)} = \frac{\mathbb{K}(\hat{\Theta}^* | \mathcal{Y}_T, M_R)}{\mathbb{K}(\hat{\Theta}^{t-1} | \mathcal{Y}_T, M_R)} \quad (83)$$

Calcular su probabilidad asociada.

$$\mathfrak{P} = \min \left\{ 1, \frac{\mathbb{K}(\hat{\Theta}^* \mid \mathcal{Y}_T, M_R)}{\mathbb{K}(\hat{\Theta}^{t-1} \mid \mathcal{Y}_T, M_R)} \right\} \quad (84)$$

Cuarto paso

Aceptar o descartar la propuesta $\hat{\Theta}^*$. Trazar una variable aleatoria uniforme $q \sim U(0, 1)$. La propuesta es aceptada $\hat{\Theta}^t = \hat{\Theta}^*$, si $q \leq \mathfrak{P}$, de lo contrario volver a trazar un nuevo candidato.

Este proceso se repite \mathcal{H} veces para generar la densidad posterior $p(\hat{\Theta} \mid \mathcal{Y}_T, M_R)$. La velocidad de convergencia es sensible a w así como a \mathcal{H} . Para permitir la convergencia establezco $\mathcal{H} = 250000$ trazos, como en [Smets y Wouters \(2007\)](#). Configuro un w que conduzca a una tasa de aceptación cercana a un tercio, comenzando con $w = 2,4/\sqrt{d}$.

3.4. Factor de Bayes

Para cada regla del modelo, la probabilidad marginal posterior es calculada utilizando el estimador de media armónica modificado de [Geweke \(1998\)](#). Por lo tanto, el factor de Bayes es considerado como herramienta para determinar que regla del modelo explica mejor el comportamiento del conjunto de variables. Para ello defino el factor de Bayes de la regla k y la regla ℓ , $FB_{k,\ell}$.

$$FB_{k,\ell} = \frac{p(\mathcal{Y}_T \mid M_{R,k})}{p(\mathcal{Y}_T \mid M_{R,\ell})} \quad (85)$$

Donde $p(\mathcal{Y}_T \mid M_{R,k})$ es la densidad marginal posterior de la regla k y $p(\mathcal{Y}_T \mid M_{R,\ell})$ es la densidad marginal posterior de la regla ℓ . Con los factores de Bayes, es posible calcular la probabilidad posterior de cada regla, p_k .

Considerando que $\sum_{k=1}^{10} p_k = 1$,

$$\frac{1}{p_1} = \sum_{k=2}^{10} FB_{k,1} \quad (86)$$

Donde p_1 es la probabilidad posterior de la regla 1. Entonces $p_k = p_1 FB(k, 1)$ da las probabilidades restantes del modelo. Si la probabilidad posterior de la regla k es mayor a la probabilidad posterior de la regla ℓ , entonces la regla k es mejor que la regla ℓ .

3.5. Información a priori

Se asume que los coeficientes de autocorrelación tienen una distribución Beta con límites de $[0, 1]$. Se asumen también que las desviaciones estándar de los choques se impone una distribución Inversa Gamma con límites de $[0, \infty]$.

La desviación estándar del choque de política monetaria σ_ξ , es establecida en 0.1. La desviación estándar del choque tecnológico σ_a , es establecida en 0.4. La desviación estándar del choque de preferencias σ_g , es establecida en 0.2. La desviación estándar del choque de tasa de interés internacional σ_{R^*} , es establecida en 0.2. La desviación estándar del choque del nivel de precios mundial σ_{p^*} , es establecida en 1.

Cuadro 2: Información a priori

Parámetro	Distribución [Limites]	Media	DE
ρ_ξ	Beta [0,1]	0.50	0.01
ρ_a	Beta [0,1]	0.90	0.01
ρ_g	Beta [0,1]	0.90	0.01
ρ_{R^*}	Beta [0,1]	0.90	0.01
ρ_{p^*}	Beta [0,1]	0.95	0.01
σ_ξ	Inv-Gamma [0, ∞]	0.10	0.02
σ_a	Inv-Gamma [0, ∞]	0.40	0.02
σ_g	Inv-Gamma [0, ∞]	0.20	0.02
σ_{R^*}	Inv-Gamma [0, ∞]	0.20	0.02
σ_{p^*}	Inv-Gamma [0, ∞]	1.00	0.02

4. Resultados

A continuación, se presentan los hallazgos teóricos y empíricos. Primero, se compara la función de pérdida de cada regla monetaria, mediante el análisis de la robustez de los choques conjuntos e individuales. En segundo lugar, se presenta la función de impulso respuesta de las principales reglas monetarias. En tercer lugar, se presenta los resultados posteriores de cada una de las diez reglas del modelo.

4.1. Política monetaria óptima

Análisis de robustez de los choques conjuntos

Cuadro 3: Comparación entre reglas de política monetaria

	$\sigma(\hat{y})$	$\sigma(\hat{x})$	$\sigma(\hat{\pi}_d)$	$\sigma(\hat{\pi})$	$\sigma(\hat{t}_i)$	$\sigma(\Delta\hat{e})$	\mathcal{L}
Regla 1	5.645	4.934	3.718	3.907	3.213	4.197	1.977
Regla 2	6.180	5.209	3.476	3.852	3.515	4.379	1.744
Regla 3	3.270	2.500	0.519	0.742	1.982	0.000	0.055
Regla 4	4.231	2.560	1.826	1.967	2.524	2.346	0.479
Regla 5	4.411	2.590	1.759	2.003	2.626	2.499	0.446
Regla 6	4.104	1.786	0.658	1.109	2.483	1.853	0.069
Regla 7	4.385	2.351	0.505	1.200	2.621	2.043	0.051
Regla 8	3.771	2.578	0.528	1.039	2.261	1.489	0.058
Regla 9	4.606	3.607	1.153	1.744	2.685	2.498	0.221
Regla 10	3.521	1.588	0.385	0.741	2.163	1.253	0.028

El cuadro 3 muestra las desviaciones estándar de las variables analizadas de cada regla de política monetaria. Donde utilizo la función de pérdida \mathcal{L} , para encontrar la política monetaria óptima.

R1 y R2, que consisten en el esquema de metas de inflación al IPC e inflación doméstica respectivamente. Las desviaciones de las variables son altas en comparación a las demás reglas. La mayor fuente de volatilidad proviene de reaccionar a la inflación al IPC. En consecuencia, reaccionar a la inflación doméstica resulta más eficiente para minimizar

la función de pérdida. En general, los bancos centrales usualmente imponen rangos de tolerancia a la inflación para evitar que fluctúe mucho.

R3, que consiste en un régimen de tipo de cambio nominal fijo. Las desviaciones de las variables disminuyen en comparación a las dos primeras reglas. La volatilidad del tipo de cambio nominal es cero. Sin embargo, este régimen reduce la potencia de la política monetaria, por lo que esta regla no se considerará posteriormente.

R4 y R5, que consiste en la regla de Taylor y la regla de Taylor para la inflación doméstica respectivamente. Las desviaciones de las variables disminuyen en comparación a las dos primeras reglas. En consecuencia, reaccionar a la brecha del producto resulta más eficiente para minimizar la función de pérdida. En general, los bancos centrales de economías avanzadas utilizan la regla de Taylor ante choques adversos.

R6, que reacciona al componente rezagado de la tasa de interés nominal, la inflación doméstica, y la brecha del producto. Las desviaciones de las variables disminuyen en comparación a las dos anteriores reglas. En consecuencia, reaccionar al componente rezagado de la tasa de interés nominal, a la inflación doméstica y la brecha del producto resulta más eficiente para minimizar la función de pérdida.

R7, que reacciona al componente rezagado de la tasa de interés nominal y a las desviaciones de la inflación doméstica esperada de la meta. Las desviaciones de la inflación doméstica disminuyen en comparación a R6. En consecuencia, en un contexto con dinámicas más complejas, en el que el banco central se compromete a contener la inflación hacia futuro, probablemente generaría una menor función de pérdida. [Batini y cols. \(2009\)](#), mencionan que en una economía dolarizada existen ganancias sustanciales al incluir el tipo de cambio en la regla monetaria. Aquí demuestro que para un modelo que captura los hechos relevantes de la economía peruana, la dolarización no es necesaria para llegar a las mismas conclusiones.

R8, que reaccionan al componente rezagado de la tasa de interés nominal, la inflación doméstica, y el tipo de cambio nominal. Las desviaciones del producto, inflación al IPC, términos de intercambio y variación del tipo de cambio nominal disminuyen en comparación a R7. En consecuencia, reaccionar al tipo de cambio resulta más eficiente para minimizar la función de pérdida para una economía expuesta a choques externos. En general, esta regla de economía abierta es parsimoniosa.

R9, que reacciona a los movimientos de la inflación doméstica, la brecha del producto, las fluctuaciones del tipo de cambio nominal, y los términos de intercambio. Las desviaciones de las variables aumentan en comparación a R8. En consecuencia, reaccionar a la variación del tipo de cambio nominal resulta menos eficiente para minimizar la función de pérdida.

R10, que reaccionan al componente rezagado de la tasa de interés, la inflación doméstica, la brecha del producto, y el tipo de cambio nominal. Las desviaciones de las variables disminuyen en comparación a las demás reglas. En adición a R8, reaccionar a la brecha del producto resulta más eficiente para minimizar la función de pérdida.

Análisis de robustez de los choques individuales

Para proporcionar una mayor intuición sobre por qué ciertas reglas funcionan mejor que otras, re-evaluó las reglas que tuvieron una menor función de pérdida. Suponiendo que la economía fue golpeada por un tipo de choque a la vez, se busca qué reglas producen respuestas sensibles a cada uno de los choques y se analiza si las reglas que funcionan bien lo hacen porque son robustas para varios choques. Esta es una prueba de solidez de la especificación de cada regla.

Cuadro 4: Choque de política monetaria

$\hat{\xi}_t$	Regla 2	Regla 5	Regla 7	Regla 8	Regla 10
$\sigma(\hat{y})$	2.612	1.226	1.872	1.563	0.923
$\sigma(\hat{x})$	2.612	1.226	1.872	1.563	0.923
$\sigma(\hat{\pi}_d)$	0.445	0.209	0.356	0.207	0.126
$\sigma(\hat{\pi})$	1.141	0.536	0.795	0.661	0.392
$\sigma(\hat{t}_i)$	1.419	0.666	1.017	0.850	0.502
$\sigma(\Delta\hat{e})$	1.686	0.791	1.147	0.992	0.588
\mathcal{L}	0.047	0.010	0.028	0.013	0.005

Asumiendo un choque individual de política monetaria. En el cuadro 4, R10, resulta más eficiente para minimizar la función de pérdida. Las desviaciones de las variables son menores en comparación a las demás reglas.

Cuadro 5: Choque de productividad

\hat{a}_t	Regla 2	Regla 5	Regla 7	Regla 8	Regla 10
$\sigma(\hat{y})$	2.993	3.169	3.269	2.677	2.884
$\sigma(\hat{x})$	0.355	0.180	0.112	0.865	0.548
$\sigma(\hat{\pi}_d)$	0.271	0.137	0.028	0.216	0.159
$\sigma(\hat{\pi})$	0.459	0.452	0.439	0.185	0.294
$\sigma(\hat{t}_i)$	1.627	1.722	1.776	1.455	1.567
$\sigma(\Delta\hat{e})$	0.717	0.751	0.741	0.339	0.524
\mathcal{L}	0.011	0.003	0.000	0.009	0.004

Asumiendo un choque individual de productividad. En el cuadro 5, R7, resulta más eficiente para minimizar la función de pérdida. Las desviaciones de la brecha del producto y la inflación doméstica son menores en comparación a las demás reglas.

Cuadro 6: Choque de preferencias

\hat{g}_t	Regla 2	Regla 5	Regla 7	Regla 8	Regla 10
$\sigma(\hat{y})$	1.518	1.661	1.743	1.287	1.436
$\sigma(\hat{x})$	0.289	0.146	0.091	0.704	0.446
$\sigma(\hat{\pi}_d)$	0.221	0.112	0.023	0.175	0.129
$\sigma(\hat{\pi})$	0.374	0.368	0.357	0.151	0.239
$\sigma(\hat{t}_i)$	1.324	1.401	1.446	1.184	1.275
$\sigma(\Delta\hat{e})$	0.584	0.623	0.603	0.276	0.426
\mathcal{L}	0.007	0.002	0.000	0.006	0.003

Asumiendo un choque individual de preferencias. En el cuadro 6, R7, resulta más eficiente para minimizar la función de pérdida. Las desviaciones de la brecha del producto y la inflación doméstica son menores en comparación a las demás reglas.

Cuadro 7: Choque de tasa de interés internacional

\widehat{R}_t^*	Regla 2	Regla 5	Regla 7	Regla 8	Regla 10
$\sigma(\widehat{y})$	4.479	2.267	1.414	1.394	0.860
$\sigma(\widehat{x})$	4.479	2.267	1.414	1.394	0.860
$\sigma(\widehat{\pi}_d)$	3.418	1.729	0.356	0.259	0.184
$\sigma(\widehat{\pi})$	3.620	1.832	0.698	0.619	0.391
$\sigma(\widehat{ti})$	2.434	1.232	0.768	0.757	0.468
$\sigma(\Delta\widehat{e})$	3.812	1.929	1.003	0.909	0.566
\mathcal{L}	1.669	0.427	0.023	0.015	0.007

Asumiendo un choque individual de tasa de interés internacional. En el cuadro 7, R10, resulta más eficiente para minimizar la función de pérdida. Las desviaciones de las variables son menores en comparación a las demás reglas.

Cuadro 8: Choque del nivel de precios mundial

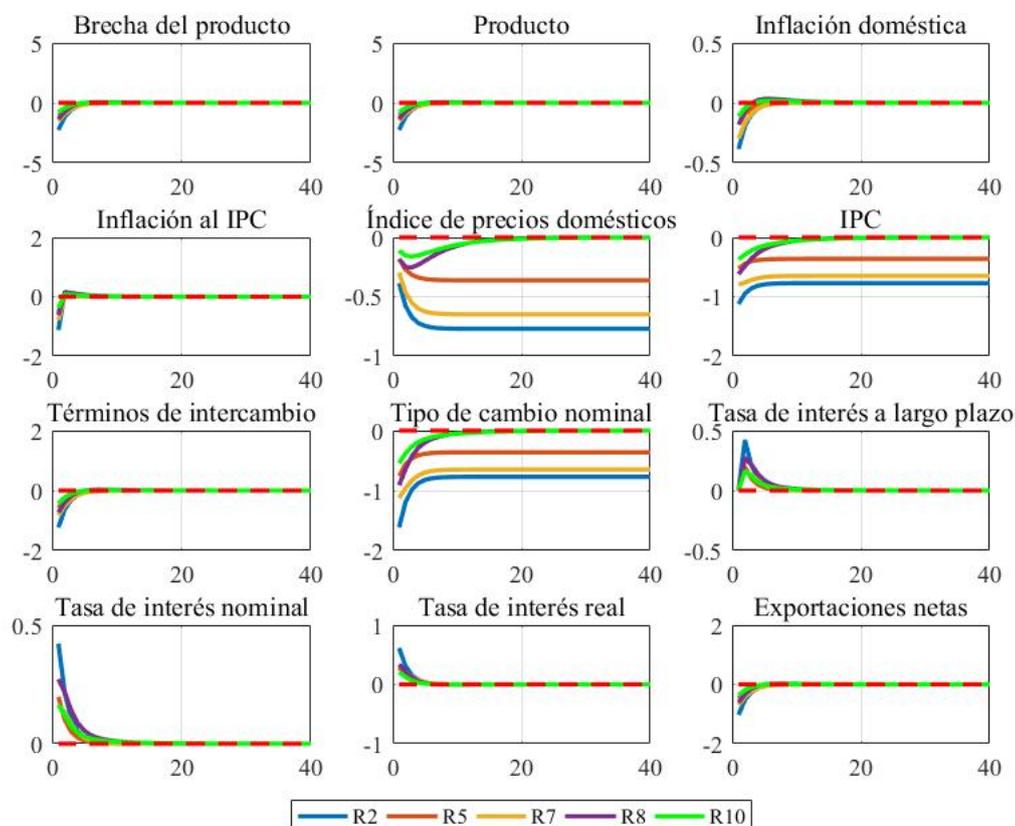
\widehat{p}_t^*	Regla 2	Regla 5	Regla 7	Regla 8	Regla 10
$\sigma(\widehat{y})$	0.208	0.126	0.064	1.006	0.656
$\sigma(\widehat{x})$	0.208	0.126	0.064	1.006	0.656
$\sigma(\widehat{\pi}_d)$	0.281	0.170	0.022	0.301	0.237
$\sigma(\widehat{\pi})$	0.285	0.173	0.035	0.450	0.315
$\sigma(\widehat{ti})$	0.113	0.069	0.035	0.547	0.357
$\sigma(\Delta\widehat{e})$	0.973	0.979	0.971	0.464	0.670
\mathcal{L}	0.011	0.004	0.000	0.015	0.009

Asumiendo un choque individual del nivel de precios mundial. En el cuadro 8, R7, resulta más eficiente para minimizar la función de pérdida. Sin considerar la variación del tipo de cambio nominal, las desviaciones de las variables son menores en comparación a las demás reglas.

4.2. Función de impulso respuesta

Choque de política monetaria

Figura 1: Choque de política monetaria



Nota: Impulso respuesta de un choque positivo de política monetaria con una desviación estándar de 100 puntos básicos (pb). Los choques se normalizaron para presentar una desviación de 1 punto porcentual (pp), y las respuestas de las variables se expresan en desviaciones porcentuales en relación con su estado estacionario (líneas rojas discontinuas).

Un aumento de la tasa de política monetaria, aumenta la tasa de interés nominal, aumenta la tasa de interés real, disminuye el consumo, disminuye el producto. En consecuencia, la brecha del producto disminuye, disminuyendo 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 por bonos a corto plazo disminuye, la demanda por bonos a largo plazo disminuye, lo que provoca un exceso de oferta por bonos que induce a un aumento de la tasa de interés a largo plazo.

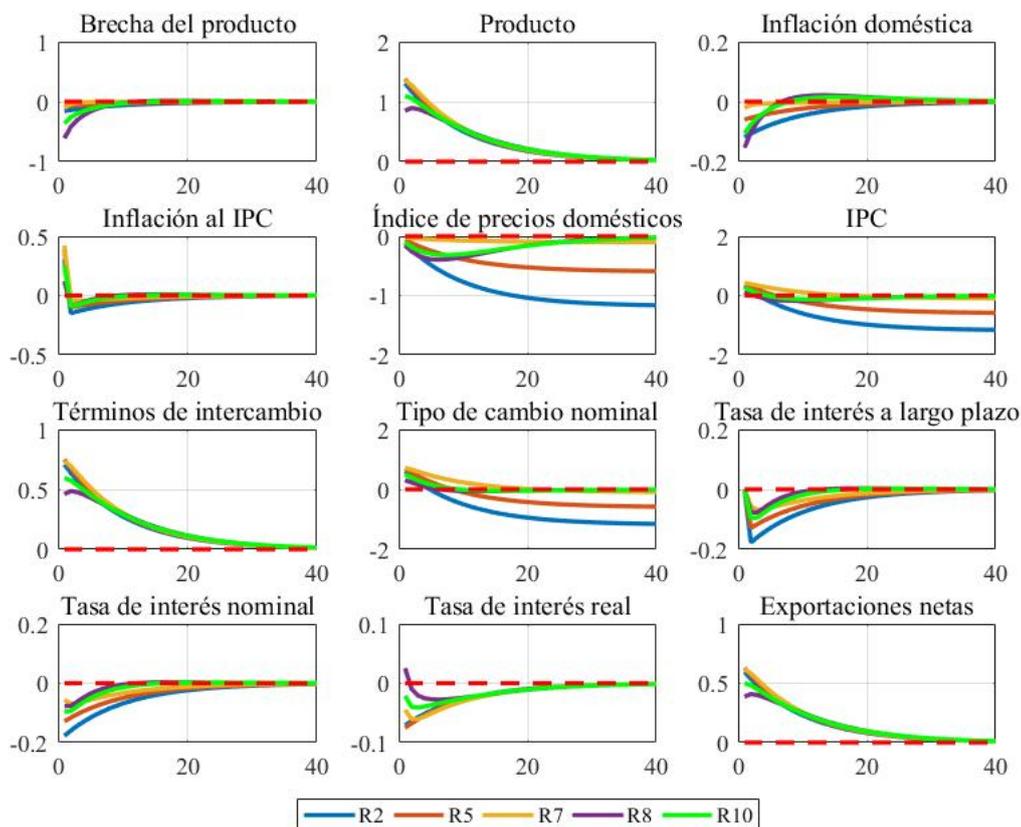
El índice de precios domésticos cae gradualmente. Para R2, mantiene una caída permanente inferior a 100 pb. Para R5, mantiene una caída permanente inferior a 50 pb. Para R7, mantiene una caída permanente equivalente a 50 pb. Para R8 y R10, la respuesta inicial sigue un patrón en forma de joroba, al llegar a un determinado punto cercano a 25 pb, cae hasta converger a un valor de estado estacionario de cero.

Se puede observar que para R7, el IPC y el tipo de cambio nominal, caen permanentemente, pero en mayor magnitud que R5. Este comportamiento refleja que el banco central debe comprometerse a contener la inflación hacia futuro. En consecuencia, la magnitud de

φ_{π_F} es importante. Además, para R10, las demás variables fluctúan en menor magnitud que R8.

Choque de productividad

Figura 2: Choque de productividad



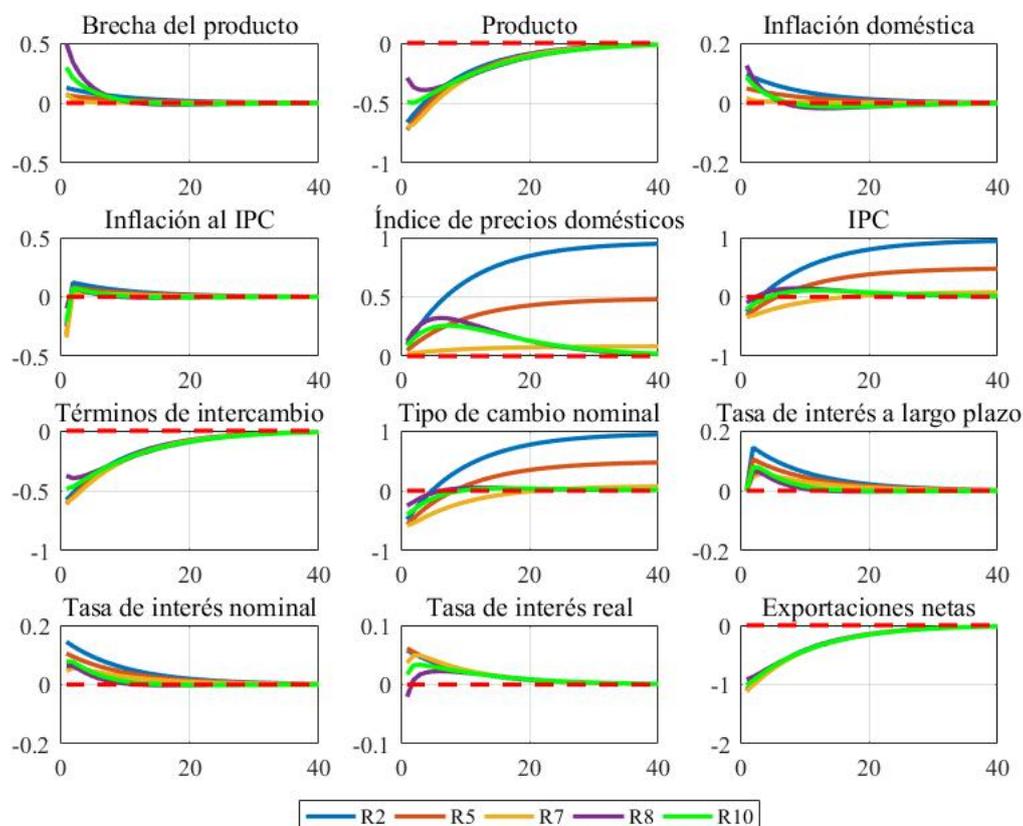
Nota: Impulso respuesta de un choque positivo de productividad con una desviación estándar de 100 pb.

Una mayor productividad, disminuye la tasa de interés real natural, aumenta el producto natural y aumenta el producto mediante la función de producción. En consecuencia, la brecha del producto disminuye, disminuyendo la inflación doméstica e índice de precios domésticos en la economía. En el sector externo los términos de intercambio aumentan y el tipo de cambio nominal inicialmente se deprecia. Por otro lado, el banco central disminuye la tasa de interés nominal, la demanda por bonos a corto plazo aumenta, la demanda por bonos a largo plazo aumenta, lo que provoca un exceso de demanda por bonos que induce a una disminución de la tasa de interés a largo plazo.

El índice de precios doméstico cae gradualmente. Para R2, mantiene una caída permanente superior a 100 pb. Para R5, mantiene una caída permanente superior a 50 pb. Para R7, mantiene una caída permanente superior a 5 pb. Para R8 y R10, la respuesta inicial sigue un patrón en forma de joroba, al llegar a un determinado punto cercano a 25 pb, cae hasta converger a un valor de estado estacionario de cero.

Choque de preferencias

Figura 3: Choque de preferencias



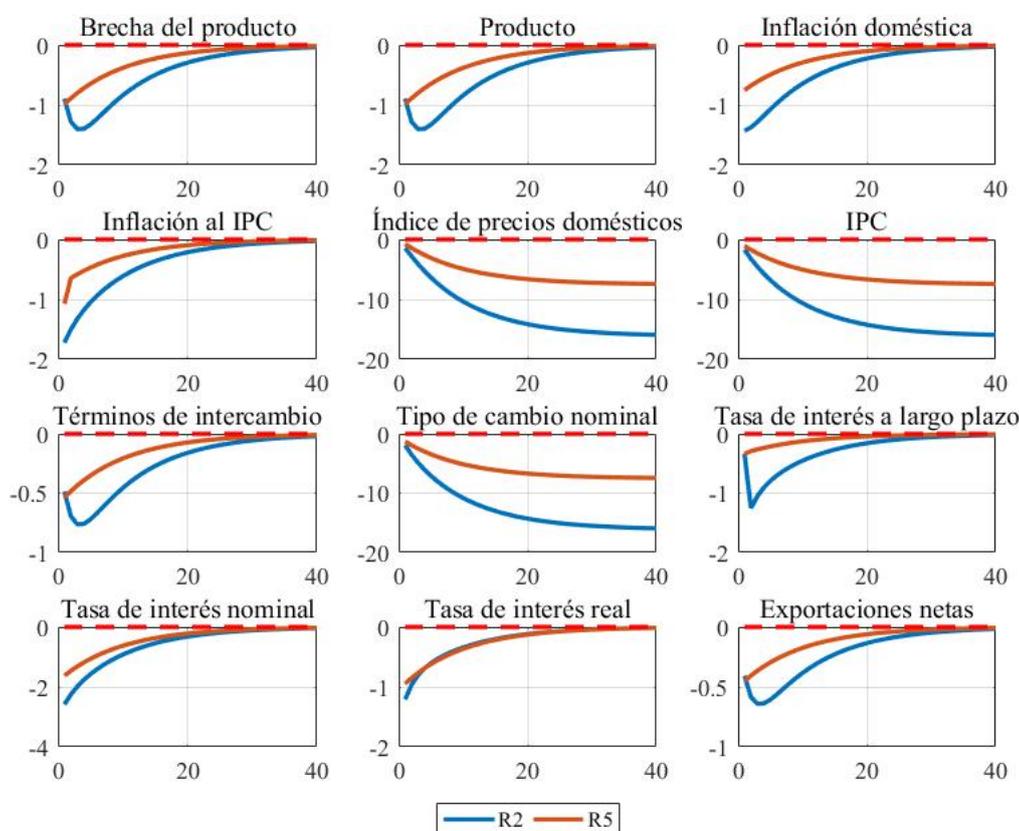
Nota: Impulso respuesta de un choque positivo de preferencias con una desviación estándar de 100 pb.

Un choque de preferencias positivo, aumenta la tasa de interés real natural, aumenta el producto natural y disminuye los términos de intercambio natural. En consecuencia, la brecha del producto aumenta, aumentando la inflación doméstica e índice de precios domésticos en la economía. En el sector externo los términos de intercambio caen y el tipo de cambio nominal inicialmente se aprecia. Por otro lado, el banco central aumenta la tasa de interés nominal, la demanda por bonos a corto plazo disminuye, la demanda por bonos a largo plazo disminuye, lo que provoca un exceso de oferta por bonos que induce a un aumento de la tasa de interés a largo plazo.

El índice de precios doméstico aumenta gradualmente. Para R2, mantiene un aumento permanente cercano a 100 pb. Para R5, mantiene un aumento permanente equivalente a 50 pb. Para R7, mantiene un aumento permanente superior a 5 pb. Para R8 y R10, la respuesta inicial sigue un patrón en forma de joroba, al llegar a un determinado punto cercano a 25 pb, cae hasta converger a un valor de estado estacionario de cero.

Choque de tasa de interés internacional

Figura 4: Choque de tasa de interés internacional R2 y R5



Nota: Impulso respuesta de un choque negativo de tasa de interés internacional con una desviación estándar de 100 pb.

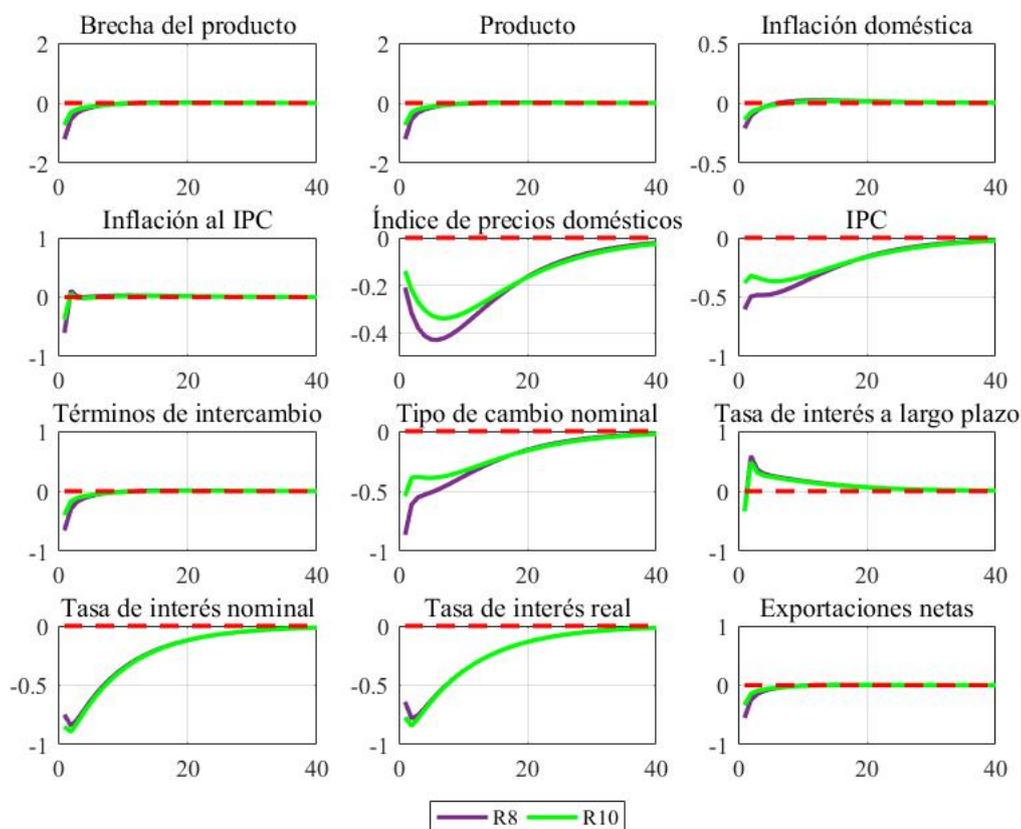
Una disminución de la tasa de interés internacional, provoca un flujo masivo de capitales acumulado hacia la economía doméstica, que lleva a una apreciación persistente del tipo de cambio nominal, que deteriora la competitividad y conduce a una caída en las exportaciones netas. En el país los términos de intercambio disminuyen, el producto disminuye, en consecuencia, la brecha del producto disminuye, disminuyendo los precios en la economía. Por otro lado, el banco central disminuye la tasa de interés nominal que induce a una disminución de la tasa de interés real.

En cuanto a un posible estímulo monetario internacional, los resultados son consistentes con lo documentado en [Banerjee y cols. \(2015\)](#) y [Kolasa y Wesolowski \(2018\)](#). Los efectos en las tasas de interés a largo plazo, tienen una reacción diferente por cada regla de política monetaria. En el sector financiero, genera co-movimientos en las tasas de interés de corto y largo plazo. En particular, conduce a que la tasa de interés a largo plazo disminuya, pero en una menor magnitud, considerando la política monetaria convencional de la economía doméstica.

Al mismo tiempo, una tasa de interés menor en la economía externa, induce a sus inversores a buscar rendimiento en el extranjero. En consecuencia, la participación de los no residentes en el mercado de bonos a largo plazo de la economía doméstica aumenta. Los flujos de capitales hacia el mercado de bonos domestico van acompañados de una

caída en la tasa de interés a largo plazo, esta caída está impulsada por el suministro de bonos y por menores tasas actuales y futuras esperadas a corto plazo.

Figura 5: Choque de tasa de interés internacional R8 y R10



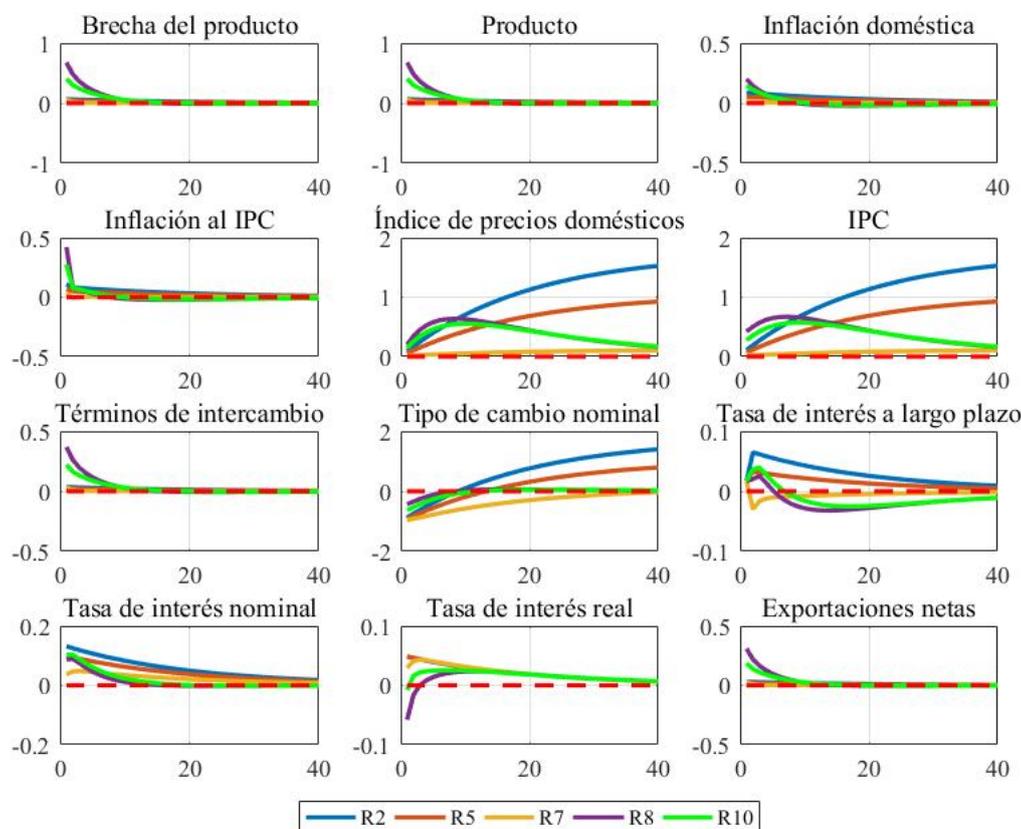
Nota: Impulso respuesta de un choque negativo de tasa de interés internacional con una desviación estándar de 100 pb.

Al mismo tiempo, a través del suministro de bonos y por mayores tasas actuales y futuras esperadas a corto plazo, una tasa de interés a corto plazo menor, disminuye la tasa de interés a largo plazo en aproximadamente 4 pb. Para R2, la tasa de interés a largo plazo aumenta gradualmente. Para R5, la tasa de interés a largo plazo mantiene una trayectoria descendente y luego aumenta gradualmente. Para R8 y R10, dado que el banco central reacciona al tipo de cambio nominal, la tasa de interés a largo plazo de la economía nacional aumenta y luego disminuye gradualmente. Esto muestra que una regla de intervención cambiaria permite reducir la excesiva volatilidad del tipo de cambio, evitando grandes variaciones en los precios de la economía.

En consecuencia, debido a la fricciones del modelo, R2 o R5, tienen poca ventaja sobre las reglas de tipo de cambio. Así mismo, [Adler y Tovar \(2014\)](#), reconocen la importancia del uso de la intervención cambiaria por parte de los bancos centrales de economías emergentes para lidiar con las fluctuaciones excesivas de flujos de capitales y volatilidad del tipo de cambio asociados.

Choque del nivel de precios mundial

Figura 6: Choque del nivel de precios mundial



Nota: Impulso respuesta de un choque positivo del nivel de precios mundial con una desviación estándar de 100 pb.

Un aumento del nivel de precios mundial, aumenta los términos de intercambio y aprecia inicialmente el tipo de cambio nominal. Además, el producto aumenta, en consecuencia, la brecha del producto aumenta, aumentando los precios en la economía. El banco central aumenta la tasa de interés nominal que induce a un aumento de la tasa de interés real (por el efecto mayor en $\hat{\pi}_{d,t+1}$, la tasa de interés real cae para R8 y R10).

Al mismo tiempo, a través del suministro de bonos y por mayores tasas actuales y futuras esperadas a corto plazo, una tasa de interés a corto plazo mayor, aumenta la tasa de interés a largo plazo cerca de 2 pb. Para R2, la respuesta inicial sigue un patrón en forma de joroba, luego disminuye gradualmente. Para R5, la respuesta inicial sigue un patrón en forma de joroba, luego disminuye gradualmente. Para R7, dado que el banco central reacciona a la inflación proyectada, la tasa de interés a largo plazo de la economía doméstica disminuye, luego aumenta gradualmente. Para R8 y R10, siguen un patrón en forma de joroba, fluctúan hasta converger a un valor de estado estacionario de cero.

El índice de precios doméstico y el IPC aumentan gradualmente. Para R2, mantiene un aumento permanente cercano a 150 pb. Para R5, mantiene un aumento permanente equivalente a 100 pb. Para R7, mantiene un aumento permanente inferior a 10 pb. Para R8 y R10, la respuesta inicial sigue un patrón en forma de joroba, al llegar a un determinado punto cercano a 50 pb, caen hasta converger a un valor de estado estacionario de cero.

En consecuencia, debido a las fricciones del modelo, R2 o R5, tienen poca ventaja sobre las demás reglas. Por ende, una política monetaria marcada hacia el manejo de la inflación doméstica proyectada mejora notablemente el desempeño de la economía doméstica.

4.3. Estimación posterior

Cuadro 9: Probabilidad posterior del modelo

	$\log \hat{p}(\mathcal{Y}_T \mathbf{M}_R)$	FB	p
Regla 1	18.484	1.00E+00	5.98E-11
Regla 2	-22.105	2.36E-18	1.41E-28
Regla 3	-17.658	2.01E-16	1.20E-26
Regla 4	-11.454	9.95E-14	5.95E-24
Regla 5	-32.856	5.05E-23	3.01E-33
Regla 6	-43.121	1.76E-27	1.05E-37
Regla 7	-34.535	9.42E-24	5.63E-34
Regla 8	41.969	1.58E+10	9.45E-01
Regla 9	38.840	6.92E+08	4.13E-02
Regla 10	37.718	2.25E+08	1.35E-02

La regla que mejor explica el comportamiento del conjunto de variables es R8, que reaccionan al componente rezagado de la tasa de interés nominal, la inflación doméstica, y el tipo de cambio nominal.

El cuadro 9 muestra que la probabilidad marginal logarítmica, el factor de Bayes y la probabilidad posterior claramente favorecen a R8 sobre las demás. R9, que además reacciona a más variables, tiene un mejor ajuste que R10, pero peor que R8.

Existe una diferencia entre R8, R9, y R10, pero esta diferencia no puede aceptarse como evidencia decisiva en favor de una regla sobre la otra. Rabanal y Rubio-Ramírez (2005), mencionan que una característica atractiva del factor Bayes es que encarna una fuerte preferencia por la parsimonia. Se puede considerar además que estos tres factores son demasiado grandes, por lo que la inclusión del tipo de cambio mejora considerablemente el ajuste de la regla en el modelo. Batini y cols. (2009), mencionan que existe un interés intrínseco por ver en que magnitud una economía puede ser estabilizada con la regla más simple, por lo que R8, puede ser un punto de referencia para analizar la economía peruana.

El cuadro 10 muestra los momentos posteriores de los coeficientes de autocorrelación y las desviaciones estándar de los choques. Las cinco últimas columnas presentan la media a priori, la moda posterior, la media posterior, y los intervalos de densidad posterior más altos al 90 % (inferior y superior respectivamente).

En ρ_ξ , ρ_a , ρ_g , y ρ_{R^*} , la media a priori es muy similar a la moda posterior y a la media posterior.

En ρ_{p^*} , la media a priori es ligeramente inferior a sus estimaciones posteriores. Este coeficiente cae fuera de los intervalos de probabilidad al 90 %, por lo tanto, implica una mayor persistencia en el choque del nivel de precios mundial.

Cuadro 10: Estimación R8

Parámetro	Priori	Posterior		Intervalos	
	Media	Moda	Media	Inferior	Superior
ρ_ξ	0.50	0.5007	0.5008	0.4842	0.5174
ρ_a	0.90	0.9055	0.9049	0.8896	0.9194
ρ_g	0.90	0.9001	0.8994	0.8836	0.9161
ρ_{R^*}	0.90	0.8980	0.8972	0.8810	0.9141
ρ_{P^*}	0.95	0.9796	0.9786	0.9716	0.9858
σ_ξ	0.10	0.0788	0.0823	0.0634	0.1006
σ_a	0.40	0.3971	0.3995	0.3702	0.4284
σ_g	0.20	0.1621	0.1639	0.1462	0.1818
σ_{R^*}	0.20	0.1568	0.1587	0.1411	0.1763
σ_{P^*}	1.00	0.9941	0.9953	0.9634	1.0276

En σ_ξ , la media a priori es ligeramente superior a la moda posterior y a la media posterior. Este coeficiente cae dentro de los intervalos de probabilidad al 90 %, muy cerca del límite superior.

En σ_a , la media a priori es muy similar a la moda posterior y a la media posterior.

En σ_g y σ_{R^*} , la media a priori es superior a la moda posterior y a la media posterior. Por lo tanto, implica una baja volatilidad en el choque de preferencias y el choque de tasa de interés internacional. En consecuencia, revela que estas variaciones exógenas son menos importantes para que R8 explique las variaciones en \mathcal{Y}_T .

En σ_{P^*} , la media a priori es muy similar a la moda posterior y a la media posterior. Este coeficiente cae dentro de los intervalos de probabilidad al 90 %, por lo que es estable. Los datos claramente proporcionan soporte para creer que el nivel de precios mundial tiene una mayor volatilidad en comparación a los demás choques. En general para la economía peruana, que está expuesta a choques del precio de materias primas, la volatilidad es alta.

5. Conclusiones

Mis principales hallazgos sugieren que, para una economía pequeña y abierta con fricciones financieras como Perú, una regla basada en el pronóstico de la inflación doméstica, R7, y una regla basada en el tipo de cambio, R8 y R10, funcionan bien al minimizar la función de pérdida. Estas reglas están asociadas con una menor variabilidad en las principales variables analizadas. En contraposición la regla de Taylor que tiene una función de pérdida mayor.

Individualmente, una política monetaria marcada hacia el pronóstico de la inflación doméstica parece bastante robusto ante choques de productividad, preferencias y nivel de precios mundial. En cambio, una política monetaria marcada hacia el manejo del tipo de cambio nominal, parece bastante robusto ante choques de política monetaria y choques de tasa de interés internacional. Si bien la economía peruana tiene un esquema de metas explícitas de inflación, su banco central puede utilizar un conjunto de reglas de política monetaria para cada choque en particular.

Por otro lado, choques internacionales pueden afectar la competitividad e implican movimientos en las tasas de interés a corto y largo plazo domésticas. Se encuentra que, como en los datos a diciembre de 2019, bajo fricciones financieras, un choque negativo de tasa de interés internacional genera una contracción en la economía doméstica, junto

con un aumento de flujo de capitales, así como una caída en el tipo de cambio nominal. Un choque positivo del nivel de precios mundial, genera un estímulo en la economía doméstica, así como un aumento del tipo de cambio nominal. Una respuesta de política monetaria convencional, tiene una menor magnitud en la economía doméstica.

De acuerdo a las simulaciones del modelo, las reglas basadas en el tipo de cambio proporcionan un mejor ajuste. En consecuencia, los parámetros estimados indican que existe una menor volatilidad en tasas de interés internacional y una mayor volatilidad en choque del nivel de precios mundial, por lo que es más probable que las fluctuaciones de los precios de las materia primas tengan una mayor magnitud en la economía doméstica. Concluyo que este modelo puede replicar hechos empíricos clave observados en el ciclo de negocios de la economía doméstica.

6. Recomendación

Desde la perspectiva del modelo, las diferencias entre estas reglas de política monetaria están relacionados con el tamaño de los movimientos de capital y los ajustes del tipo de cambio que inducen. En la mayoría de países de la región, los bancos centrales todavía tienen espacio para relajar la política monetaria por medios convencionales. Si las tasas de interés a corto plazo llegan a su límite inferior, como en la Eurozona y Japón, todavía se puede contar con un instrumento de política monetaria no convencional, entrando al mercado y comprando bonos del gobierno a largo plazo para intentar bajar las tasas de interés a largo plazo.

Otra manera de interpretar los resultados es que el banco central de una pequeña economía abierta que utiliza solo política monetaria convencional puede controlar la volatilidad del tipo de cambio mediante R8 para generar un mayor bienestar. Una regla que incorpora el tipo de cambio puede generar una economía menos volátil a choques externos, lo que puede ocasionar mayor confianza y predictibilidad. En países como Brasil, Chile, Colombia y México las monedas fluctúan constantemente. Pero Perú, que interviene frecuentemente en el mercado cambiario, demuestra tener una moneda más estable frente al dólar. Finalmente se recomienda tener en cuenta el tipo de cambio para evitar ciclos de negocios amplificadas derivados de choques.

A. Derivación del modelo

Familias

El problema de optimización:

$$\max_{\{B_t^c, B_t^l, A_{t+1}, C_t, N_t\}_{t=0}^{\infty}} \mathbb{E}_0 \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t g_t \left\{ \frac{C_t^{1-\sigma} - 1}{1-\sigma} - \frac{N_t^{1+\varphi}}{1+\varphi} \right\} \quad (\text{A.1})$$

Sujeto a:

$$B_t^c + B_t^l + \mathbb{E}_t Q_{t,t+1} A_{t+1} + P_t C_t = R_{t-1} B_{t-1}^c + R_t^l B_{t-1}^l + A_t + W_t N_t + D_t$$

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

$$\lim_{T \rightarrow \infty} \mathbb{E}_t Q_{t,T+1} \{ R_T B_T^c + R_{T+1}^l B_T^l + A_{T+1} \} \quad (\text{A.3})$$

Las condiciones de primer orden:

$$\omega_t + \omega_t \frac{P_t (b^c + b^l)}{B_t^l} \left[\delta \frac{B_t^c}{B_t^l} - 1 \right] + \omega_t \frac{P_t (b^c + b^l)}{B_{t-1}^c} \frac{B_{t-1}^l}{B_t^l} \left[\frac{B_t^c}{B_{t-1}^c} \frac{B_{t-1}^l}{B_t^l} - 1 \right] = \beta \mathbb{E}_t R_t \omega_{t+1}$$

$$+ \beta \mathbb{E}_t \omega_{t+1} \frac{P_{t+1} (b^c + b^l)}{(B_t^c)^2} \frac{B_{t+1}^l}{B_{t+1}^l} \left[\frac{B_{t+1}^c}{B_t^c} \frac{B_t^l}{B_{t+1}^l} - 1 \right] \quad (\text{A.4})$$

$$\omega_t + \omega_t \frac{P_t (b^c + b^l) B_t^c}{(B_t^l)^2} \left[\delta \frac{B_t^c}{B_t^l} - 1 \right] + \omega_t \frac{P_t (b^c + b^l) B_t^c}{B_{t-1}^c} \frac{B_{t-1}^l}{(B_t^l)^2} \left[\frac{B_t^c}{B_{t-1}^c} \frac{B_{t-1}^l}{B_t^l} - 1 \right] = \beta \mathbb{E}_t R_{t+1}^l \omega_{t+1}$$

$$+ \beta \mathbb{E}_t \omega_{t+1} \frac{P_{t+1} (b^c + b^l) B_{t+1}^c}{B_t^c} \frac{B_{t+1}^l}{B_{t+1}^l} \left[\frac{B_{t+1}^c}{B_t^c} \frac{B_t^l}{B_{t+1}^l} - 1 \right] \quad (\text{A.5})$$

$$\mathbb{E}_t \omega_t Q_{t,t+1} = \beta \omega_{t+1} \quad (\text{A.6})$$

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

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

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

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

Las condiciones de primer orden pueden ser escritas en términos reales:

$$\Lambda_t + \Lambda_t \frac{(b^c + b^l)}{b_t^l} \left[\delta \frac{b_t^c}{b_t^l} - 1 \right] + \Lambda_t \frac{(b^c + b^l) b_{t-1}^l}{b_{t-1}^c} \frac{b_{t-1}^l}{b_t^l} \left[\frac{b_t^c}{b_{t-1}^c} \frac{b_{t-1}^l}{b_t^l} - 1 \right] = \beta \mathbb{E}_t R_t \Lambda_{t+1} \pi_{t+1}^{-1}$$

$$+ \beta \mathbb{E}_t \Lambda_{t+1} \frac{(b^c + b^l) b_{t+1}^c}{(b_t^c)^2} \frac{b_t^l}{b_{t+1}^l} \left[\frac{b_{t+1}^c}{b_t^c} \frac{b_t^l}{b_{t+1}^l} - 1 \right] \quad (\text{A.10})$$

$$\Lambda_t + \Lambda_t \frac{(b^c + b^l) b_t^c}{(b_t^l)^2} \left[\delta \frac{b_t^c}{b_t^l} - 1 \right] + \Lambda_t \frac{(b^c + b^l) b_t^c}{b_{t-1}^c} \frac{b_{t-1}^l}{(b_t^l)^2} \left[\frac{b_t^c}{b_{t-1}^c} \frac{b_{t-1}^l}{b_t^l} - 1 \right] = \beta \mathbb{E}_t R_{t+1}^l \Lambda_{t+1} \pi_{t+1}^{-1} + \beta \mathbb{E}_t \Lambda_{t+1} \frac{(b^c + b^l) b_{t+1}^c}{b_t^c} \frac{b_{t+1}^l}{b_{t+1}^l} \left[\frac{b_{t+1}^c}{b_t^c} \frac{b_{t+1}^l}{b_{t+1}^l} - 1 \right] \quad (\text{A.11})$$

$$\mathbb{E}_t \Lambda_t Q_{t,t+1} \pi_{t+1} = \beta \Lambda_{t+1} \quad (\text{A.12})$$

$$g_t C_t^{-\sigma} = \Lambda_t \quad (\text{A.13})$$

$$g_t N_t^\varphi = \Lambda_t \frac{W_t}{P_t} \quad (\text{A.14})$$

Ecuación de Euler para el consumo:

$$g_t C_t^{-\sigma} = \beta \mathbb{E}_t R_t g_{t+1} C_{t+1}^{-\sigma} \pi_{t+1}^{-1} + \beta \mathbb{E}_t g_{t+1} C_{t+1}^{-\sigma} \frac{(b^c + b^l) b_{t+1}^c}{(b_t^c)^2} \frac{b_t^l}{b_{t+1}^l} \left[\frac{b_{t+1}^c}{b_t^c} \frac{b_t^l}{b_{t+1}^l} - 1 \right] - g_t C_t^{-\sigma} \frac{(b^c + b^l)}{b_t^l} \left[\delta \frac{b_t^c}{b_t^l} - 1 \right] - g_t C_t^{-\sigma} \frac{(b^c + b^l) b_{t-1}^l}{b_{t-1}^c b_t^l} \left[\frac{b_t^c}{b_{t-1}^c} \frac{b_{t-1}^l}{b_t^l} - 1 \right] \quad (\text{A.15})$$

Oferta de trabajo:

$$\frac{W_t}{P_t} = C_t^\sigma N_t^\varphi \quad (\text{A.16})$$

A continuación, cada variable con un circunflejo esta expresada en su forma log-lineal. Donde: $b^l(b^c)^{-1} = \delta$, $b^c(b^c + b^l)^{-1} = (1 + \delta)^{-1}$, y $b^l(b^c + b^l)^{-1} = \delta(1 + \delta)^{-1}$.

Ecuación de Euler para el consumo log-lineal:

$$\widehat{c}_t = \mathbb{E}_t \widehat{c}_{t+1} - \frac{1}{\sigma} \left[\widehat{R}_t - \mathbb{E}_t \widehat{\pi}_{t+1} \right] \frac{\delta(1 + \delta)}{\sigma} \left[\widehat{b}_t^c - \widehat{b}_t^l \right] + \frac{(1 + \delta)}{\sigma} \Delta \left[\widehat{b}_t^c - \widehat{b}_t^l \right] - \frac{(1 + \delta)}{\sigma} \beta \mathbb{E}_t \Delta \left[\widehat{b}_{t+1}^c - \widehat{b}_{t+1}^l \right] + \frac{1}{\sigma} (1 - \rho_g) \widehat{g}_t \quad (\text{A.17})$$

Oferta de trabajo log-lineal:

$$\widehat{w}_t - \widehat{p}_t = \sigma \widehat{c}_t + \varphi \widehat{n}_t \quad (\text{A.18})$$

Condición de primer orden para la tenencia de bonos a corto plazo log-lineal:

$$\widehat{\Lambda}_t = \mathbb{E}_t \left[R_t + \widehat{\Lambda}_{t+1} - \widehat{\pi}_{t+1} \right] - \delta(1 + \delta) \left[\widehat{b}_t^c - \widehat{b}_t^l \right] - (1 + \delta) \Delta \left[\widehat{b}_t^c - \widehat{b}_t^l \right] + \beta(1 + \delta) \mathbb{E}_t \Delta \left[\widehat{b}_{t+1}^c - \widehat{b}_{t+1}^l \right] \quad (\text{A.19})$$

Condición de primer orden para la tenencia de bonos a largo plazo log-lineal:

$$\widehat{\Lambda}_t = \mathbb{E}_t \left[\widehat{R}_{t+1}^l + \widehat{\Lambda}_{t+1} - \widehat{\pi}_{t+1} \right] + (1 + \delta) \left[\widehat{b}_t^c - \widehat{b}_t^l \right] + \frac{(1 + \delta)}{\delta} \Delta \left[\widehat{b}_t^c - \widehat{b}_t^l \right] - \beta \frac{(1 + \delta)}{\delta} \mathbb{E}_t \Delta \left[\widehat{b}_{t+1}^c - \widehat{b}_{t+1}^l \right] \quad (\text{A.20})$$

Uniendo las dos ecuaciones previas, llego a la ecuación de la tasa de interés a largo plazo esperada:

$$\mathbb{E}_t \widehat{R}_{t+1}^1 = \widehat{R}_t - (1+\delta) \left[\widehat{b}_t^c - \widehat{b}_t^l \right] - \frac{(1+\delta)}{\delta} \left\{ \Delta \left[\widehat{b}_t^c - \widehat{b}_t^l \right] + \beta \mathbb{E}_t \Delta \left[\widehat{b}_{t+1}^c - \widehat{b}_{t+1}^l \right] \right\} \quad (\text{A.21})$$

La ecuación de Euler puede ser re-escrita:

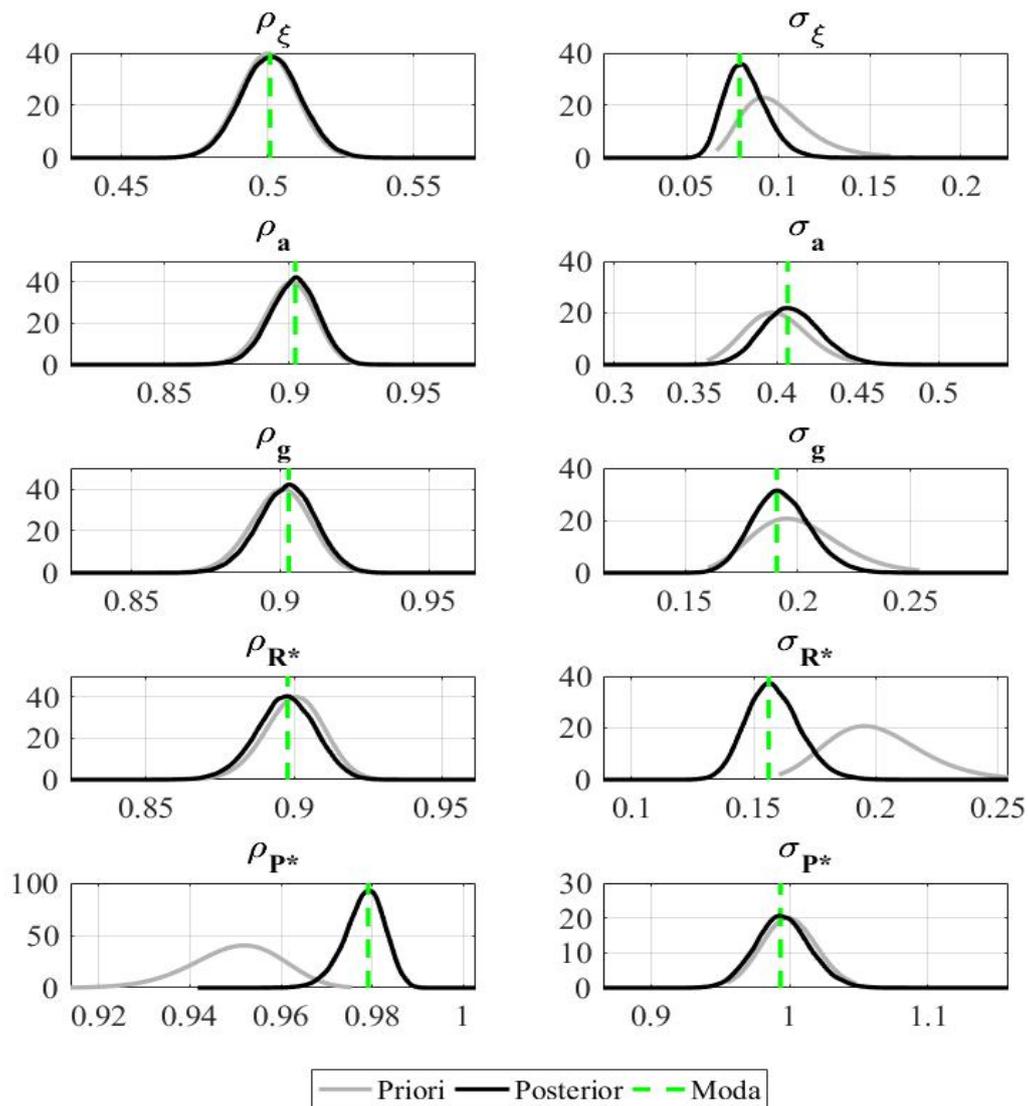
$$\widehat{c}_t = \mathbb{E}_t \widehat{c}_{t+1} - \frac{1}{\sigma} \left[\widehat{R}_t - \mathbb{E}_t \widehat{\pi}_{t+1} \right] + \frac{\delta}{\sigma(1+\delta)} \left[\widehat{R}_t - \mathbb{E}_t \widehat{R}_{t+1}^1 \right] + \frac{1}{\sigma} (1-\rho_g) \widehat{g}_t \quad (\text{A.22})$$

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

B. Distribuciones posteriores

Regla 8

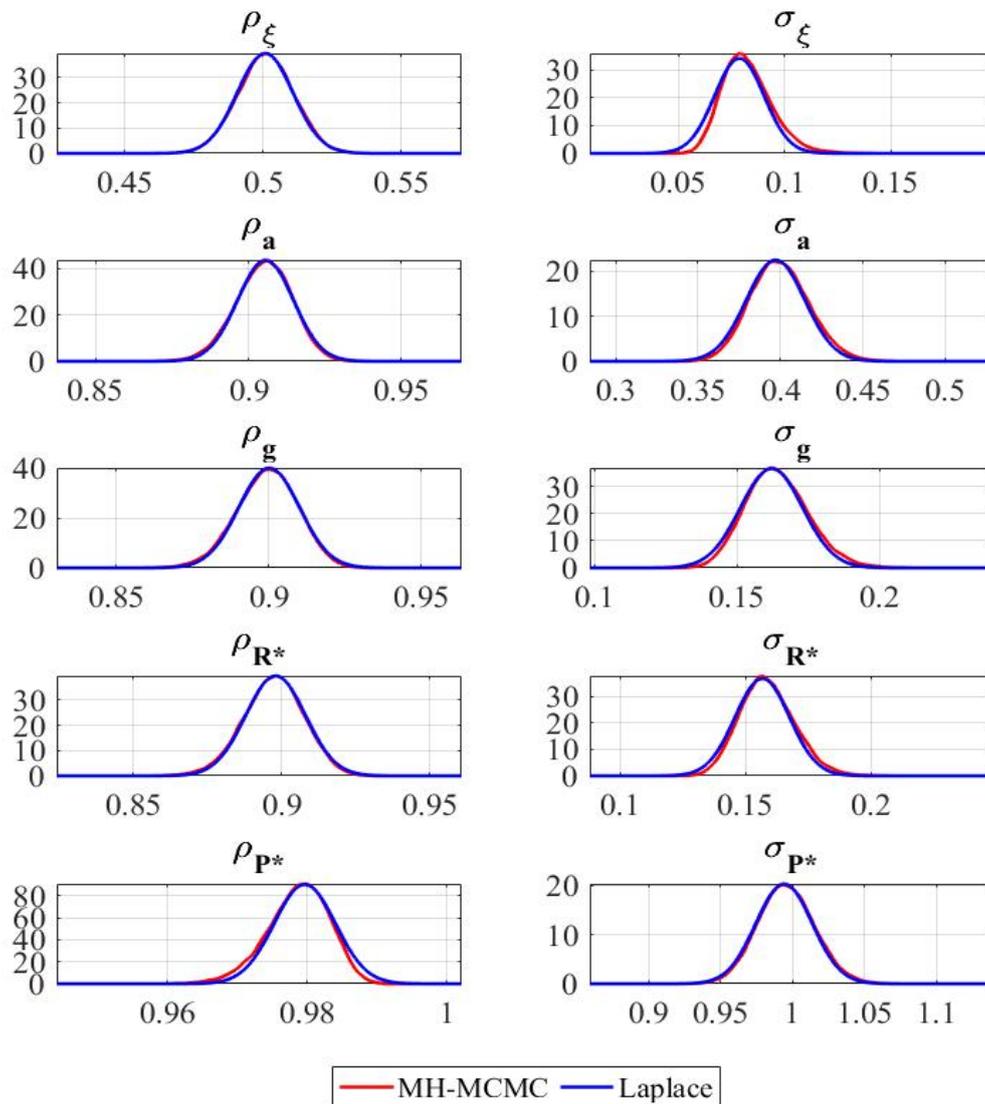
Figura 7: Distribuciones posteriores R8



Comparación entre MH-MCMC y Laplace

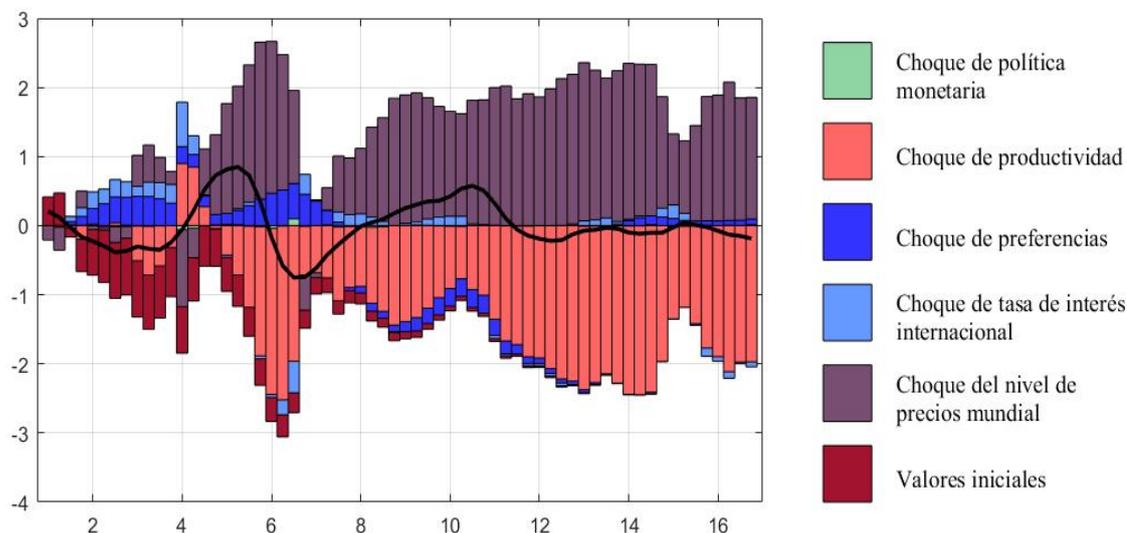
Las distribuciones posteriores pueden ser calculadas por el algoritmo de caminata aleatoria MH-MCMC y la aproximación de Laplace. [Christiano, Trabandt, y Walentin \(2010\)](#), mencionan que el cálculo de la densidad posterior del algoritmo de caminata aleatoria MH-MCMC puede ser muy intensivo y recomiendan utilizar esta aproximación durante las fases temprana e intermedia del proyecto de investigación. Para los parámetros estimados, los resultados de ambos métodos son muy similares.

Figura 8: Comparación entre MH-MCMC y Laplace



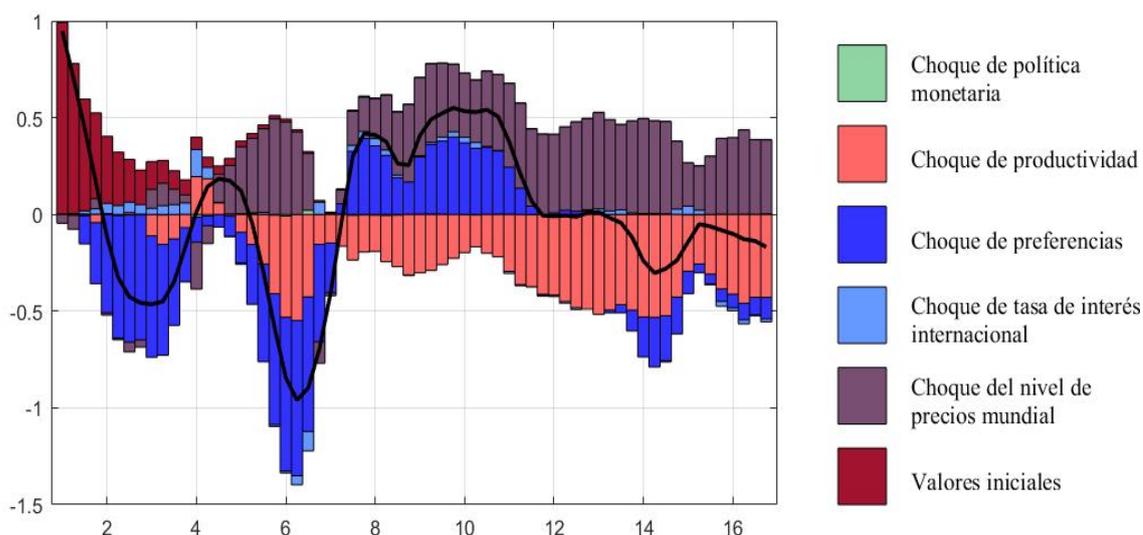
C. Descomposición de los choques

Figura 9: Producto



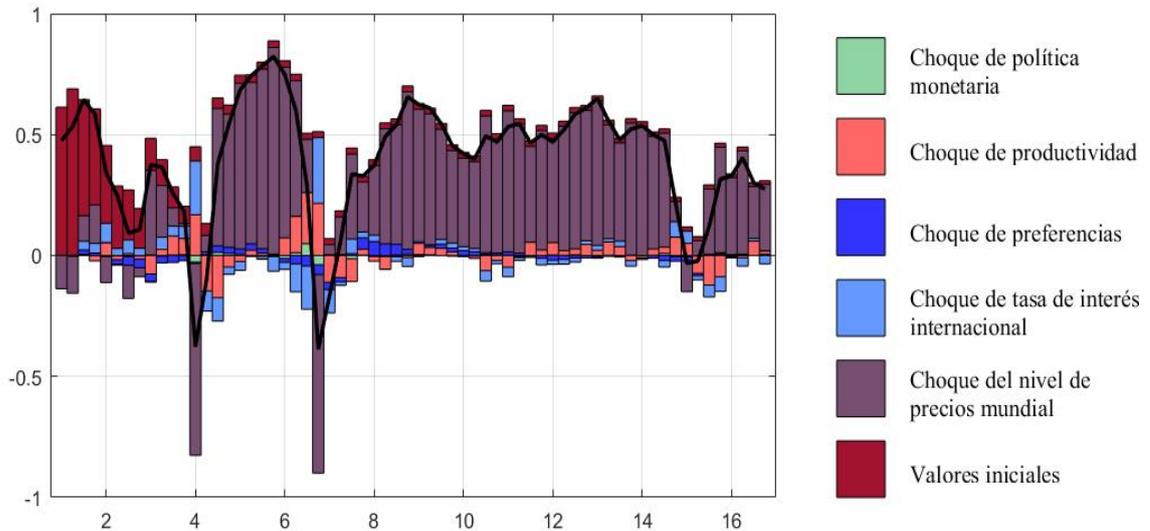
Nota: El producto es el PBI real filtrado mediante Hodrick-Prescott (línea negra). Las barras de color representan la contribución de cada choque a la evolución de la variable. La descomposición de la varianza histórica muestra que el producto sufrió mayormente choques de productividad negativo y choques del nivel de precios mundial positivo a lo largo de su historia reciente.

Figura 10: Consumo



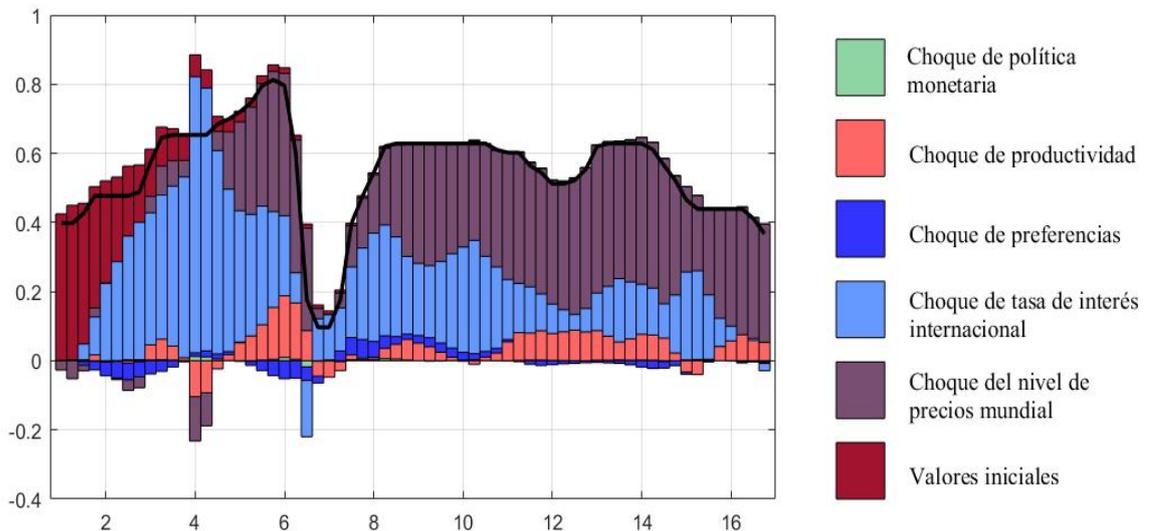
Nota: El consumo es el consumo privado filtrado mediante Hodrick-Prescott (línea negra). La descomposición de la varianza histórica muestra que el consumo sufrió mayormente choques de productividad negativo, choques de preferencias negativo, y choques del nivel de precios mundial positivo a lo largo de su historia reciente.

Figura 11: Inflación



Nota: La inflación representa a la inflación al IPC en el modelo (línea negra). La descomposición de la varianza histórica muestra que la inflación sufrió mayormente choques del nivel de precios mundial positivo a lo largo de su historia reciente. En el primer trimestre de 2007 y cuarto trimestre de 2009, la inflación cae por efectos de factores no subyacentes.

Figura 12: Tasa de política monetaria



Nota: La tasa de política monetaria representa a la tasa de interés nominal en el modelo (línea negra). La descomposición de la varianza histórica muestra que la tasa de política monetaria sufrió mayormente choques de tasa de interés internacional positivo y choques del nivel de precios mundial positivo a lo largo de su historia reciente.

Referencias

- Adjemian, S., Bastani, H., Juillard, M., Karamé, F., Maih, J., Mihoubi, F., . . . Villemot, S. (2011). *Dynare: Reference manual version 4* (Dynare Working Papers n.º 1). CEPREMAP.
- Adler, G., y Tovar, C. E. (2014). Intervenciones en el mercado cambiario y su efecto en el tipo de cambio. *Monetaria, Centro de Estudios Monetarios Latinoamericanos, CEMLA*, 0(1), 1–64.
- Adolfson, M., Laseén, S., Lindé, J., y Villani, M. (2005). *Bayesian estimation of an open economy DSGE model with incomplete pass-through* (Working Papers n.º 179). Sveriges Riskbank.
- An, S., y Schorfheide, F. (2006). *Bayesian analysis of DSGE models* (Working Paper n.º 06-5). Federal Reserve Bank of Philadelphia.
- Andrade, P., Gali, J., Le Bihan, H., y Matheron, J. (2019). *The optimal inflation target and the natural rate of interest* (Working Papers n.º 19-18). Federal Reserve Bank of Boston.
- Andrés, J., López-Salido, J. D., y Nelson, E. (2004). Tobin’s imperfect asset substitution in optimizing general equilibrium. *Journal of Money, Credit and Banking*, 36(4), 665–690.
- Ball, L. (1999). Efficient rules for monetary policy. *International Finance*, 2(1), 63–83.
- 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 n.º 21737). National Bureau of Economic Research.
- Batini, N., y Haldane, A. G. (1998). *Forward-looking rules for monetary policy* (NBER Working Papers n.º 6543). National Bureau of Economic Research.
- Batini, N., Harrison, R., y Millard, S. P. (2003). Monetary policy rules for an open economy. *Journal of Economic Dynamics Control*, 27(11–12), 2059–2094.
- Batini, N., Levine, P., y Pearlman, J. (2009). Estabilización óptima del tipo de cambio en una economía dolarizada con meta inflacionaria. *Revista Estudios Económicos, Banco Central de Reserva del Perú*, 16, 73–82.
- Bergholt, D., Larsen, V. H., y Seneca, M. (2017). *Business cycles in an oil economy* (BIS Working Papers n.º 618). Bank for International Settlements.
- Bhattarai, S., Chatterjee, A., y Park, W. Y. (2015). *Effects of US quantitative easing on emerging market economies* (Globalization Institute Working Papers n.º 255). Federal Reserve Bank of Dallas.
- Buss, G. (2015). *Financial frictions in a DSGE model for Latvia* (Dynare Working Papers n.º 42). CEPREMAP.
- Cabrera, N., Bejarano, E., y Savino, M. (2011). *Preferences of the Central Reserve Bank of Perú and optimal monetary policy rules in the inflation targeting regime* (Working Papers n.º 2011-010). Banco Central de Reservas del Perú.
- Calvo, G. A. (1983). Staggered prices in a utility-maximizing framework. *Journal of Monetary Economics*, 12(3), 383–398.
- Castillo, P., Montoro, C., y Tuesta, V. (2009). *Un modelo de equilibrio general con dolarización para la economía peruana* (Working Papers n.º 2009-003). Banco Central de Reservas del Perú.
- Chen, H., Curdia, V., y Ferrero, A. (2012). *The macroeconomic effects of large-scale asset purchase programs* (Working Papers n.º 2012-22). Federal Reserve Bank of San Francisco.

- Christiano, L. J., Trabandt, M., y Walentin, K. (2010). *DSGE models for monetary policy analysis* (FRB Atlanta CQER Working Paper n.º 2010-02). Federal Reserve Bank of Atlanta.
- Coibion, O., Gorodnichenko, Y., y Wieland, J. (2012). The optimal inflation rate in new Keynesian models: Should central banks raise their inflation targets in light of the zero lower bound? *The Review of Economic Studies*, 79(4), 1371–1406.
- Corsetti, G., Dedola, L., y Leduc, S. (2010). *Optimal monetary policy in open economies* (Working Papers n.º 2010-13). Federal Reserve Bank of San Francisco.
- Farmer, R., y Khramov, V. (2013). *Solving and estimating indeterminate DSGE models* (IMF Working Papers n.º 13/200). International Monetary Fund.
- Fernández-Villaverde, J., y Rubio-Ramírez, J. F. (2004). Comparing dynamic equilibrium models to data: A Bayesian approach. *Journal of Econometrics*, 12(123), 153–187.
- Fuentes-Alberos, C. (2012). *Financial frictions, financial shocks, and aggregate volatility* (Dynare Working Papers n.º 18). CEPREMAP.
- Galí, J. (2015). *Monetary policy, inflation and the business cycle*. Princeton, New Jersey: Princeton University Press.
- Galí, J., y Monacelli, T. (2004). *Monetary policy and exchange rate volatility in a small open economy* (Economics Working Papers n.º 18). Departamento de Economía y Empresa, Universitat Pompeu Fabra.
- Geweke, J. (1998). *Using simulation methods for Bayesian econometric models: Inference, development, and communication* (Research Department Staff Report n.º 249). Federal Reserve Bank of Minneapolis.
- Gregory, A., y Smith, G. W. (1987). *Calibration as estimation* (Queen’s Institute for Economic Research Discussion Papers n.º 275210). Queen’s University.
- Guerrón-Quintana, P. A., y Nason, J. M. (2012). *Bayesian estimation of DSGE models* (Working Papers n.º 12-4). Federal Reserve Bank of Philadelphia.
- Harrison, R. (2012). *Asset purchase policy at the effective lower bound for interest rates* (Working Papers n.º 444). Bank of England.
- Harrison, R. (2017). *Optimal quantitative easing* (Bank of England Working Papers n.º 678). Bank of England.
- Hashimzade, N., y Thornton, M. A. (2013). *Handbook of research methods and applications in empirical macroeconomics*. Northampton, Massachusetts: Edward Elgar Publishing.
- Henderson, D. W., y McKibbin, W. J. (1993). *A comparison of some basic monetary policy regimes for open economies: Implications of different degrees of instrument adjustment and wage persistence* (International Finance Discussion Papers n.º 458). Board of Governors of the Federal Reserve System.
- Kolasa, M., y Rubaszek, M. (2014). *Forecasting with DSGE models with financial frictions* (Dynare Working Papers n.º 40). CEPREMAP.
- Kolasa, M., y Wesolowski, G. (2018). *International spillovers of quantitative easing* (Working Papers n.º 2172). European Central Bank.
- Kuttner, K. (2006). *Can central banks target bond prices?* (NBER Working Papers n.º 12454). National Bureau of Economic Research.
- Laxton, D., Pesenti, P., Juillard, M., y Karam, P. (2006). *Welfare-based monetary policy rules in an estimated DSGE model of the US economy* (Working Papers n.º 613). European Central Bank.
- Lubik, T., y Schorfheide, F. (2005). *A Bayesian look at new open economy macroeconomics* (Economics Working Paper Archive n.º 521). The Johns Hopkins University.

- Miranda-Agrippino, S., Nenova, T., y Rey, H. (2020). *Global footprints of monetary policy* (Discussion Papers n.º 2004). Center for Macroeconomics (CFM).
- Miranda-Agrippino, S., y Rey, H. (2015). *World asset markets and the global financial cycle* (CEPR Discussion Papers n.º 10936). CEPR Discussion Papers.
- Orphanides, A. (2003). *Historical monetary policy analysis and the Taylor rule* (Finance and Economics Discussion Series n.º 2003-36). Board of Governors of the Federal Reserve System.
- Rabanal, P., y Rubio-Ramírez, J. F. (2005). *Comparing new Keynesian models of the business cycle: A Bayesian approach* (Working Papers n.º 2001-22b). Federal Reserve Bank of Atlanta.
- Schorfheide, F. (2000). Loss function-based evaluation of DSGE models. *Journal of Applied Econometrics*, 15(6), 645–670.
- Smets, F., y Wouters, R. (2007). *Shocks and frictions in US business cycles: A Bayesian DSGE approach* (Working Papers n.º 109).
- Taylor, J. B. (1993). Discretion versus policy rules in practice. *Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy*, 39(1), 195–214.
- Uhlig, H. F. (1995). *A toolkit for analyzing nonlinear dynamic stochastic models easily* (Discussion Paper n.º 101). Federal Reserve Bank of Minneapolis.
- Vega, M. (2015). *Monetary policy, financial dollarization and agency costs* (Working Papers n.º 2015-019). Banco Central de Reservas del Perú.
- Woodford, M. (2003). *Interest prices: Foundations of a theory of monetary policy*. Princeton, New Jersey: Princeton University Press.