

Cambio climático y fragilidad del sistema financiero*

Joab Dan Valdivia Coria

Vidal Choque Atto

Angélica Calle Sarmiento

Juan Carlos Carlo Santos

RESUMEN

La importancia de las variables relacionadas con el cambio climático en la economía global se centra en los combustibles fósiles como principal fuente de energía, emitiendo cantidades sustanciales de dióxido de carbono (CO_2) lo que contribuye al cambio climático. La presente investigación desarrolla el primer modelo de Equilibrio General Estocástico Dinámico-Medioambiental para Bolivia, revelando que los incrementos en la producción de energía fósil pueden tener efectos negativos al reducir la eficiencia de la producción y amenazar la estabilidad financiera. Este resultado genera la necesidad de abordar integralmente los impactos económicos del cambio climático y la energía fósil en Bolivia.

Clasificación JEL: Q58, E60, E44

Palabras clave: *Modelo de Equilibrio General Estocástico Dinámico-Medioambiental (E-DSGE), fricciones financieras, emisiones de carbono, estimación bayesiana*

* Las conclusiones, opiniones y puntos de vista expresados en este documento son de exclusiva responsabilidad del autor.

Climate change and financial system fragility*

Joab Dan Valdivia Coria
Vidal Choque Atto

Angélica Calle Sarmiento
Juan Carlos Carlo Santos

ABSTRACT

The importance of climate change-related variables in the global economy focuses on fossil fuels as the main source of energy, which emit significant amounts of carbon dioxide (CO_2) contributing to climate change. This research develops the first environmental dynamic stochastic general equilibrium model for Bolivia, which shows that increasing fossil energy production can have negative effects by reducing production efficiency and threatening financial stability. This finding highlights the need to comprehensively address the economic impacts of climate change and fossil energy in Bolivia.

JEL Classification: *Q58, E60, E44*

Keywords: *Environmental Dynamic-Dynamic Stochastic General Equilibrium General Equilibrium (E-DSGE), financial frictions, carbon emissions, Bayesian estimation*

* The contents of this document are the responsibility of the authors and do not compromise the opinion of the Banco Central de Bolivia.

I. Introducción

La influencia de las variables relacionadas con el cambio climático en la economía global ha adquirido una importancia cada vez mayor en la agenda mundial. Uno de los factores cruciales que contribuyen al cambio climático es la utilización de combustibles fósiles, como el carbón, el petróleo y el gas natural, que representan la principal fuente de energía a nivel mundial. La quema de estos combustibles libera considerables cantidades de dióxido de carbono (CO_2) a la atmósfera, un gas de efecto invernadero ampliamente reconocido por su contribución al cambio climático.

Las consecuencias del cambio climático son multifacéticas y complejas, impactando no solo en los aspectos medioambientales, sino también en el desarrollo económico y financiero de las naciones. Entre los efectos más destacados se incluyen la disminución de la productividad, especialmente en el sector agrícola; los crecientes costos de adaptación que las empresas deben afrontar para mitigar los efectos del cambio climático; los mayores costos de mitigación que implican inversiones en tecnologías y prácticas destinadas a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero; y los impactos financieros significativos debido a los desastres naturales relacionados con el cambio climático que afectan tanto a las finanzas públicas como privadas.

El presente estudio tiene como objetivo principal desarrollar el primer modelo de Equilibrio General Estocástico Dinámico-Medioambiental (E-DSGE, por sus siglas en inglés) específico para Bolivia. Este enfoque permite analizar de manera integral los efectos del cambio climático en diversas variables macroeconómicas, así como en el sector real y financiero de la economía boliviana.

Los datos observados, hasta ahora, han revelado patrones notables en la relación entre las emisiones de CO_2 en Bolivia y el crecimiento del Producto Interno Bruto (PIB). Ambas variables muestran una sincronidad significativa, con una correlación de 0,5, lo que sugiere una estrecha interconexión entre la tasa de crecimiento del PIB y las emisiones de CO_2 .

El modelo E-DSGE se basa en investigaciones previas, principalmente en los trabajos de Niu et al. (2018) y Valdivia (2022). Los resultados de este modelo indican que los *shocks* positivos en la producción de energía fósil, es decir, el aumento en la producción de esta fuente de energía, pueden tener un impacto adverso en la economía. Estos efectos se manifiestan a través de la reducción

de la eficiencia de la producción, debido a las altas emisiones de CO_2 asociadas a la energía fósil. Al contraerse la actividad real, incrementa el riesgo sistémico de la economía, afectando la calidad de la cartera de créditos y depósitos. Una menor actividad económica genera un menor ritmo de crecimiento de ambas variables

Por otro lado, los *shocks* positivos en la producción de energía fósil amenazan la estabilidad financiera, ya que las instituciones financieras suelen tener inversiones en activos relacionados con el carbono; ante este escenario es posible una devaluación de estos activos, lo que pondría estrés a los resultados financieros de estas instituciones. Asimismo, estos *shocks* pueden aumentar el riesgo de desastres naturales, lo que puede provocar un aumento del número de reclamaciones de seguros, afectando la estabilidad financiera de las aseguradoras, ya que pueden verse obligadas a pagar más indemnizaciones.

En resumen, este estudio subraya la importancia de considerar los impactos económicos del cambio climático y, en particular, los relacionados con la energía fósil, en la economía boliviana. Los resultados proporcionados por el modelo E-DSGE resaltan la necesidad de abordar estas cuestiones de manera integral y de implementar estrategias que promuevan la sostenibilidad ambiental y económica en el contexto de Bolivia y a nivel global.

II. Revisión de literatura

La creciente preocupación por las consecuencias del aumento de dióxido de carbono (CO_2) en la atmósfera y su impacto en el cambio climático ha impulsado una serie de investigaciones que exploran las implicaciones económicas de esta problemática. Diversos estudios evidencian cómo las emisiones de CO_2 derivadas del uso de energía fósil pueden tener efectos significativos en el crecimiento económico y en la estabilidad del sistema financiero.

En esta línea, uno de los estudios más citados en la literatura es la de Golozov et al. (2011), los cuales plantean un modelo (DSGE) con una externalidad por cambio climático derivada del uso de energía fósil, muestran una derivación analítica del daño marginal de externalidad de las emisiones. La expresión encontrada revela que el daño al PIB se debe a tres factores: (i) el descuento, (ii) la elasticidad esperada del daño (disminuciones en puntos porcentuales de la producción por una unidad extra de carbono en la atmósfera), y (iii) la estructura de la depreciación del carbono en la atmósfera. El estudio demostró que el impuesto óptimo *à la* Pigou sobre el carbono es igual al daño marginal de las emisiones. Esto significa que el gobierno puede utilizar el impuesto para

internalizar la externalidad y reducir el daño al PIB. Asimismo, muestran que los impuestos óptimos dependen de las expectativas y de la posible resolución de la incertidumbre sobre los daños futuros. Por ejemplo, si las expectativas de los agentes económicos sobre el daño futuro son bajas, el impuesto óptimo será menor.

Por su parte, Espinoza y Fornero (2014) estudian el caso chileno al que introducen una externalidad negativa por la quema de combustibles fósiles en un DSGE. Muestran que esta externalidad genera CO_2 que se libera en la atmósfera, provocando un aumento significativo de la temperatura, causando daños al medio ambiente. Con base a otros estudios evidencian que, de mantenerse esta tendencia, en 2100 las pérdidas podrían alcanzar hasta el 1,1% del PIB anual. El diseño de impuesto pigouviano sobre las emisiones de carbono, al internalizar estos daños, podría reducir los daños ambientales. No obstante, las ganancias en bienestar resultan ser marginales. La efectividad de la aplicación del impuesto óptimo alcanza aproximadamente el 10% del potencial para Chile.

A su vez, Niu et al. (2018) desarrollaron un modelo de equilibrio general dinámico estocástico (DSGE) energético-ambiental-económico con cinco sectores: hogares, energía, gobierno, bienes finales y medio ambiente. El objetivo del estudio fue la evaluación de los impuestos medioambientales en la estructura energética de China. Entre sus resultados, se muestra que los impuestos medioambientales se correlacionan con la proporción de energía fósil respecto al consumo total de energía; asimismo, los *shocks* en los impuestos medioambientales reducen las emisiones de carbono. De este modo, este tipo de impuestos mejorarían la estructura energética fomentando la introducción de energías limpias en el mercado y reduciendo el uso de energías fósiles.

Del mismo modo, Carattini et al. (2021) desarrollaron un DSGE para una economía caracterizada por una externalidad climática y fricciones financieras. El modelo aborda las cuestiones del riesgo de transición y del diseño eficiente de políticas macroprudenciales y climáticas a largo plazo. Entre sus hallazgos, se encuentra que un buen diseño de una política económica en conjunto, macroprudencial y climática, puede reducir el riesgo de una recesión y apoyar un crecimiento económico sostenido. La política macroprudencial, por sí sola, sin un impuesto sobre el carbono, no es muy eficaz para hacer frente a la externalidad de la contaminación, por lo que los impuestos medioambientales, las subvenciones por contaminación y otras sanciones e incentivos estimulan a las empresas a participar en el control de la contaminación medioambiental mediante la creación de “incentivos internos” y “restricciones externas”.

Siguiendo esa misma línea, Fan et al. (2021), construyen un marco teórico que incluye la acumulación de contaminación. En el modelo estructural simulan los efectos de la reducción del CO_2 bajo tres esquemas: i) en ausencia de una política de regulación medioambiental, las empresas no incorporarán el costo social de las emisiones de carbono en sus propios costos de producción y no tendrían incentivos para controlar la contaminación, ii) bajo la aplicación de una política fiscal medioambiental, las empresas invierten más en el control de la contaminación, ya que el costo de las sanciones para las empresas aumenta rápidamente a medida que sube el tipo impositivo medioambiental y se genera un impacto negativo sobre la contaminación empresarial y iii) una combinación de la política fiscal, impuestos y subvenciones, tiene un mejor efecto sobre la reducción de la contaminación y el crecimiento económico, ya que las empresas pueden controlar la contaminación medioambiental a un menor costo, por tanto, el impacto negativo de la contaminación medioambiental sobre la producción económica es menor.

Respecto al diseño de modelos DSGE, Busato et al. (2021) exploran cómo las preferencias medioambientales de los consumidores podrían afectar a la economía al considerar dos clases de bienes: verdes y sucios. En el modelo incorporan un *shock* “Greta Thunberg” que afecta a las actitudes sostenibles de los consumidores. Los resultados muestran que la conciencia medioambiental desempeña un papel importante en la reducción de las emisiones de carbono. El efecto Greta Thunberg ralentiza la producción y la inversión agregada y un *shock* de preferencias ecológicas contribuye, significativamente, a la volatilidad de la economía; este último resultado muestra que entre el 15% y 29% de las volatilidades del consumo, la inversión y el trabajo, a nivel agregado, se explica por las preferencias ecológicas.

A su vez, Tu et al. (2022) analizan el efecto del impuesto sobre las emisiones de carbono en los sistemas medioambientales y económicos en China. En el mismo sentido del estudio previo emplearon un DSGE; construyeron un escenario con impuesto sobre las emisiones de carbono y, otro, sin su incorporación. Los resultados muestran que, un impuesto sobre las emisiones de carbono aumenta la calidad medioambiental, pero disminuye la producción y el consumo. Es decir, si bien existe un efecto positivo en el sistema medioambiental, también se genera una ralentización del crecimiento económico.

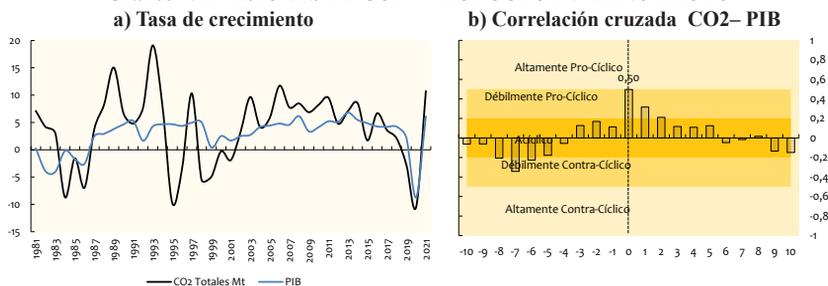
El trabajo más reciente respecto al cambio climático y sus efectos en el sistema financiero lo realizan Annicchiarico et al. (2023). Los autores incorporan, a un modelo DSGE, externalidades medioambientales y problemas de agencia

asociados a la intermediación financiera. La estructura comprende empresas contaminantes heterogéneas que piden préstamos a los bancos con la probabilidad de incumplimiento de pago. Los resultados muestran que las distorsiones del mercado financiero afectan fuertemente al rendimiento de la política climática a lo largo del ciclo económico. El costo del bienestar de los ciclos económicos es sustancialmente menor con un sistema de comercio de derechos de emisión que con un impuesto sobre el carbono. Sin embargo, la diferencia en los costos de bienestar se reduce significativamente en presencia de normas simples de política macroprudencial que debilitan la fuerza de las distorsiones del mercado financiero. Estas políticas pueden contribuir, en gran medida, a suavizar las fluctuaciones del ciclo económico y alinear el rendimiento de las políticas de contaminación de precios y cantidades, reduciendo la incertidumbre inherente a la herramienta de política climática elegida por el gobierno.

Para el caso de Bolivia, no existe literatura que explore los efectos del cambio climático sobre el sistema financiero de Bolivia, por esta razón el presente estudio se considera uno de los trabajos pioneros en abordar esta temática. No obstante, se tomó como base principal los modelos propuestos por Niu et al. (2018), Carattini et al. (2021), Valdivia (2022) y Annicchiarico et al. (2023) para la construcción del primer modelo de equilibrio general estocástico dinámico-medioambiental (E-DSGE, por sus siglas en inglés) para la economía boliviana.

III. Hechos estilizados

La tasa de crecimiento de las emisiones de CO_2 de Bolivia presenta un mismo patrón de comportamiento, en términos de tendencia, respecto a la tasa de crecimiento del PIB; no obstante, la correlación cruzada indica que las variables son sincrónicas y presentan una asociación de 0,5, lo que significa que está en el límite superior de la relación débilmente pro-cíclica pasando a altamente pro-cíclica (Gráfico 1). Este resultado, se debe a la mayor volatilidad que presentan las emisiones de CO_2 .

Gráfico 1: EMISIONES DE CO2 Y PRODUCTO INTERNO BRUTO

Fuente: Banco Mundial e Instituto Nacional de Estadística

Nota: Los umbrales de las correlaciones cruzadas se obtuvieron con base en Argandoña et al. (1997).

Como se mencionó previamente, las emisiones principales de gases de efecto invernadero que provocan el cambio climático son el dióxido de carbono y el metano. Piepenstock y Maldonado (2010) muestran que, en Bolivia, el metano (CH₄) representa el 50% de las emisiones y el óxido nitroso (N₂O), el 25%. Las principales fuentes de estas emisiones son la agricultura, la ganadería y la aplicación de fertilizantes nitrogenados. Estos datos demuestran que la forestería y la agricultura tienen un alto potencial para mitigar y adaptarse al cambio climático. Por ejemplo, la agricultura puede reducir las emisiones de metano mejorando la gestión del estiércol y las prácticas agrícolas y la forestería puede absorber CO₂ de la atmósfera.

IV. Modelo

El presente modelo E-DSGE está con base al trabajo Valdivia (2022) y gran parte de la modelación de emisiones de carbono tiene como fundamentos el modelo Niu et al. (2018). El modelo está descrito en tiempo discreto con tres agentes: hogares, empresarios y bancos. Los hogares consumen, trabajan y pueden adquirir bienes inmuebles. Los empresarios acumulan bienes inmuebles, contratan a los hogares y piden préstamos a los bancos y la intermediación de los fondos lo realiza el banco. La modelación de las emisiones de CO₂ contempla un sector energético, un sector de bienes finales y un sector medioambiental, este último describirá el comportamiento dinámico de contaminación ambiental.

Hogares

Los hogares están indexados por j . Cada individuo maximiza una función de utilidad, eligiendo una senda óptima de consumo ($C_{H,t}$), oferta laboral (N_t) y demanda de vivienda ($h_{H,t}$)¹.

$$\max_{C_{H,t}, N_t, D_t, h_{H,t}} E_t \left\{ \sum_{t=0}^{\infty} \beta_H^t \left[\log C_{H,t} + \gamma^h \log h_{H,t} - \gamma^N \varepsilon_{N,t} \frac{N_t^{1+\eta} + 1}{1 + \eta} \right] \right\}$$

donde $\beta_H \in (0, 1)$ es la tasa subjetiva de descuento de los hogares, η es la inversa de la elasticidad de la oferta laboral de Frish (elasticidad del trabajo con respecto al salario real), γ^h es el parámetro que mide la preferencia respecto a de vivienda y γ^N es la valoración de los hogares que asigna al ocio en función de su utilidad. El agente representativo enfrenta $\forall t$ las siguientes restricciones:

$$C_{H,t} + D_t + P_{h,t} I_{H,t} = W_t N_t + i_{t-1}^D D_{t-1} + \epsilon_{B,t}$$

$$h_{H,t} = h_{H,t-1} + I_{H,t}$$

donde $P_{h,t}$ es una agregación de los precios de la vivienda, $I_{H,t}$ es la inversión en vivienda que realizan los hogares, W_t es el salario, D_t son los depósitos y i_t^D es la tasa de interés pasiva. El término $\epsilon_{B,t}$ es un choque de redistribución que transfiere riqueza del banco al hogar; el mismo choque, con signo contrario, se encuentra en la restricción presupuestaria del banco representativo.

Las condiciones de primer orden para el consumo, demanda de vivienda y oferta laboral son:

$$C_{H,t}^{-1} = \beta_H i_t^D E_t C_{H,t+1}^{-1} \quad (1)$$

$$h_{H,t}^{-1} = C_{H,t}^{-1} P_{h,t} - \beta_H E_t C_{H,t+1}^{-1} P_{h,t+1} \quad (2)$$

$$\gamma^N \varepsilon_{N,t} N_t^\eta = W_t C_{H,t}^{-1} \quad (3)$$

1 La agregación del consumo, oferta laboral y de demanda de vivienda inserta en la función de utilidad de los hogares indexados en esta economía es: $c_{H,t} = \left(\int_0^1 c_{H,t}(j) \frac{e^{c_{H,t}}}{e^{c_{H,t}}} dj \right)^{\frac{1}{e^{c_{H,t}}}}$, $N_t = \left(\int_0^1 N_t(j) \frac{e^{N_t}}{e^{N_t}} dj \right)^{\frac{1}{e^{N_t}}}$ y $h_{H,t} = \left(\int_0^1 h_{H,t}(j) \frac{e^{h_{H,t}}}{e^{h_{H,t}}} dj \right)^{\frac{1}{e^{h_{H,t}}}}$, respectivamente. ε^{C_H} , ε^N y ε^{h_H} son elasticidades de sustitución: de la canasta de consumo de los hogares, entre los diferentes trabajos del mercado laboral y de la preferencia de la vivienda.

Empresarios

El empresario representativo obtiene utilidad solo de su consumo ($C_{E,t}$) y resuelve el siguiente problema²:

$$\max_{C_{E,t}, N_t, L_{t+1}, h_{E,t}} E_t \left\{ \sum_{t=0}^{\infty} \beta_E^t (\log C_{E,t}) \right\}$$

sujeto a:

$$C_{E,t} + P_{h,t} I_{E,t} + (i_t^L)^{-1} L_{t-1} = Y_t + L_t$$

$$h_{E,t} = h_{E,t-1} + I_{E,t}$$

$$(i_t^L)^{-1} L_t \leq LTV_t E_t (P_{h,t+1} h_{E,t})$$

donde $\beta_E \in (0, 1)$ es la tasa subjetiva de descuento de los empresarios, $I_{H,t}$ es la inversión en vivienda que realizan los empresarios, L_t son los créditos asignados por los bancos, i_t^L es la tasa de interés activa, $h_{E,t}$ es la acumulación de vivienda, Y_t es la producción y LTV_t es el *loan to value* (LTV, apalancamiento) que sigue un proceso auto-regresivo AR(1) con innovaciones estocásticas i.i.d. $N(0, \vartheta^2)$. El lado derecho de las restricciones de colateral ($(i_t^L)^{-1} L_t$) debe ser inferior o igual a los valores esperados de la garantía, donde $h_{E,t}$ es el *stock* de vivienda del empresario y $P_{h,t+1}$ su precio relacionado (Kiyotaki y Moore, 1997). En tanto que Gerali et al. (2010) describen esta restricción de endeudamiento como el valor esperado del *stock* de vivienda colateralizable en el periodo inicial “ t ” mismo que debe ser suficiente para garantizar, a los prestamistas, la devolución de la deuda. En una perspectiva similar, Gambacorta y Signoretti (2013) explican que el *Loan-to-Value ratio* (LTV) es una medida que representa la relación entre la cantidad de préstamos otorgados y el valor presente de los activos de los empresarios en el próximo período.

Las condiciones de primer orden de los empresarios para el consumo y vivienda son:

$$C_{E,t}^{-1} \left(1 + \frac{P_{h,t}}{LTV_t E_t P_{h,t+1}} \right) = \beta_E i_t^L E_t C_{E,t+1}^{-1} \quad (4)$$

2 La agregación del consumo en la función de utilidad de los empresarios indexados es:

$C_{E,t} = \left(\int_0^1 C_{E,t}(j)^{\frac{\varepsilon_E - 1}{\varepsilon_E}} dj \right)^{\frac{\varepsilon_E}{\varepsilon_E - 1}}$ y ε_E es la elasticidad de sustitución del *set* de la canasta de consumo de los empresarios.

$$h_{E,t} = \frac{C_{E,t}^{-1} \alpha Y_t}{\beta_E E_t C_{E,t+1}^{-1} P_{h,t+1}} \quad (5)$$

Bancos

Por su parte, el banco representativo resuelve el siguiente problema³:

$$\max_{C_{B,t}, D_t, L_t} E_t \left\{ \sum_{t=0}^{\infty} \beta_B^t (\log C_{B,t}) \right\}$$

sujeto a:

$$C_{B,t} + i_{t-1}^D D_{t-1} + L_t = D_t + i_t^L L_{t-1} - \epsilon_{B,t}$$

donde $\beta_B \in (0, 1)$ es la tasa subjetiva de descuento de los bancos, $C_{B,t}$ es el consumo privado del banco representativo. Esta formulación del banco representativo es equivalente a la maximización de una función convexa de dividendos; además que $C_{B,t}$ puede reinterpretarse como el ingreso residual después del pago de interés de los depósitos y cuando los créditos hayan sido desembolsados, es decir, es un *proxy* del margen financiero. El término $\epsilon_{B,t}$ es el choque de redistribución que transfiere recursos del banco al hogar.

El capital bancario, al principio del periodo, está determinado por $K_{B,t} = L_t - D_t - E_t \epsilon_{B,t+1}$; esta relación se da antes de que se produzcan las pérdidas de los préstamos causadas por los *shocks* de redistribución. Esta restricción de adecuación del capital puede reinterpretarse como una restricción de préstamo estándar, periodos posteriores al inicial, es decir:

$$D_t = \gamma^E (L_t - E_t \epsilon_{B,t+1})$$

En cuanto a γ^E , que refleja la relación entre los pasivos y los activos del banco, la parte izquierda de la ecuación anterior representa los pasivos del banco (D_t), mientras que la parte derecha engloba los activos bancarios que pueden fungir como colateral después de considerar las pérdidas esperadas. Las condiciones de primer orden de los bancos con respecto a los depósitos y créditos son las siguientes:

3 La agregación del consumo en la función de utilidad de los bancos indexados es:

$$C_{B,t} = \left(\int_0^1 C_{B,t}(j)^{\frac{\epsilon_{CB}-1}{\epsilon_{CB}}} dj \right)^{\frac{\epsilon_{CB}}{\epsilon_{CB}-1}} \quad \text{y } \epsilon_{CB} \text{ es la elasticidad de sustitución del set de la canasta de consumo de los bancos.}$$

$$C_{B,t}^{-1} = \beta_B E_t C_{B,t+1}^{-1} \left(i_t^D - \frac{1}{\gamma^E} \right) \quad (6)$$

$$C_{B,t}^{-1} = \beta_B E_t C_{B,t+1}^{-1} (i_{t+1}^L - 1) \quad (7)$$

Las ecuaciones de Euler tienen diferentes pagos de retorno en el equilibrio, dado que i_t^D , en estado estacionario, se determina en el problema de maximización de los hogares e i_t^L en el problema de maximización de los empresarios. En cambio, cuando γ^E disminuye el valor de la liquidez disponible para los préstamos también lo hace, lo que conlleva a pagar una rentabilidad superior al costo de los depósitos.

Sector energético

El sector energético es un eslabón intermedio entre los hogares y el sector de bienes finales, tomando como referencia el análisis de Fan et al. (2016) y Niu et al. (2018). Este sector se encarga de generar, tanto energía fósil como energía limpia, mediante la inversión de capital proveniente de los hogares. Estas formas de energía se utilizan como insumos en la producción de bienes finales. La función de producción del sector energético es:

$$E_t = A_{E,t} K_{E,t}^{\gamma^e}$$

donde γ^e es la elasticidad del capital del sector energético respecto a la producción de energía (E_t). El capital de este sector está descrito por $K_{E,t}$ y la productividad de este sector es $A_{E,t}$, el cual sigue un proceso autorregresivo AR(1).

La maximización de beneficios se da por $\Pi_{E,t} = p_{E,t} E_t - Z_{E,t} K_{E,t}$; donde $p_{E,t}$ es precio de la energía y $\Pi_{E,t}$ son los beneficios obtenidos en el tiempo t . La condición de primer orden del sector eléctrico es:

$$Z_{E,t} = \gamma^e \frac{p_{E,t} E_t}{K_{E,t}} \quad (8)$$

Productor de bienes finales

El productor de bienes finales elige $\{N_t, E_t, K_t\}$ para obtener el máximo beneficio. Por lo tanto, la función de beneficios del sector viene dada por:

$$\Pi_t = Y_t - p_{E,t} E_t - W_t N_t - Z_t K_t - CO_{2t}$$

La restricción a la que se enfrenta $\forall t$ viene descrita por una función de producción Cobb Douglas, $Y_t = A_t K_t^{\alpha_1} N_t^{\alpha_2} E_t^{1-\alpha_1-\alpha_2}$. Además, este sector

también produce emisiones de carbono en el proceso de producción (CO_{2t}). Por lo tanto, establecemos una función de emisión de carbono basada en la función de emisión de contaminación desarrollada por Fan et al. (2016):

$$CO_{2t} = d_2 F_t E_t$$

donde d_2 es un coeficiente de la función de emisión de carbono, y F_t es la proporción de energía fósil en el uso total de energía, esta última variable sigue un proceso autorregresivo AR(1).

Las condiciones de primer orden del productor de bienes finales son:

$$Z_t = \alpha_1 \frac{Y_t}{K_t} \quad (9)$$

$$W_t = \alpha_2 \frac{Y_t}{N_t} \quad (10)$$

$$p_{E,t} + d_2 F_t = (1 - \alpha_1 - \alpha_2) \frac{Y_t}{E_t} \quad (11)$$

Sector medioambiental

Para analizar el impacto dinámico de la tecnología medioambiental en la reducción de las emisiones de carbono y el desarrollo con bajas emisiones se construyó una ecuación dinámica del desarrollo con bajas emisiones de carbono basada en Angelopoulos et al. (2010) y Niu et al. (2018):

$$Q_t = \rho_Q Q_{t-1} - CO_{2t} \quad (12)$$

Para Tu et al. (2022) esta expresión mide la evolución de la calidad medioambiental; donde Q_t es el desarrollo de bajas emisiones de carbono de la economía y ρ_Q es la sostenibilidad del desarrollo con bajas emisiones de carbono de la economía o, interpretado de otro modo, se denomina la tasa de sostenibilidad de la calidad ambiental.

Por otro lado, con base a los resultados de Heutel (2011), el proceso de acumulación dinámica de las emisiones de carbono satisface la siguiente ecuación:

$$\Omega_t = \rho_\Omega \Omega_{t-1} + CO_{2t} \quad (13)$$

donde Ω_t son las emisiones de carbono acumuladas y ρ_Ω es el coeficiente de atenuación de las emisiones de carbono acumuladas, la inversa de este parámetro puede interpretarse como el coeficiente de descomposición de la contaminación ambiental (Fan et al. 2021).

En línea con Annicchiarico et al. (2023) la variable A_t en la restricción del productor de bienes finales mide la productividad, pero está afectada, negativamente, por la contaminación ambiental.

$$A_t = \bar{A}_t [1 - D_t(\Omega_t)]$$

donde \bar{A}_t sigue un proceso exógeno AR(1) y la función D_t se refiere a una función de daños que depende de las emisiones de carbono acumuladas Ω_t . Esta función capta la externalidad negativa de la contaminación que motiva la regulación medioambiental. La modelación de la función de daño sigue la ecuación planteada por Golosov et al. (2011)

$$[1 - D_t(\Omega_t)] = \exp[-\chi(\Omega_t - \bar{\Omega})]$$

donde $\chi > 0$ es un parámetro de daño que mide la intensidad de la externalidad medioambiental negativa o, análogamente, es la fracción de producción pérdida por cada unidad extra de contaminación y $\bar{\Omega}$ es la concentración atmosférica preindustrial de CO_2 .

Condiciones de vaciado del mercado

El producto, en el modelo, será la suma del consumo de los hogares, empresarios y bancos.

$$Y_t = C_{H,t} + C_{E,t} + C_{B,t} \quad (14)$$

Definición de equilibrio competitivo

Todas las ecuaciones (log-lineales) en el equilibrio competitivo Walrasiano se definen en el siguiente sistema de ecuaciones⁴:

$$\left\{ \begin{array}{l} \hat{C}_{H,t}, \hat{N}_t, \hat{W}_t, \hat{h}_{H,t}, \hat{I}_{H,t}, \hat{i}_t^D, \hat{P}_{h,t}, \hat{D}_t, \hat{Y}_t, \hat{C}_{E,t}, \hat{h}_{E,t}, \hat{LTV}_t, \hat{I}_{E,t}, \hat{A}_t, \hat{i}_t^L, \hat{L}_t, \hat{C}_{B,t} \\ \epsilon_{B,t}, \hat{K}_{E,t}, \hat{p}_{E,t}, \hat{Z}_{E,t}, \hat{Z}_t, \hat{K}_t, \hat{CO}_{2t}, \hat{F}_t, \hat{Q}_t, \hat{E}_t, \hat{A}_{E,t}, \hat{\Omega}_t, \hat{D}_t(\hat{\Omega}_t) \end{array} \right\}_t^\infty$$

4 La obtención de las condiciones de primer orden y la log-linealización de las ecuaciones se encuentran en el Apéndice C.

Los procesos estocásticos son *i. i. d.* $N(0, \vartheta^2)$:

$$\{\hat{\varepsilon}_{\bar{A},t}, \hat{\varepsilon}_{LTV,t}, \hat{\varepsilon}_{N,t}, \hat{\varepsilon}_{H,t}, \hat{\varepsilon}_{E,t}, \hat{\varepsilon}_{B,t}, \hat{\varepsilon}_{A_E,t}, \hat{\varepsilon}_{F,t}\}_t^\infty$$

Ecuaciones

$$\eta \hat{N}_t + \hat{C}_{H,t} + \hat{\varepsilon}_{N,t} = \hat{W}_t \quad (1)$$

$$\hat{C}_{H,t} = E_t \hat{C}_{H,t+1} - \hat{i}_t^D - (\hat{\varepsilon}_{H,t+1} - \hat{\varepsilon}_{H,t}) \quad (2)$$

$$\hat{h}_{H,t} = \hat{C}_{H,t} - \frac{\beta_H}{(1 - \beta_H)} \hat{i}_t^D + \frac{1}{(1 - \beta_H)} (\beta_H \hat{P}_{h,t+1} - \hat{P}_{h,t}) \quad (3)$$

$$C_{H,t} + D_t + P_{h,t} I_{H,t} = W_t N_t + i_{t-1}^D D_{t-1} + \varepsilon_{B,t} \quad (4)$$

$$\hat{h}_{H,t} = \hat{h}_{H,t-1} + \hat{I}_{H,t} \quad (5)$$

$$\hat{C}_{E,t} = E_t \hat{C}_{E,t+1} - \hat{i}_t^L - \frac{1}{2} (L \widehat{TV}_t + E_t \hat{P}_{h,t+1} - \hat{P}_{h,t}) + \hat{\varepsilon}_{E,t} \quad (6)$$

$$\hat{h}_{E,t} = \hat{Y}_t + \hat{i}_t^L + \frac{1}{2} L \widehat{TV}_t - \frac{1}{2} (E_t \hat{P}_{h,t+1} + \hat{P}_{h,t}) \quad (7)$$

$$C_{H,t} + P_{h,t} I_{E,t} + (i_t^L)^{-1} L_{t+1} + W_t N_t = Y_t + L_t \quad (8)$$

$$\hat{h}_{E,t} = \hat{h}_{E,t-1} + \hat{I}_{E,t} \quad (9)$$

$$\hat{Y}_t = \hat{A}_t + \alpha \hat{h}_{E,t} + (1 - \alpha) \hat{N}_t \quad (10)$$

$$\hat{L}_{t+1} - \hat{i}_t^L = L \widehat{TV}_t + E_t \hat{P}_{h,t+1} + \hat{h}_{E,t} \quad (11)$$

$$\hat{C}_{B,t} = \left(\frac{\beta_B}{\beta_H} - \frac{\beta_B}{\gamma^E} \right) E_t \hat{C}_{B,t+1} - \frac{\beta_B}{\beta_H} \hat{i}_t^D - \left(\frac{\beta_B}{\beta_H} - \frac{\beta_B}{\gamma^E} \right) + 1 + \hat{\varepsilon}_{B,t} \quad (12)$$

$$\hat{C}_{B,t} = \left(\frac{2 - \beta_E}{\beta_E} \right) \beta_B (E_t \hat{C}_{B,t+1} - 1) - 2 \frac{\beta_B}{\beta_E} E_t \hat{i}_{t+1}^L + 1 + \hat{\varepsilon}_{B,t} \quad (13)$$

$$C_{B,t} + i_{t-1}^D D_{t-1} + L_t = D_t + i_t^L L_{t-1} - \varepsilon_{B,t} \quad (14)$$

$$\varepsilon_{B,t} = L_{t-1} - \frac{D_{t-1}}{\gamma^E} \quad (15)$$

$$\hat{Z}_{E,t} = \hat{p}_{E,t} + \hat{E}_t - \hat{K}_{E,t} \quad (16)$$

$$\hat{E}_t = \hat{A}_{E,t} + \gamma^e \hat{K}_{E,t} \quad (17)$$

$$\widehat{CO}_{2t} = \hat{F}_t + \hat{E}_t \quad (18)$$

$$\hat{Z}_t = \hat{Y}_t - \hat{K}_t \quad (19)$$

$$\widehat{W}_t = \hat{Y}_t - \hat{N}_t \quad (20)$$

$$\frac{E_{SS}}{Y_{SS}} (\hat{p}_{E,t} + d_2 F_{SS} \hat{F}_t) = (1 - \alpha_1 - \alpha_2) \frac{Y_{SS}}{E_{SS}} (\hat{Y}_t - \hat{E}_t) \quad (21)$$

$$\hat{Q}_t = \rho_Q \hat{Q}_{t-1} - \widehat{CO}_{2t} \quad (22)$$

$$\hat{\Omega}_t = \rho_\Omega \hat{\Omega}_{t-1} + \widehat{CO}_{2t} \quad (23)$$

$$[1 - \widehat{D}_t(\hat{\Omega}_t)] = -\chi(\hat{\Omega}_t - \Omega) \quad (24)$$

$$Y_t = C_{H,t} + C_{E,t} + C_{B,t} \quad (25)$$

$$\hat{A}_t = \rho_A \hat{A}_{t-1} + \hat{\varepsilon}_{A,t} \quad (26)$$

$$\hat{F}_t = \rho_F \hat{F}_t + \hat{\varepsilon}_{F,t} \quad (27)$$

$$\hat{A}_{E,t} = \rho_{E,A} \hat{A}_{E,t-1} + \hat{\varepsilon}_{EA,t} \quad (28)$$

$$L\widehat{TV}_t = \rho_{LTV} L\widehat{TV}_{t-1} + \hat{\varepsilon}_{LTV,t} \quad (29)$$

Estimación

Para la estimación de los parámetros del modelo log-lineal se empleó métodos bayesianos; la muestra comprende desde 1991 a 2022 en frecuencia trimestral. Las variables observables en el modelo son: $[\hat{Y}_t, \widehat{CO}_{2t}, \hat{L}_t, \widehat{D}_t]$. En el Apéndice A se encuentra el detalle de las estimaciones de los parámetros. Los resultados muestran consistencia con la literatura consultada.

Cuadro 1: DISTRIBUCIÓN *PRIOR* Y *POSTERIOR*

Parámetro	Prior	Post	10%	90%	Distribución	S.D.
	Mean	Mean				
ρ_Q	0,9	0,9993	0,9985	1,0000	beta	0,1
ρ_Ω	0,9979	0,9990	0,9990	0,9990	beta	0,1
$\rho_{E,A}$	0,5	0,5480	0,5333	0,5618	beta	0,1
ρ_F	0,5	0,5422	0,5222	0,5684	beta	0,1
<i>St.dev.</i> $\hat{\varepsilon}_{E,A,t}$	0,01	0,7354	0,6698	0,7971	beta	Inf
<i>St.dev.</i> $\hat{\varepsilon}_{F,t}$	0,01	0,0064	0,0039	0,0092	beta	Inf

Fuente: Elaboración propia

Nota: Los valores *prior* fueron tomados de Niu et al. (2018). Se empleó Dynare 5.3.

Por su parte, los valores de algunos parámetros fueron calibrados con base en investigaciones previas o extraídos de la información del sistema financiero (Cuadro 2).

Cuadro 2: CALIBRACIÓN

Parámetro	Fuente	Valor
η	Costa Junior (2016)	1,5
γ^E	Relación pasivo/activo información de ASFI	0,9299
β_H	Valdivia (2022)	0,9794
β_E	Valdivia (2022)	0,9397
β_B	Valdivia (2022)	0,9451
α_1	Niu et al. (2018)	0,4993
α_2	Niu et al. (2018)	0,349
γ^e	Niu et al. (2018)	0,41
d_2	Tu et al. (2022)	0,75
χ	Annicchiarico et al. (2023)	7,86e-06
$\bar{\Omega}$	Annicchiarico et al. (2023)	581
$\frac{E_{SS}}{Y_{SS}}$	Relación PIB de actividad de Energía/PIB total	0,02
F_{SS}	Relación Energía termoeléctrica/ Energía total del Sistema interconectado Nacional	0,6
ρ_A	Valdivia (2022)	0,9452
ρ_{LTV}	Valdivia (2022)	0,5739
<i>St.dev.</i> $\hat{\varepsilon}_{LTV,t}$	Valdivia (2022)	0,0398
<i>St.dev.</i> $\hat{\varepsilon}_{A,t}$	Valdivia (2022)	0,0475
<i>St.dev.</i> $\hat{\varepsilon}_{H,t}$	Valdivia (2022)	0,9435
<i>St.dev.</i> $\hat{\varepsilon}_{E,t}$	Valdivia (2022)	0,0612
<i>St.dev.</i> $\hat{\varepsilon}_{B,t}$	Valdivia (2022)	0,9237
<i>St.dev.</i> $\hat{\varepsilon}_{N,t}$	Valdivia (2022)	0,6221

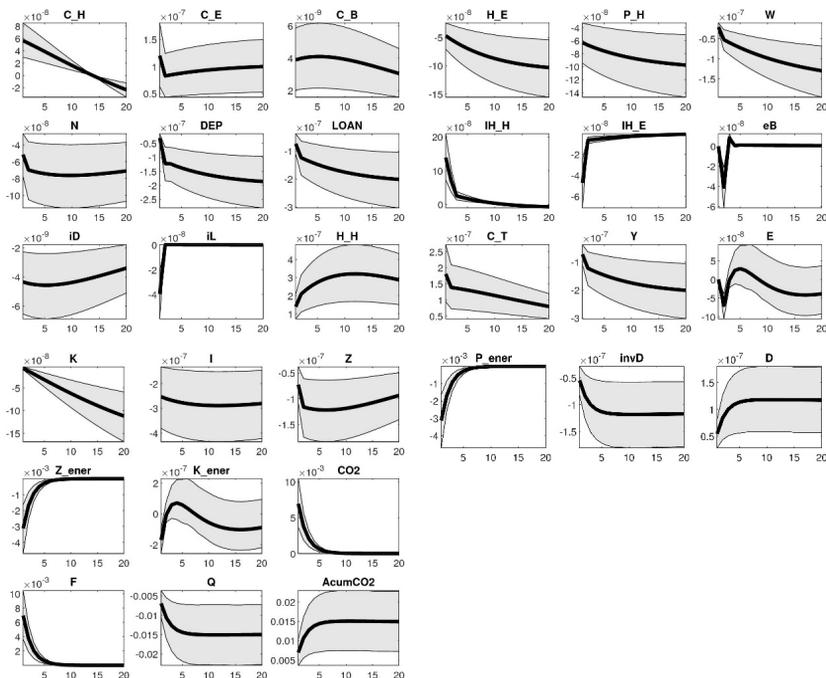
Fuente: Elaboración propia

V. Resultados

Una mayor energía fósil, asociada a la generación de energía termoeléctrica, acompañado de un incremento de la demanda de gas natural genera una significativa emisión de dióxido de carbono (CO_{2t}); esto repercute de manera persistente en la acumulación de estos gases de efecto invernadero (Ω_t), lo que a su vez merma la calidad medioambiental (Q_t), lo que resulta en un daño sobre los ecosistemas (D_t) con efectos cuasi-perpetuos.

Además las emisiones de CO_{2t} , por la quema de energía fósil, también contienen una serie de contaminantes atmosféricos perjudiciales como dióxido de azufre (SO_2), óxidos de nitrógeno (NO_x) y partículas finas (PM). Estos contaminantes pueden causar problemas de salud graves en humanos como enfermedades respiratorias, cardiovasculares y cáncer. En consecuencia, el bienestar de los hogares se vería afectado adversamente, lo que perjudicaría sus variables de control, como una disminución de la oferta laboral (N_t) y un mayor consumo (C_t). El incremento de esta última variable se asocia al gasto en medicamentos y consultas médicas que se generan por un *shock* negativo en la calidad ambiental (Q_t).

A su vez, este tipo de *shocks* positivos en la energía fósil (F_t), un desvío estándar del 0,0064 ($\hat{\epsilon}_{F,t}$, Cuadro 1), repercuten negativamente en la eficiencia de la producción (Y_t), lo que desencadena un escenario adverso sobre otras variables macroeconómicas. Por ejemplo, las variables que describen la profundización financiera, créditos y depósitos (L_t y D_t , respectivamente), presentan una contracción persistente hasta el vigésimo periodo (Gráfico 2). Este escenario podría explicarse porque las instituciones financieras, al presentar un portafolio de inversiones en activos relacionados con el carbono, pueden enfrentar devaluaciones significativas como consecuencia de un ajuste en los mercados. Por otro lado, la generación de energías fósiles, al contribuir al cambio climático, se manifiesta en condiciones atmosféricas adversas, variabilidad climática extrema, como inundaciones, tormentas y sequías. Estas condiciones pueden provocar mayores reclamaciones de seguros, lo que puede afectar a la estabilidad financiera de las instituciones que dependen de los seguros para cubrir pérdidas en caso de desastres naturales.

Gráfico 2: *SHOCKS EN LA ENERGÍA FOSSIL* ($\hat{\varepsilon}_{F,t}$)

Fuente: Elaboración propia.

VI. Conclusiones

Las variables que influyen en el cambio climático son los combustibles fósiles, como el carbón, el petróleo y el gas natural; estas, a su vez, son la principal fuente de energía del mundo. Sin embargo, su combustión emite grandes cantidades de dióxido de carbono (CO_2), un gas de efecto invernadero que contribuye al cambio climático.

Los efectos del cambio climático son diversos y complejos, entre los cuales se encuentran: i) una pérdida de la productividad, generalmente en el sector de la agricultura, ii) mayores costos de adaptación, ya que las empresas deben invertir en medidas de adaptación para mitigar los efectos del cambio climático, iii) mayores costos de mitigación, al invertir en tecnologías y prácticas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y iv) impactos financieros, por los desastres naturales causados por el cambio climático que afectan de manera significativa las finanzas públicas y privadas.

En este sentido, en el presente estudio, se desarrolló el primer modelo de equilibrio general estocástico dinámico-medioambiental (E-DSGE) para Bolivia, con el objetivo de evidenciar los efectos del cambio climático en variables macroeconómicas, del sector real y financiero. Dentro los datos observados en tasas de crecimiento, se evidenciaron que las emisiones de CO_2 de Bolivia presentan un mismo patrón de comportamiento tendencial respecto a la tasa de crecimiento del PIB. Las correlaciones cruzadas indican que ambas variables son sincrónicas y presentan una asociación de 0,5.

El desarrollo del E-DSGE tiene como bases los trabajos de Niu et al. (2018) y Valdivia (2022). De la primera investigación, se consideró la modelación del sector energético y medioambiental, caracterizado por energías fósil, variable exógena que genera emisiones de CO_2 que degrada la calidad del medio ambiente (Q_t); en este contexto, la acumulación de los gases de efecto invernadero (Ω_t) persiste en el tiempo generando un problema intertemporal para las generaciones futuras respecto a su bienestar. De la segunda, se incorporó las ecuaciones del sector financiero, bancos, y su relación con el sector real.

Los resultados muestran que los *shocks* positivos en la energía fósil, es decir, un aumento de la producción de energía fósil puede tener efectos negativos en la economía: i) estos *shocks* pueden reducir la eficiencia de la producción. Esto se debe a que la energía fósil es una fuente de energía ineficiente que genera una gran cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero (CO_2); ii) los *shocks* positivos en la energía fósil pueden afectar negativamente a la estabilidad financiera: esto se debe a que las instituciones financieras suelen tener inversiones en activos relacionados con el carbono; un aumento de la producción de energía fósil puede provocar una devaluación de estos activos, lo que puede dañar la salud financiera de las instituciones; y iii) los *shocks* positivos en la energía fósil pueden aumentar el riesgo de desastres naturales. Esto se debe a que la energía fósil es una fuente de energía que contribuye al cambio climático, lo que provoca fenómenos meteorológicos extremos, como inundaciones, tormentas y sequías, lo que puede aumentar el número de reclamaciones de seguros. Esto puede afectar a la estabilidad financiera de las aseguradoras, que pueden verse obligadas a pagar más indemnizaciones.

En conclusión, el modelo E-DSGE para Bolivia evidencia que los *shocks* positivos en la energía fósil tienen efectos negativos en la economía, ya que puede reducir la eficiencia de la producción, afectar negativamente a la estabilidad financiera y aumentar el riesgo de desastres naturales.

Referencias bibliográficas

ÁGENOR, Pierre-Richard, 2004. *The Economics of Adjustment and Growth*. 2nd Edition. Cambridge, MA: Harvard University Press. ISBN: 0-674-01578-9

ARGANDOÑA Antonio, GÁMEZ, Consuelo y MOCHÓN, Francisco, 1997. *Macroeconomía avanzada II: Fluctuaciones cíclicas y crecimiento económico*. Madrid: McGrawHill. ISBN: 978-84-481-1219-6

AUTORIDAD DE SUPERVISIÓN DEL SISTEMA FINANCIERO, 2013. *Historia de la regulación y supervisión Financiera en Bolivia*, Tomo II, 1985 - 1992. 1ra edición. La Paz: ASFI. Disponible en: https://www.asfi.gob.bo/images/ASFI/DOCS/LIBROS/Libro_Historia_Tomo_II.pdf

BASEL COMMITTEE ON BANKING SUPERVISION, 2008. Principles for Sound Liquidity Risk Management and Supervision. Bank for International Settlements, September. Disponible en: <https://www.bis.org/publ/bcbs144.pdf>

BENCHIMOL, Jonathan, 2015. Money in the production function: A New Keynesian DSGE perspective. *Southern Economic Journal*. 82 (1), pp. 152 – 184. ISSN en línea: 2325-8012. Disponible en: <https://doi.org/10.4284/0038-4038-2011.197>

BERNANKE, Ben, GERTLER, Mark and GILCHRIST, Simon, 1999. The Financial Accelerator in a Quantitative Business Cycle Framework. En: TAYLOR, John and WOODFORD, Michael, Eds. *Handbook of Macroeconomics*. Volume 1 Part C, Amsterdam: Elsevier BV., pp. 1341 – 1393. ISBN: 978-0-444-50158-5

BRZOZA-BRZEZINA, Michał and MAKARSKI, Krzysztof, 2011. Credit crunch in a small open economy. *Journal of International Money and Finance*. 30 (7), pp. 1406 - 1428, ISSN en línea: 1873-0639. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jimonfin.2011.07.010>

CALVO, Guillermo, 1983. Staggered Prices in a Utility-Maximizing Framework. *Journal of Monetary Economics*, 12 (3), pp. 383 – 398. ISSN EN LÍNEA: 1873-1295. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/0304-3932\(83\)90060-0](https://doi.org/10.1016/0304-3932(83)90060-0)

CAMPBELL, John and COCHRANE, John, 1999. By Force of Habit: A Consumption-Based Explanation of Aggregate Stock Market Behavior. *Journal of Political Economy*, 107 (2), pp. 205 – 251. ISSN en línea: 1537-534X. Disponible en: <https://doi.org/10.1086/250059>

CAZONERI, Matthew, HENDERSON, Dale and ROGOFF, 1983. The Information Content of the Interest Rate and Optimal Monetary Policy. *The Quarterly Journal of Economics*. 98 (4), pp. 545 – 566. ISSN en línea: ISSN 1531-4650. Disponible en: <https://doi.org/10.2307/1881777>

COSTA, Celso, 2016. *Understanding DSGE*. United States: Vernon Press. ISBN: 978-1-62273-038-4

DÍAZ, Oscar y GARRÓN, Ignacio, (2016). Un modelo de equilibrio general estocástico dinámico para analizar el efecto de la política monetaria sobre el sistema financiero boliviano. Banco Central de Bolivia. *Revista de Análisis*, 24, pp. 147 – 192. ISSN: 2305-2597. Disponible en: https://www.bcb.gob.bo/webdocs/publicacionesbcb/revista_analisis/ra_vol24/articulo_4_v24.pdf

DELÉCHAT, Corinne, HENAO, Camila, MUTHOORA, Priscilla and VTYURINA, Svetlana, 2012. The Determinants of Banks' Liquidity Buffers in Central America. International Monetary Fund, International Monetary Fund, Working paper WP/12/301, December. Disponible en: <https://www.elibrary.imf.org/view/journals/001/2012/301/001.2012.issue-301-en.xml>

DIXIT, Avinash and STIGLITZ, Joseph, 1975. Monopolistic Competition and Optimum Product Diversity. University of Warwick, *Warwick Economics Research Paper Series* number 64, February. Disponible en: https://warwick.ac.uk/fac/soc/economics/research/workingpapers/1968-1977/twerp_64.pdf

FENDOĞLU, Salih, 2017. Credit cycles and capital flows: Effectiveness of the macroprudential policy framework in emerging market economies. *Journal of Banking and Finance*, 79, pp. 110 – 128. ISSN en línea: 1872-6372. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2017.03.008>

FERNÁNDEZ-VILLAYERDE, Jesús and RUBIO-RAMÍREZ, Juan, 2004. Comparing dynamic equilibrium models to data: a Bayesian Approach. *Journal of Econometrics*, 123 (1), pp. 153 – 187. ISSN en línea: 1872-6895. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2003.10.031>

GACETA OFICIAL DE BOLIVIA, 2013. *Ley N° 393, Ley de servicios financieros*, de 21 de agosto

GAMBACORTA, Leonardo and SIGNORETTI, Federico, 2014. Should monetary policy lean against the wind?: An analysis based on a DSGE model with banking. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 43, pp. 146 – 174. ISSN en línea: 1879-1743. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jedc.2014.01.016>

GAUTAM, Ramji, 2016. The Determinants of Banks Liquidity: Empirical Evidence on Nepalese Commercial Banks. *Journal of Interdisciplinary Studies*, 2 (2), pp. 69 – 78. ISSN 2392-4802. Disponible en: <https://bhlls.files.wordpress.com/2017/02/2-determinants-of-banks-liquidity-empirical-evidence-on-nepalese-commercial.pdf>

GEANAKOPOLOS, John, 2010. The leverage cycle. Cowles Foundation Paper No. 1304. Disponible en: <http://dido.econ.yale.edu/~gean/art/p1304.pdf>

GERALI, Andrea, NERI, Stefano, SESSA, Luca and SIGNORETTI, Federico, 2010. Credit and Banking in a DSGE Model of the Euro Area. *Journal of Money, Credit and Banking*, 42 (s1), pp. 107 – 141. ISSN en línea: 1538-4616. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.1538-4616.2010.00331.x>

GERTLER, Mark and KARADI, Peter, 2011. A model of unconventional monetary policy. *Journal of Monetary Economics*, 58 (1), pp. 17 – 34. ISSN en línea: 1873-1295. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jmoneco.2010.10.004>

HAN, Heejoon, LINTON, Oliver, OKA Tatsushi and WHANG, Yoon-Jae, 2016. The cross-quantilogram: Measuring quantile dependence and testing directional predictability between time series. *Journal of Econometrics*, 193 (1), pp. 251 – 270. ISSN en línea: 1872-6895. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2016.03.001>

HARDING, Don and PAGAN, Adrian, 2002. Dissecting the cycle: a methodological investigation. *Journal of Monetary Economics*, 49 (2), pp. 365 – 381. ISSN en línea: 1873-1295. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0304-3932\(01\)00108-8](https://doi.org/10.1016/S0304-3932(01)00108-8)

HUMEREZ, Julio y YÁÑEZ, Ernesto, 2011. Desarrollo del sistema financiero y crecimiento económico. Una aproximación a partir del caso boliviano: 2000-2009. Banco Central de Bolivia, *Revista de Análisis*, 14, pp. 41 – 77. ISSN: 2305-2597. Disponible en: https://www.bcb.gob.bo/webdocs/publicacionesbcb/revista_analisis/ra_vol14/articulo_2_v14.pdf

IACOVIELLO, Matteo, 2005 House Prices, Borrowing Constraints, and Monetary Policy in the Business Cycle. *American Economic Review*, 95 (3), pp. 739 – 764. ISSN en línea: 1944-7981. Disponible en: <http://doi.10.1257/0002828054201477>

IACOVIELLO, Matteo, 2015. Financial business cycles. *Review of Economic Dynamics*, 18 (1), pp. 140 – 163. ISSN en línea: 1096-6099. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.red.2014.09.003>

JEMIO, Luis, 2006. Volatilidad externa y el sistema financiero en Bolivia. Informe de consultoría elaborado para la Corporación Andina de Fomento, marzo. Disponible en: http://iidee.net/archivos/LC%20JEMIO/ID066%20documento_sector_financiero.pdf

JEMIO, Valeria, 2020. Monetary rules in an open economy with distortionary subsidies and inefficient shocks: A DSGE approach for Bolivia. Munich Personal RePEc Archive, Paper No. 102374, July. Disponible en: https://mpra.ub.uni-muenchen.de/102374/1/MPRA_paper_102374.pdf

JUILLARD, Michel, KARAM, Philippe, LAXTON, Douglas and PESENTI, Paolo, 2006. Welfare-Based Monetary Policy Rules in an Estimated DSGE Model of the US Economy. *European Central Bank. Working Paper Series Nro. 613*, April. Disponible en: <https://www.ecb.europa.eu/pub/pdf/scpwps/ecbwp613.pdf>

KIYOTAKI, Nobuhiro and MOORE, John, 1997. Credit Cycles. *Journal of Political Economy*, 105 (2), pp. 211 – 248. ISSN en línea: 1537-534X. Disponible en <https://doi.org/10.1086/262072>

LINTON, O. and WHANG, Yoon-Jae, 2007. The quantilogram: With an application to evaluating directional predictability. *Journal of Econometrics*, 141 (1), pp. 250 – 282. ISSN en línea: 1872-6895. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2007.01.004>

PEÑALOZA, Franciss y VALDIVIA, Daney, 2013. El crédito productivo y su vínculo con la actividad económica y la inversión. Social Science Research Network, Working paper, October. Disponible en: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2346925

PHAM, Linh, 2021. How Integrated Are Regional Green Equity Markets? Evidence from a Cross-Quantilogram Approach. *Journal of Risk and Financial Management*, 14 (1): 39. ISSN: 1911-8074. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1911-8074/14/1/39>

QUELCA, Gerardo, 2006. Interrelación entre el sistema financiero boliviano y el sector real de la economía, en el marco del entorno macroeconómico (1991 – 2005). Autoridad de Supervisión del Sistema Financiero, Documento

de trabajo. Disponible en: https://www.asfi.gob.bo/images/INT_FINANCIERA/DOCS/Publicaciones/Estudios/Estudiogqs_interFinan_Bolivia.pdf

QUAST, Josefine and WOLTERS, Maik, 2022. Reliable Real-time Output Gap Estimates Based on a Modified Hamilton Filter. *Journal of Business & Economic Statistics*, 40 (1), pp. 152 - 168. ISSN en línea: 1537-2707. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/07350015.2020.1784747>

SÁNCHEZ, Elmer, 2016. Mortgage credit: Lending and borrowing constraints in a DSGE framework. The Graduate Institute Geneva. Working Paper No. HEIDWP15-2016. June. Disponible en: <https://repository.graduateinstitute.ch/record/294619/references>

SCHINASI, Garry, 2004. Defining financial stability. International Monetary Fund, Working Paper WP/04/187, October. Disponible en: <https://www.imf.org/external/pubs/ft/wp/2004/wp04187.pdf>

SMETS, Frank and WOUTERS, Rafael, 2007. Shocks and Frictions in US Business Cycles: A Bayesian DSGE Approach. European Central Bank, Working Paper Series Nro. 722, February. Disponible en: <https://www.ecb.europa.eu/pub/pdf/scpwps/ecbwp722.pdf>

VALDIVIA, Daney, 2008. ¿Es importante la fijación de precios para entender la dinámica de la inflación en Bolivia? Instituto de Estudios Avanzados en Desarrollo, INESAD, Documento de trabajo Nro 02/2008, febrero. Disponible en: https://www.inesad.edu.bo/pdf/wp02_2008.pdf

VALDIVIA, Joab, 2017. Evaluando la interacción de la política monetaria y fiscal (Teoría fiscal del nivel de precios) a través de un DSGE-VAR. En: *XXII Encuentro de la Red de Investigadores de Banca Central de las Américas*. México: Centro de Estudios Monetarios Latinoamericanos, CEMLA. Disponible en: <https://www.cemla.org/red/papers2017/cbrn-22-2.pdf>

VALDIVIA, Joab, 2017. Impact of NFPS Capital Expenditure On Economic Growth in Bolivia in Years 2006-2016. Ministerio de Economía y Finanzas Públicas de Bolivia. *Bolivian Economic Research Papers*, 2 (1), pp. 1 – 23. Disponible en: < https://www.economiayfinanzas.gob.bo/sites/default/files/2023-08/CIEB_2017_Ing_Paper_3.pdf

VALDIVIA, Joab, 2016. Acelerador financiero, impacto del precio del gas. Munich Personal RePEc Archive, Paper No. 78784, octubre. Disponible en: https://mpra.ub.uni-muenchen.de/78784/1/MPra_paper_78784.pdf

VALDIVIA, Joab, 2019. Colocación de cartera y crecimiento sectorial. Banco Central de Bolivia. Documento de trabajo N° 03/2019, noviembre. Disponible en: <https://www.bcb.gob.bo/webdocs/publicacionesbcb/2021/05/35/36%20-%20Colocaci%C3%B3n%20de%20cartera%20y%20crecimiento%20sectorial.pdf>

VALDIVIA, Daney y MONTENEGRO, Marcelo, 2009. Reglas fiscales en Bolivia en el contexto de un Modelo de Equilibrio Dinámico General Estocástico. Instituto de Estudios Avanzados en Desarrollo, INESAD. Disponible en: <https://www.inesad.edu.bo/bcde2009/C3%20Valdivia%20Montenegro.pdf>

VALDIVIA, Daney y PÉREZ, Danyira, 2013. Dynamic Economic and coordination of fiscal – monetary policies in Latin America: evaluation through a DSGE model. En: *11th Dynare Conference*. Bruselas: National Bank of Belgium. Disponible en: https://archives.dynare.org/DynareConference2015/papers/Valdivia_Perez.pdf

VALDIVIA, Joab and VALDIVIA, Daney, 2019. Microfoundations of a monetary policy, Poole's rule. *Journal of Economics Bibliography*, 6 (3), pp. 118 – 160. ISSN: 2149-2387. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1453/jeb.v6i3.1923>

WOODFORD, Michael, 2003. *Interest & Prices: Foundations of a Theory of Monetary Policy*. Princeton: Princeton University Press. ISBN: 0-691-01049-8

ZHANG, Wenlang, 2008. China's monetary policy: Quantity versus price rules. *Journal of Macroeconomics*, 31 (3), pp. 473 – 484. ISSN en línea: 1873-152X. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jmacro.2008.09.003>

APÉNDICES

Apéndice A

Metodología de Estimación

La especificación para la estimación de los parámetros está en línea con la literatura consultada. Valdivia (2022) muestra que la evaluación de los parámetros del modelo con una metodología econométrica desde el punto de vista bayesiano, aporta mucha más información a las decisiones bajo incertidumbre, a diferencia de la econometría clásica “frecuentista”, este enfoque considera diferentes tipos de información, muchas veces subjetiva, que puedan tener sobre los parámetros a estimar antes de tomar en cuenta los datos. La estimación bayesiana puede ser vista como un puente entre la calibración y la estimación por máxima verosimilitud (MV).

El modelo estimado toma como referencia a Fernández-Villaverde y Rubio-Ramírez (2004) y Smets y Wouter (2007). La estimación es basada en una función de verosimilitud generada por la solución de la versión log-linealizada del modelo. Se utilizan distribuciones *prior* de los parámetros de interés para proporcionar información adicional en la estimación. Todo el conjunto de ecuaciones linealizadas forma un sistema de ecuaciones lineales de expectativas racionales, el cual se puede escribir de la siguiente manera:

$$\Gamma_0(\vartheta) z_t = \Gamma_1(\vartheta) z_{t-1} + \Gamma_2(\vartheta) \varepsilon_t + \Gamma_3(\vartheta) \theta_t$$

donde z_t es un vector que contiene las variables del modelo expresadas como desviaciones logarítmicas de sus estados estacionarios, ε_t es un vector que contiene ruido blanco de los *shocks* exógenos del modelo y θ_t es un vector que contiene las expectativas racionales de los errores de predicción. Las matrices Γ_1 son funciones no lineales de los parámetros estructurales contenidas en el vector ϑ . El vector z_t contiene las variables endógenas del modelo y los *shocks* exógenos: $\hat{\varepsilon}_{\bar{A},t}$, $\hat{\varepsilon}_{LTV,t}$, $\hat{\varepsilon}_{N,t}$, $\hat{\varepsilon}_{H,t}$, $\hat{\varepsilon}_{E,t}$, $\hat{\varepsilon}_{B,t}$, $\hat{\varepsilon}_{AE,t}$, $\hat{\varepsilon}_{F,t}$. La solución a este sistema puede ser expresado de la siguiente forma:

$$z_t = \Omega_z(\vartheta) z_{t-1} + \Omega_\varepsilon(\vartheta) \varepsilon_t + \Gamma_3(\vartheta) \theta_t$$

Ω_z y Ω_ε son funciones de los parámetros estructurales. Además, sea y_t un vector de las variables observadas que se relaciona con las variables en el modelo, a través de una ecuación de medición:

$$y_t = H z_t$$

donde H es una matriz que selecciona elementos de z_t e y_t que comprende las variables observadas desde 1998 a 2021, en frecuencia trimestral. Por su parte, el número de variables observadas deben ser igual o menor al número de *shocks* en el modelo para evitar el problema de singularidad estocástica:

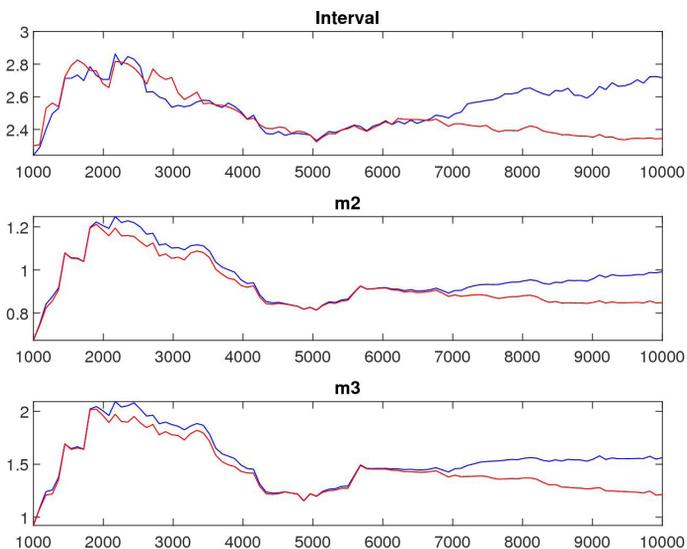
$$y_t = \hat{Y}_t, \widehat{C\bar{D}}_{2t}, \hat{L}_t, \hat{D}_t]$$

Estas ecuaciones corresponden a la forma estado-espacio que representan a y_t . Si nosotros asumimos que el ruido blanco, ε_t , está normalmente distribuido y utilizando el filtro de Kalman podemos calcular la función de verosimilitud condicional para los parámetros estructurales. Sea $p(\vartheta)$ la función de densidad *prior* de los parámetros estructurales y $L(\vartheta/Y^T)$, donde $Y^T = \{y_1, y_T\}$ contiene las variables observadas. La función de densidad *posterior* de los parámetros se calcula usando el teorema de Bayes.

Dado que la función de verosimilitud condicional no tiene solución con una expresión analítica, se empleó métodos numéricos basados en el algoritmo de Metropolis-Hastings. Las estimaciones se obtuvieron con el programa Dynare 5.3.

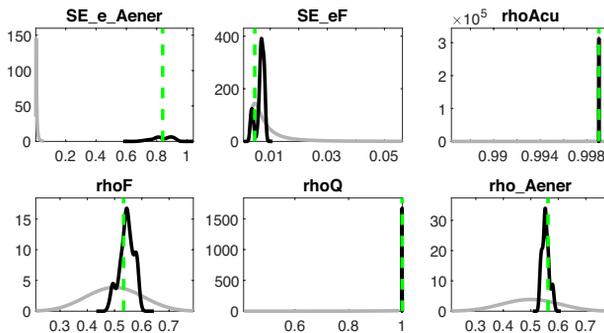
Por otro lado, la convergencia de la Cadena de Markov-Monte Carlo (MCMC) es satisfactoria, lo que significa que el análisis multivariado de los parámetros del modelo converge hacia su estado estacionario, dadas las diferentes iteraciones del algoritmo Metropolis Hastings (MH) solicitadas (10.000 *draws*). Hay tres medidas: “interval” que representa un intervalo de confianza del 80% en torno a la media, “m2” mide la varianza y “m3” el tercer momento. Las líneas azules y rojas convergen de una manera satisfactoria (las líneas azules representan medidas de los vectores de los parámetros dentro de las cadenas solicitadas).

Gráfico A.1: CONVERGENCIA DE LA CADENA DE MARKOV-MONTE CARLO



Fuente: Elaboración propia

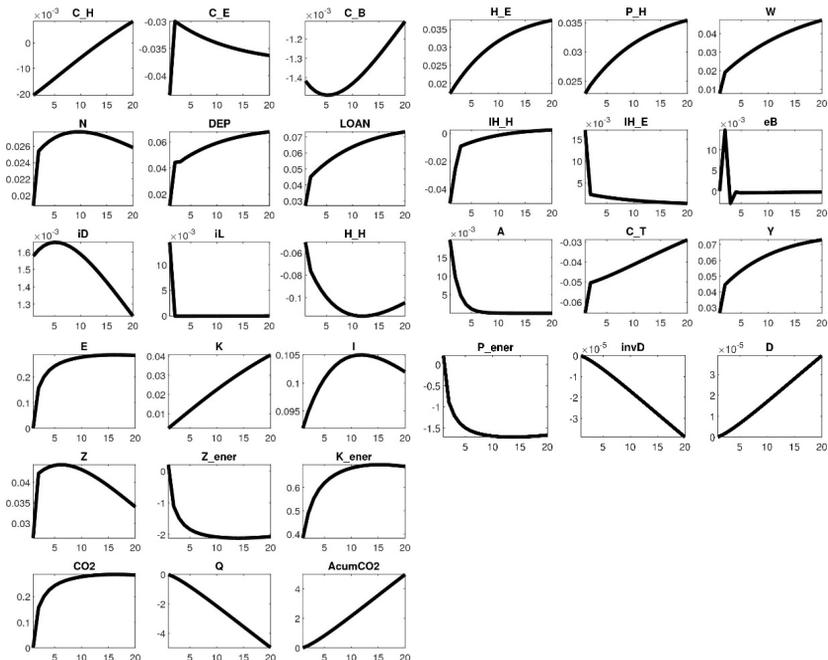
**Gráfico A.2:
PRIORS Y POSTERIORIS**



Fuente: Elaboración propia

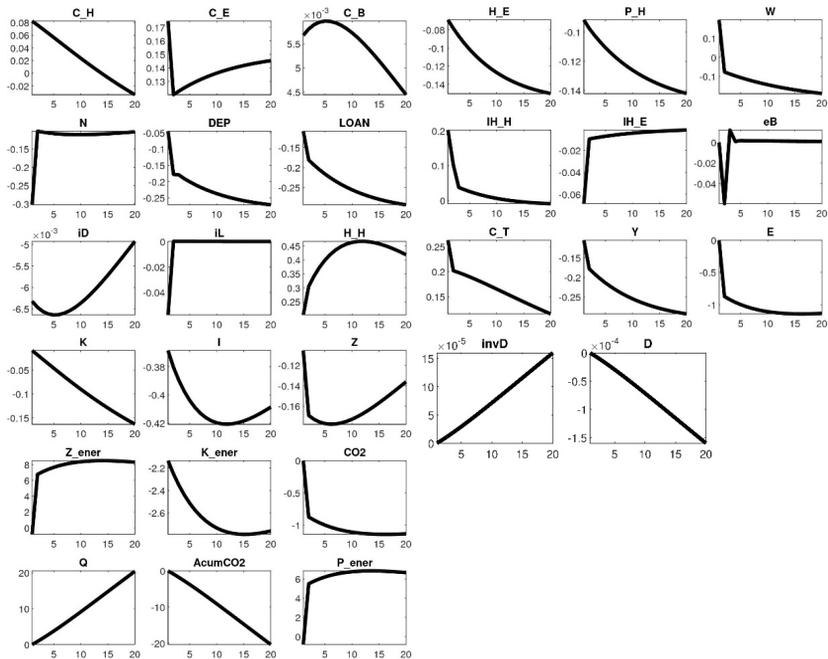
Apéndice B

Gráfico B.1:
SHOCKS DE PRODUCTIVIDAD ($\hat{\varepsilon}_{At}$)



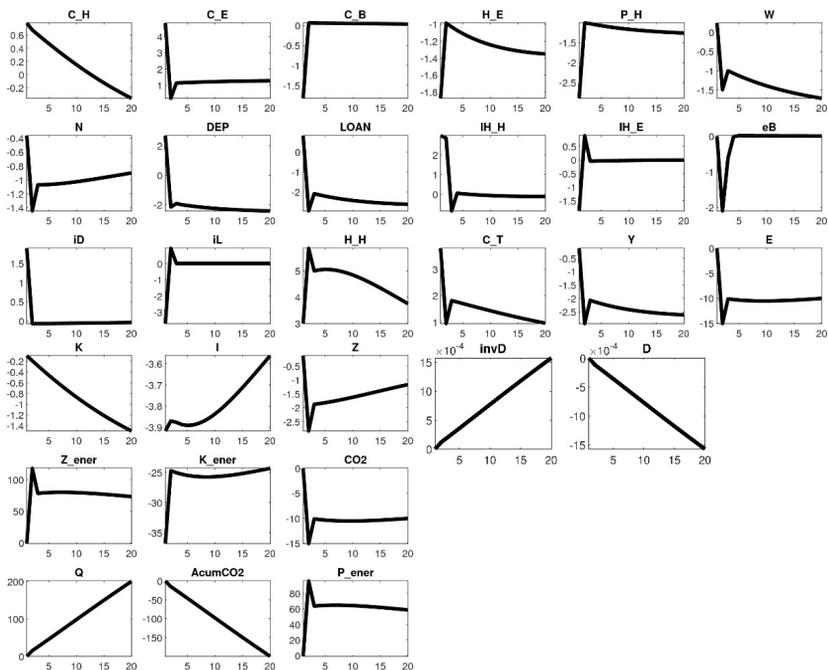
Fuente: Elaboración propia

Gráfico B.2:
SHOCKS EN EL EMPLEO ($\hat{\epsilon}_{N,t}$)



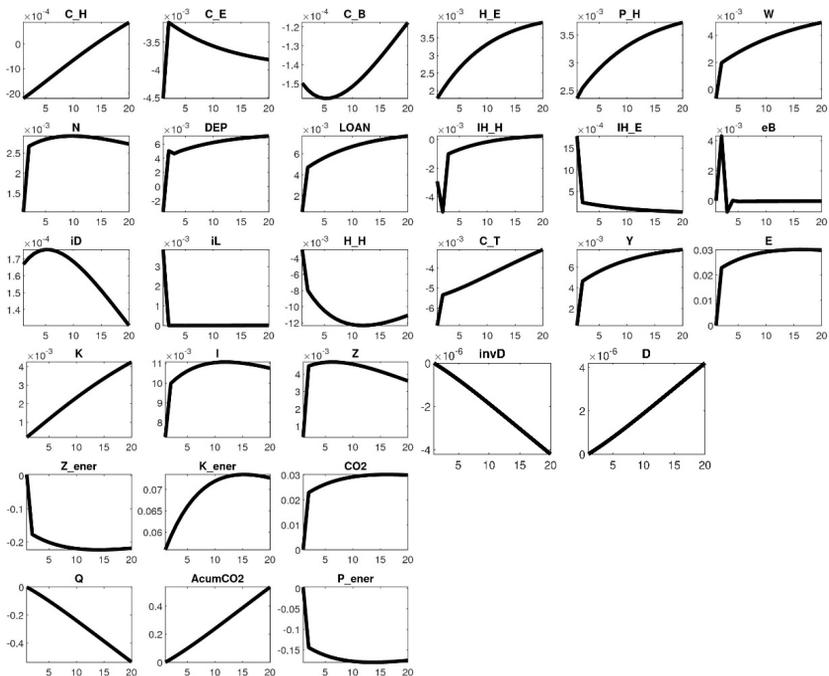
Fuente: Elaboración propia

Gráfico B.3:
SHOCKS DE PREFERENCIA EN EL CONSUMO DE LOS HOGARES ($\hat{\epsilon}_{H,t}$)



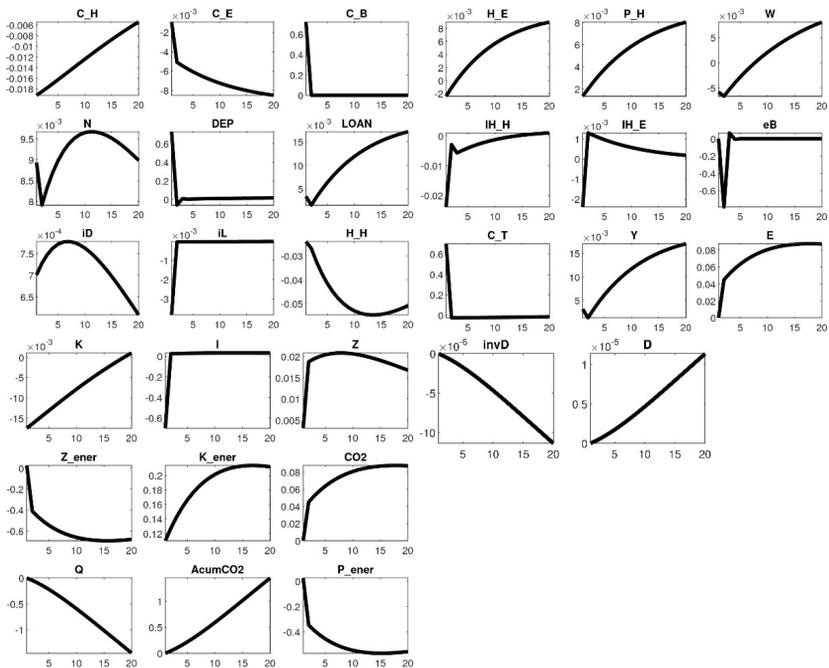
Fuente: Elaboración propia

Gráfico B.4:
SHOCKS DE PREFERENCIA EN EL CONSUMO DE LOS EMPRESARIOS ($\hat{\epsilon}_{E,t}$)



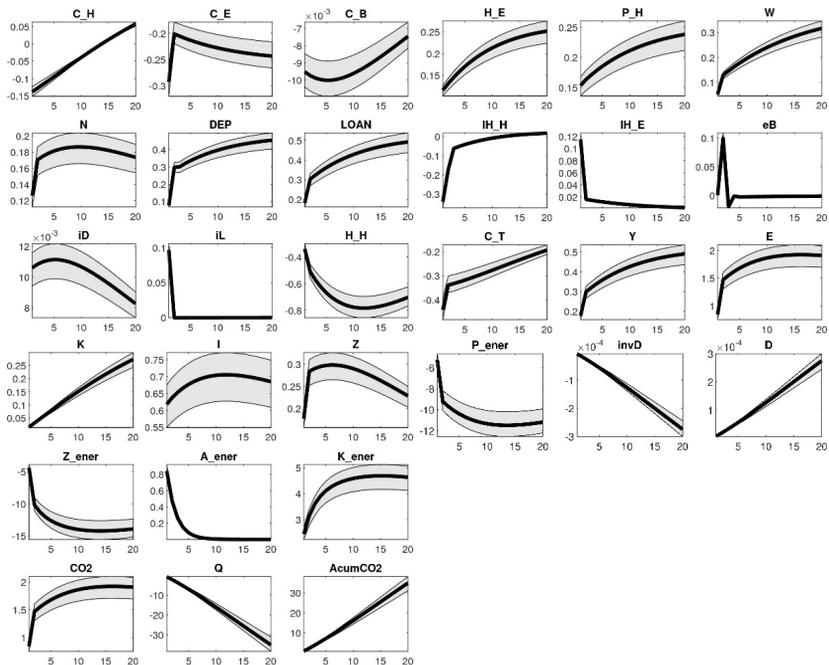
Fuente: Elaboración propia

Gráfico B.5:
SHOCKS DE PREFERENCIA EN EL CONSUMO DE BANCOS ($\hat{\epsilon}_{B,t}$)



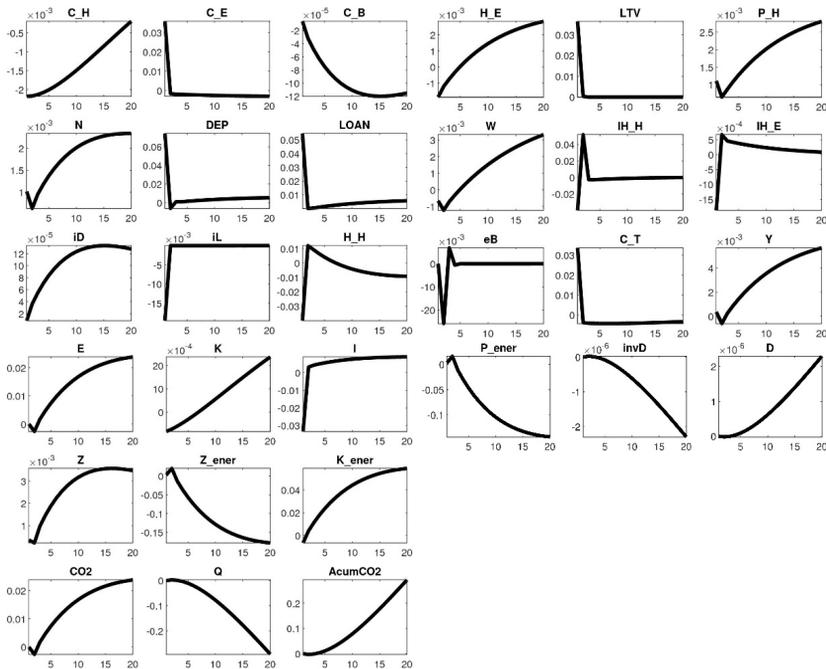
Fuente: Elaboración propia

Gráfico B.6:
SHOCKS DE PRODUCTIVIDAD DE ENERGÍA ($\hat{\epsilon}_{A_E,t}$)



Fuente: Elaboración propia

Gráfico B.7:
SHOCKS EN EL LOAN-TO VALUE ($\hat{\epsilon}_{LTV,t}$)



Fuente: Elaboración propia