

CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DOCENCIA ECONÓMICAS, A.C.



POLÍTICA MONETARIA Y CAMBIO CLIMÁTICO: UN CASO PARA MÉXICO

TESINA

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN ECONOMÍA

PRESENTA

JUAN CARLOS MUÑOZ CONTRERAS

DIRECTOR DE LA TESINA: DRA. ALEJANDRA ELIZONDO CORDERO

Agradecimientos

A mis padres Noé y Mari que les debo todo el universo, que este logro sea una muestra de los resultados de todo su apoyo, su cariño, de nuestro trabajo en equipo como una familia y del profundo amor que les tengo.

A mi hermana Karla María por ser el constante recordatorio de que por ella me tengo que esforzar cada día más y ser la razón de ver con optimismo el futuro, eres mi orgullo.

A mi novia Abigail por ser mi compañera en todas nuestras travesías todos estos años, por su apoyo incondicional, por ser mi mejor amiga, por ser la confidente de mis lados más humanos, por ser cuando era necesario mi apoyo y por ser siempre mi elemento vital.

Agradezco enormemente todo el apoyo de mis familiares, de mis tías y tíos, de mis padrinos Elsa y Rubén y agradezco con enorme cariño a mi tía Josefina por todo su cariño, apoyarme y enseñarme el significado de la palabra fortaleza y valor.

Mis más sinceros agradecimientos a toda la planta académica del CIDE que me ayudaron a dar un paso más hacia el profesionista en el que deseo convertirme y ayudarme a darme cuenta que aun tengo un largo camino que recorrer para llegar ahí, agradezco especialmente, a mi asesora, la Dra. Alejandra Elizondo Cordero, por su guía y apoyo durante la realización de esta tesina, gracias al Dr. Arturo Antón, por sus observaciones como lector de mi trabajo. Por último, quiero agradecer al Dr. Irvin Rojas por su asesoría durante el seminario de titulación, así como, por todas sus clases durante la maestría.

Agradezco a mis amigos de la ENP 3 por estar siempre para mi y ser mi ejemplo de que uno llega hasta donde uno se lo propone.

Por último, mi agradecimiento, mi gratitud y admiración a mis amigos del CIDE que sin ellos esta travesía no hubiera sido posible, que los salones del CIDE y el para sean testigos de la odisea que vivimos juntos para llegar a esta Itaca llamada maestría.

Resumen

El cambio climático y el aumento en la frecuencia y en la intensidad de los eventos meteorológicos extremos en las últimas décadas puede llegar a tener repercusiones importantes en la economía y en el manejo de política monetaria debido a los riesgos físicos y de transición del cambio climático. En este trabajo se explora el efecto de dos eventos climáticos extremos en particular sobre la economía mexicana, donde se presta particular atención a los efectos que estos tienen sobre la política monetaria. Se utiliza un modelo Dinámico de Equilibrio General Estocástico (DSGE) que permite a través de una distribución de probabilidad mixta la incorporación de choques climáticos. Los resultados muestran que ante un choque climático la producción disminuye y que a mediano plazo volverá a su valor de estado estacionario. Por otro lado, se encontró que ante un choque climático extremo la tasa de interés nominal aumenta. Un resultado que es contraintuitivo con los resultados obtenidos en este ejercicio y que requiere estudios posteriores.

Palabras clave: política monetaria; modelo DSGE; cambio climático.

Contenido

| | |
|--|-----------|
| 1. Introducción | 1 |
| 2. Revisión de literatura | 4 |
| 3. Modelo | 8 |
| 4. Calibración | 18 |
| 5. Resultados | 21 |
| 5.1. Escenarios para el caso de México | 24 |
| 6. Discusión | 28 |
| 7. Conclusión | 31 |
| 8. Referencias | 32 |
| Apéndice A: Estado estacionario | 35 |

Índice de Figuras

| | |
|--|----|
| 5.1. Funciones impulso respuesta sin considerar una distribución mixta del error | 22 |
| 5.2. Funciones impulso respuesta considerando la especificación del error sugerido | 23 |
| 5.3. Funciones impulso respuesta considerando precipitaciones extremas como evento climático | 25 |
| 5.4. Funciones impulso respuesta considerando temperaturas extremas como evento climático | 26 |

Índice de Tablas

| | |
|---|----|
| 4.1. Calibración de valores para parámetros | 19 |
|---|----|

Capítulo 1

Introducción

El incremento en la frecuencia e intensidad de los eventos meteorológicos extremos en las últimas décadas podría resultar en pérdidas económicas irreversibles debido a los riesgos del cambio climático. Estos riesgos se dividen en dos: los riesgos físicos y los riesgos de transición. Los riesgos físicos están vinculados con los fenómenos meteorológicos extremos, tales como: olas de calor, tormentas, inundaciones y avalanchas; además, están relacionados con los cambios progresivos de largo plazo del clima como lo son: los cambios en las precipitaciones, aumento del nivel del mar así como su temperatura, acidificación oceánica entre otros. De igual forma, la urgente y completa transición requerida para combatir el cambio climático tendrá impactos de gran alcance, denominados riesgos de transición los cuales están relacionados sobre todo con los cambios legales, cambios de políticas, cambios en la tecnología y los cambios en las preferencias del mercado relacionados con la transición de la economía hacia una economía baja en emisiones de carbono que afectarán a todos los agentes económicos y a diversos tipos de activos. Si bien la transición a corto plazo puede incurrir en altos costos, estas inversiones verían retornos en el largo plazo ya que las empresas podrían evitar que las consecuencias provocadas por los riesgos físicos aumentaran lo que a largo plazo significaría beneficios económicos para las empresas debido a la mitigación (Tang et al., 2023).

Este trabajo tiene como objetivo analizar los impactos de los eventos meteorológicos extremos sobre la economía mexicana, donde se presta particular atención a los efectos que estos tienen sobre la política monetaria. Para ello se utiliza un modelo Dinámico de Equilibrio General Estocástico (DSGE por sus siglas en inglés) el cual incorpora rigideces nominales tanto en precios como en salarios. Los precios están sujetos a un proceso de Calvo, lo que

implica que solo una fracción de las empresas puede ajustar sus precios en cada período. De manera similar, los salarios también están sujetos a un proceso de Calvo. La autoridad monetaria sigue una regla de Taylor, donde la tasa de interés reacciona a desviaciones de la inflación respecto a su objetivo y a la tasa de crecimiento de la producción. La producción está expuesta a choques de desastres climáticos, aparte de los choques tecnológicos usuales. Estos se representan mediante una distribución de probabilidad mixta que permite evaluar el impacto de eventos extremos con poca probabilidad de ocurrencia en la economía. Este es un elemento especial a comparación de un modelo DSGE estándar. Los choques, en este caso, capturan eventos climáticos relacionados con el riesgo físico (precipitaciones extremas y temperaturas extremas) afectan directamente la producción, ya que la productividad se reduce, lo que también implica una caída en la producción. Además, si el costo marginal de producción aumenta esto implicará una presión en el aumento de los precios elevados, lo que se verá reflejado en una mayor inflación. En caso de que la inflación incremente por efecto de este choque, también hará que la tasa de interés nominal suba para contener la inflación. Ahora, si la producción cae, la política monetaria tendrá que ser expansiva para incentivar la producción. Los efectos sobre la economía causada por este choque se ven reducidos por el tipo de política monetaria, que protege a la economía de los efectos inflacionarios del choque, lo que permite mantener precios estables y, además, se busca ayudar en la recuperación de la producción. Por los demás elementos del modelo sigue en línea a un modelo neo keynesiano estándar.

A través de simulaciones, se analizan los efectos de temperaturas y precipitaciones extremas, demostrando cómo estos eventos pueden desestabilizar variables fundamentales de la macroeconomía en México. Los resultados, reflejados en funciones impulso respuesta, revelan variaciones significativas en la producción y en la tasa de interés nominal en respuesta a estos eventos climáticos. Este análisis proporciona perspectivas importantes para los bancos centrales y formuladores de política monetaria, haciendo énfasis en la necesidad de integrar consideraciones climáticas en la política monetaria para preservar la estabilidad económica frente a la creciente incidencia y severidad de los choques climáticos.

El presente trabajo contribuye a la literatura sobre los efectos del cambio climático en varios aspectos. Primero, se realiza un estudio para un país en vías de desarrollo, en este caso México, lo que difiere respecto a la literatura tradicional que se enfoca en países desarrollados y permite verificar la hipótesis que sugiere que el impacto económico que tiene un

evento climático extremo no solo depende del evento por sí solo, sino también, por el tamaño de la economía del país. Segundo, al usar la metodología de los DSGE se pueden hacer análisis normativos y no solamente para propósitos descriptivos, mediante la simulación de cómo reaccionaría la economía ante diferentes políticas económicas o choques externos, así como la capacidad de poder explicar la incertidumbre provocada por los choques climáticos, es decir, el modelo es capaz de integrar y analizar cómo los eventos climáticos extremos y sus consecuencias impactan a la economía.

Capítulo 2

Revisión de literatura

Hoy en día el debate acerca de si los bancos centrales deben o no involucrarse en las cuestiones climáticas continúa. Puede parecer, a primera vista, que no existe alguna relación entre ambos, sin embargo, estos están más estrechamente relacionados de lo que parece. No es extremo pensar que los responsables de la política económica deben incorporar la nueva realidad del cambio climático al marco de la política monetaria. La primera razón para considerar este enfoque es debido a la posibilidad de que la realización de choques climáticos extremos impidiera la capacidad del banco central de llevar a cabo sus mandatos. La evidencia reciente muestra que un aumento en la frecuencia de eventos climáticos extremos puede ocasionar que las variaciones a corto plazo en la producción sean más pronunciadas, lo que intensifica la volatilidad macroeconómica a largo plazo.

La literatura sobre el efecto que tiene el cambio climático sobre la economía y sobre la política monetaria es reciente, pero está aumentando rápidamente. Tanto reguladores, así como los bancos centrales han empezado a voltear a ver los impactos del cambio climático y los riesgos (físicos y transitorios) que implica para la estabilidad de la economía, así como para el sistema financiero. Por ejemplo, Svartzman et al. (2020), estudian la identificación y gestión de riesgos financieros relacionados con el clima y cómo el enfoque estándar que se usa para modelar el riesgo financiero, que en su mayoría se basa en proyecciones que se extienden más allá de las distribuciones históricas de los rendimientos, pierde su validez en un mundo que está siendo transformado por el cambio climático, entre otras razones, porque en el pasado los cambios en los mercados financieros han sido principalmente impulsados por eventos extremos en lugar de seguir patrones de distribución normal.

Por otro lado, si no se aborda adecuadamente el cambio climático, los riesgos para la

transmisión de políticas podrían aumentar debido a un aumento abrupto en las primas de riesgo crediticio. Incluso los bancos centrales podrían enfrentar pérdidas potenciales, ya sea por valores adquiridos en programas de compra de activos o por garantías proporcionadas en operaciones de política monetaria (Schnabel, 2021). Tanto el cambio climático como las medidas para reducir sus efectos pueden influir directamente en la evolución de la inflación. Por ejemplo, McKibbin et al. (2020), analiza la importancia de considerar las políticas monetarias y climáticas en conjunto, ya que, ambos pueden tener impactos significativos en la economía. Políticas de mitigación de emisiones de carbono o sistemas de permisos de emisión pueden considerarse como choques negativos en la oferta. Por lo tanto, puede afectar la capacidad de los bancos centrales en el manejo del aumento generalizado de los precios. A menos que se implementen medidas de mitigación más firmes, existe un creciente riesgo de enfrentar impactos climáticos aún más significativos, con efectos de largo plazo en los precios y los salarios. Estas políticas de mitigación también pueden llevar a cambios importantes y de largo plazo en los precios relativos de bienes y servicios y al final provocar diferencias importantes entre la inflación general, que toma en cuenta todos los componentes del índice de precios, y la inflación subyacente, que excluye los elementos más volátiles como energéticos. Por ejemplo, los sistemas de fijación de precios de carbono, pueden afectar la estabilidad de precios. Esta diferencia puede impedir la tarea de los bancos centrales al momento de ajustar la política monetaria (Schnabel, 2021). Dada esta evidencia podríamos argumentar que los bancos centrales deben desempeñar un papel más activo en la promoción de políticas que aborden los desafíos del cambio climático y la sostenibilidad a nivel global.

En el ámbito internacional en 2017, se fundó la Red de Bancos Centrales y Supervisores para Enverdecer el Sistema Financiero (NGFS, por sus siglas en inglés). Esta red global formada por 83 bancos centrales y supervisores financieros tiene como objetivo fomentar la estabilidad financiera y manejar los riesgos asociados al cambio climático. En 2019, el NGFS publicó su primer informe integral. En el cual se destacó cómo el cambio climático afecta la política monetaria y al sistema financiero. Esto se hace identificando y gestionando los riesgos financieros, climáticos y destacando cómo los modelos de riesgo financiero tradicionales pueden ser ineficientes en un contexto de un creciente cambio climático. Recientemente, la preocupación internacional ha crecido y esto se puede ver reflejado en los numerosos reportes, escenarios y pronósticos publicados por el NGFS. Estos documentos discuten las posibles repercusiones del cambio climático y los impactos en la sociedad para

poder adaptarse y enfrentar estos desafíos.

Otros estudios han ido orientados a reforzar la idea de que incorporar los choques climáticos en el proceso de política monetaria es necesario, ya que, estos pueden influir en el nivel de precios y la inflación como lo afirma Chen et al. (2021), donde realiza un modelo de Equilibrio General Estocástico Dinámico Ambiental (E-DSGE) con una regla de Taylor aumentada introduciendo políticas climáticas. Se concluye que una regla de política monetaria que considera el cambio climático puede repercutir en un menor nivel de inflación y una trayectoria del PIB más estable en presencia de choques climáticos, comparado con una regla de política monetaria estándar que no incorpora el cambio climático. Para el caso de Estados Unidos Keen y Pakko (2011), mediante la elaboración de un DSGE resaltan la necesidad de respuestas efectivas en la política monetaria para enfrentar eventos climáticos extremos como el caso del huracán Katrina. Concluyen que aumentar la tasa de interés nominal era la respuesta adecuada para mitigar los efectos temporales en la inflación y la producción provocados por el huracán. La literatura sugiere el hecho de que la transformación de un desastre en un impacto macrofinanciero que afecte a toda la economía no solo está determinado por las características del desastre en sí, sino también por el tamaño y la diversificación de la economía en cuestión. Por ejemplo, Ishizawa y Miranda (2016), realizan un estudio en Centroamérica donde hallaron que un incremento en la variabilidad de la intensidad de los huracanes conduce a una reducción en el PIB per cápita, que oscila entre el 0,9 % y el 1,6 %, así como a una disminución del 3 % en el ingreso total. Los resultados de los diversos estudios muestran que el impacto del cambio climático sobre el manejo de la política monetaria depende no solo de la incorporación de los de los eventos climatológicos extremos, sino también, difieren sustancialmente dependiendo de la clase de modelos que se utilizan.

Entre las investigaciones que se enfocan en México y como está altamente expuesto a riesgos climáticos y ambientales se encuentran principalmente estudios descriptivos que analizan el impacto del cambio climático en el PIB de México, así como, en el ecosistema. Otra clase de estudios para el caso de la economía mexicana son los realizados por el Banco de México los cuales evalúan los efectos en el crecimiento de eventos climáticos como huracanes, frentes fríos y olas de calor severas de manera ad hoc y retrospectivamente. Esto implica analizar el impacto a corto plazo en el crecimiento del PIB después de que ocurre un evento climático, incluida la posibilidad de utilizar fondos de seguros públicos si estos están disponibles (NGFS, 2019). Otro caso de México es el que realiza el Banco de México

y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) (2020), los cuales publicaron un informe acerca del esfuerzo de las instituciones financieras mexicanas para incorporar los riesgos ambientales en sus estrategias de riesgo, así como para aprovechar las oportunidades que resultarán de la transición hacia una economía con bajas emisiones de carbono. A pesar de estos estudios, es importante destacar que, hasta el momento, no se han realizado estudios que aborden explícitamente el papel de la política monetaria en México para contrarrestar los efectos de los choques climáticos ni evaluaciones mediante modelos DSGE de estos choques.

Capítulo 3

Modelo

En esta sección se desarrolla el modelo que se usa en el proyecto de investigación. Se presenta un modelo DSGE propuesto por Kara y Thakoor (2023), que se utiliza para analizar el impacto de eventos climáticos extremos sobre la economía. A este modelo se incorporan específicamente la probabilidad de incidencia de temperaturas y precipitaciones extremas para el caso de México mediante la integración de choques estocásticos que simulan estos fenómenos climáticos.

En la economía del modelo propuesto hay cuatro agentes: Los hogares, que maximizan su utilidad esperada dada una función de utilidad y tienen que decidir sobre cuánto consumir y cuánto trabajar sujeta a una restricción presupuestaria. Las empresas, producen bienes en función del capital y el trabajo mediante una función de producción Cobb-Douglas. Toman decisiones sobre el nivel de empleo utilizado en la producción, así como, del capital y donde la productividad puede verse afectada por los choques estocásticos relacionados con eventos climáticos extremos, específicamente, se analiza el impacto de las temperaturas extremas y precipitaciones extremas. El modelo también incluye al gobierno el cual impone impuestos y ejerce un gasto público. Por último, la autoridad monetaria maneja la política monetaria mediante una regla de Taylor ajustando tasas de interés en respuesta a choques económicos, incluidos los climáticos.

El propósito del modelo es doble: Primero, cuantificar cómo dichos eventos afectan variables económicas clave como la producción, la tasa de interés y la inflación. Segundo, mostrar cómo la política monetaria puede ajustarse para mitigar los efectos adversos de estos choques climáticos sobre la economía. Se utiliza Dynare, una plataforma especializada para modelos DSGE para llevar a cabo simulaciones que nos permitan observar las funciones

impulso respuesta de la economía ante tales choques.

El modelo que se usa es un modelo neo keynesiano estándar, conforme al usado por Christiano et al. (2005), y por Smets y Wouters (2007). Una diferencia clave entre estos estudios y el estudio que se propone es que la productividad (A_t) está sujeta a choques de desastre poco comunes que pueden ocurrir con una probabilidad p . Se usan dos probabilidades para el caso específico de México y la ocurrencia de un evento climatológico extremo, una probabilidad para el caso de ocurrencia de temperaturas extremas, por otro lado, también se usa la probabilidad de ocurrencia de precipitaciones extremas. A continuación, discutiremos el comportamiento de las empresas del modelo, luego el de los hogares, seguido por el gobierno y finalmente el de la autoridad monetaria.

Empresas

En el caso de las empresas hay un conjunto continuo indexadas por $i \in [0, 1]$. Las empresas tienen poder monopólico sobre un bien específico y producen bienes diferenciados. Además, las empresas operan con una tecnología que toma en cuenta el trabajo y el capital, así como la productividad, que puede verse alterada por los choques relacionados con eventos climáticos extremos.

$$Y_{it} = A_t N_{it}^{1-\alpha} K_{it}^{\alpha} \quad (1)$$

El choque que afecta la productividad sigue el siguiente proceso estocástico y el término de error se distribuye conforme a una especificación utilizada por Kara y Thakoor (2023).

$$a_t = \rho_a a_{t-1} + \varepsilon_{at} \quad (2)$$

Donde $a_t = \ln A_t$ y el término de error ε_a está dado por:

$$\varepsilon_{at} = \begin{cases} N(0,1) & \text{si } 1-p \\ \phi & \text{si } p \end{cases} \quad (3)$$

Es importante notar y enfatizar que esto difiere de los choques que normalmente se utilizan en la literatura de los modelos DSGE donde el supuesto es que el error del proceso estocástico solo puede distribuirse como una distribución con media cero y varianza constante. Los valores negativos del parámetro ϕ en (3) indican cambios en la cola izquierda de una distribución, lo que se interpreta como la ocurrencia de un evento climático extremo.

Los bienes diferenciados se combinan para producir el bien final de acuerdo con una función de producción estándar de Dixit Stiglitz que se muestra en la siguiente ecuación:

$$Y_t = \left(\int_0^1 Y_{it}^{\frac{\varepsilon-1}{\varepsilon}} di \right)^{\frac{\varepsilon}{\varepsilon-1}} \quad (4)$$

Donde ε es la elasticidad de sustitución entre diferentes bienes intermedios. El índice de precios se representa de la siguiente forma:

$$P_t = \left(\int_0^1 P_{it}^{1-\varepsilon} di \right)^{\frac{1}{1-\varepsilon}} \quad (5)$$

Donde P_t representa el nivel general de precios. Con estos supuestos, la demanda del bien i viene dada por:

$$Y_{it} = \left(\frac{P_{it}}{P_t} \right)^{-\varepsilon} Y_t \quad (6)$$

El costo marginal está dado por:

$$mc_t = \left(\frac{1}{1-\alpha} \right)^{1-\alpha} \left(\frac{1}{\alpha} \right)^\alpha \frac{w_t^{1-\alpha} (R_t^k)^\alpha}{A_t} \quad (7)$$

Se usa el supuesto de que los precios son rígidos y se fijan según un proceso de Calvo, es decir, solo un porcentaje de las empresas puede cambiar sus precios en un periodo determinado. Esto significa que en cualquier periodo, solo una fracción de las empresas actualiza sus precios, mientras que las demás deben mantenerlos constantes hasta que les llegue su turno de poder cambiarlos. Las ecuaciones para la fijación de precios están dadas por:

$$x_{1t} = \mu_t mc_t y_t + \beta \gamma_p \pi_{t+1}^{\theta_p} x_{1t+1} \quad (8)$$

Donde 8 es una función auxiliar que sirve para encontrar la dinámica de los precios, μ_t es un parámetro de ajuste del costo marginal en el tiempo, y_t es el nivel de producción en el periodo t , γ_p es la probabilidad de no ajustar los precios en el proceso de Calvo, π_{t+1} es la inflación en el periodo $t+1$ y θ_p es la elasticidad de la demanda respecto al precio. La segunda función auxiliar está representada por:

$$x_{2t} = \mu_t \bar{p}^* y_t + \beta \gamma_p \pi_{t+1}^{\theta_p - 1} \left(\frac{\bar{p}_t^*}{\bar{p}_{t+1}^*} \right) x_{2t+1} \quad (9)$$

Donde \bar{p}_t^* representa el nivel de referencia de precios y $\frac{\bar{p}_t^*}{\bar{p}_{t+1}^*}$ es el ajuste de los precios en relación a los cambios que están previstos.

$$(\theta_p - 1)x_{2t} = \theta_p x_{1t} \quad (10)$$

x_{1t} y x_{2t} son variables auxiliares y $1 - \gamma_p$ es una tasa de riesgo porque representa la proporción de las empresas que pueden ajustar sus precios en cada período debido a la rigidez de precios. El índice de precios evoluciona según la siguiente ecuación:

$$1 = (1 - \gamma_p) \bar{p}_t^{*1-\theta_p} + \gamma_p \pi_t^{\theta_p-1} \quad (11)$$

La dispersión de precios está dada por:

$$s_t = (1 - \gamma_p) \left(\frac{1}{\bar{p}_t^*} \right)^{-\theta_p} + \gamma_p \pi_t^{\theta_p} s_{t-1} \quad (12)$$

Donde s_t denota dispersión de precios:

Usando las ecuaciones (1) y (6) y agregando, la producción agregada se puede expresar como:

$$Y_t = \frac{A_t N_t^{1-\alpha} K_t^\alpha}{s_t} \quad (13)$$

La producción agregada depende de la dispersión de precios y se reduce por su presencia. En este sentido la dispersión de precios puede considerarse como un choque negativo de productividad

Hogares

En el caso de los hogares de la economía propuesta se supone que todos los hogares son idénticos e indexados por $h \in [0, 1]$. Las preferencias de los hogares se definen con base en dos elementos: el consumo y el trabajo. La función de utilidad esperada tiene la siguiente forma:

$$E_t \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t \left(\frac{C_t^{1-\sigma}}{1-\sigma} - \frac{N_t^{1+\eta}}{1+\eta} \right) \quad (14)$$

Donde β representa el factor de descuento, C_t denota consumo, N_t representa las horas trabajadas, σ es la elasticidad intertemporal de sustitución en el consumo y η es la inversa de la elasticidad de Frisch de la oferta de trabajo.

La restricción presupuestaria intertemporal está dada por:

$$P_t C_t + I_t P_t + \sum_{s_{t+1}} Q(s_{t+1}|s_t) B(s_{t+1}) + T_t \leq B_t + R_t K_t + W_t N_t + \Pi_t \quad (15)$$

Donde $B_{s_{t+1}}$ indica un bono nominal de un período que cuesta $Q(s_{t+1}|s_t)$ en el estado s_t . P_t es el nivel general de precios, I_t es la inversión en capital, K_t es el acervo de capital, R_k la tasa de alquiler del capital, W_t es la tasa salarial, T_t indica la cantidad de impuestos pagados por los hogares al gobierno y Π_t denota el beneficio que los hogares obtienen de las empresas.

Se supone que los hogares poseen todo el capital físico, K_t y se asume que el capital social crece según la siguiente dinámica:

$$K_{t+1} = (1 - \delta)K_t + (1 - S(\frac{I_t}{I_{t-1}}))I_t \quad (16)$$

Donde I_t denota inversión y δ es la tasa de depreciación. S representa el costo de ajuste de la inversión y presenta las propiedades estándar: $S = S' = S'' = 0$ y $S''' > 0$. Se supone que tiene la siguiente forma funcional:

$$S(\frac{I_t}{I_{t-1}}) = \frac{\kappa}{2}(\frac{I_t}{I_{t-1}} - 1)^2 \quad (17)$$

S sigue una forma como se muestra en (17).

A partir del problema de optimización que se plantea para el caso los hogares las condiciones de primer orden son las siguientes:

$$\lambda_t = C_t^{-\sigma} \quad (18)$$

$$E_t [Q(s_{t+1} | s_t)] = \frac{1}{R_t} \quad (19)$$

$$\lambda_t = \beta E_t \left[\lambda_{t+1} \frac{R_t^k}{\pi_{t+1}} \right] \quad (20)$$

$$1 = q_t \left(1 - \frac{\kappa}{2} \left(\frac{I_t}{I_{t-1}} - 1 \right)^2 - \kappa \left(\frac{I_t}{I_{t-1}} - 1 \right) \frac{I_t}{I_{t-1}} \right) + \dots$$

$$\dots + \beta q_{t+1} E_t \left[\frac{\lambda_{t+1}}{\lambda_t} \kappa \left(\frac{I_{t+1}}{I_t} - 1 \right) \left(\frac{I_{t+1}}{i_t} \right)^2 \right] \quad (21)$$

$$q_t = \beta E_t \left[\frac{\lambda_{t+1}}{\lambda_t} \left((1 - \delta) q_{t+1} + R_{t+1}^k \right) \right] \quad (22)$$

Donde λ_t es el multiplicador Lagrangiano.

Fijación salarial

Ahora se describe la manera en que se fijan los salarios, dado que los hogares suministran mano de obra diferenciada N_h , donde están indexados por $h \in [0, 1]$. Se pone como supuesto que un sindicato combina diferentes insumos laborales en un único insumo laboral compuesto:

$$N_t = \left(\int_0^1 N_{ht}^{\frac{\theta_w - 1}{\theta_w}} dh \right)^{\frac{\theta_w}{\theta_w - 1}} \quad (23)$$

Donde θ_w es la elasticidad de sustitución entre diferentes insumos de trabajo. La demanda de insumo de mano de obra tipo h está dada por

$$N_t(h) = \left(\frac{W_{ht}}{W_t} \right)^{-\theta_w} N_t \quad (24)$$

La demanda de insumo laboral tipo h depende de su propio salario (W_{ht}), salario agregado (W_t) y demanda laboral agregada. Por lo tanto, el salario agregado esta dado por la siguiente ecuación:

$$W_t = \left(\int_0^1 W_{ht}^{1-\theta_w} dh \right)^{\frac{1}{1-\theta_w}} \quad (25)$$

Los hogares fijan sus salarios según un proceso de Calvo, es decir, que en cada período sólo una fracción $1 - \gamma_w$ de los hogares puede ajustar sus salarios nominales. El salario de la porción de los hogares que pueden ajustarlo se actualizará a un salario idéntico (W_t^*). Esta fracción de los hogares fijan sus nuevos salarios en función de sus condiciones actuales y de sus expectativas, mientras que, la fracción de los hogares que no puede actualizar sus salarios siguen con el mismo salario del periodo anterior. Los salarios en términos de su valor real de la fracción de los hogares que pueden actualizarlos en el periodo t es: $w_t^* = \frac{W_t^*}{P_t}$ y $w_t = \frac{W_t}{P_t}$ es el salario real promedio en la economía, tomando en cuenta tanto a los hogares que han podido ajustar sus salarios en el periodo t como aquellos que no. Por tanto, el salario real nuevo se puede expresar como

$$(w_t^*)^{1+\theta_w\eta} = \frac{\theta_w}{\theta_w - 1} \quad (26)$$

El salario medio real está dado por la siguiente ecuación:

$$w_t^{1-\theta_w} = \gamma_w w_{t-1}^{1-\theta_w} \left(\frac{\pi_{t-1}}{\pi_t} \right)^{1-\theta_w} + (1 - \gamma_w) (w_t^*)^{1-\theta_w} \quad (27)$$

Gobierno

En el caso del gobierno este gasta g_t en cada período. El gasto se financia mediante impuestos y endeudamiento. El presupuesto del gobierno evoluciona según la siguiente ecuación:

$$b_t = b_{t-1} \frac{R_{t-1}}{\pi_{t-1}} + g_t - T_t \quad (28)$$

Donde b_t denota el valor real de la deuda pública. Para fijar los impuestos, el gobierno sigue la siguiente regla:

$$\frac{T_t}{y_t} = \tau^* + \gamma_1 \left(\frac{b_{t-1}}{y_{t-1}} - b^* \right) + \gamma_2 \left(\frac{b_{t-1}}{y_{t-1}} - \frac{b_{t-2}}{y_{t-2}} \right) \quad (29)$$

Donde τ^* denota el valor del estado estacionario (la relación impositiva), b^* es el objetivo fiscal y γ los coeficientes de los parámetros de las variables objetivo. La política fiscal tiene como meta estabilizar un determinado objetivo (b^*) de la razón deuda/PIB $\left(\frac{b_t}{y_t} \right)$ cambiando la tasa impositiva τ_t

Autoridad Monetaria

La tasa de interés se fija según una regla del estilo de Taylor viene dada por (en logaritmos):

$$r_t - r = \phi_\pi (\pi_t - \pi) + \phi_y (y_t - y_{t-1}) \quad (30)$$

La tasa de interés nominal responde a la inflación y al crecimiento de la producción. ϕ_π y ϕ_y son los coeficientes de las variables objetivo. Las variables sin un subíndice de tiempo indican los valores de estado estacionario.

Capítulo 4

Calibración

A continuación, se calibra el modelo con una frecuencia trimestral tomando valores comunes en la literatura sobre ciclos económicos, tomando valores usados en otros ejercicios de calibración de modelos DSGE y calculando algunos parámetros con datos del Producto Interno Bruto (PIB) tomados del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2024). Los valores se muestran en la tabla 4.1.

Para los parámetros estructurales de la economía se establece el factor de descuento intertemporal β en 0.99. Se supone α igual a 0.3 que es la participación del capital en la función de producción. Para la aversión al riesgo, σ , el valor se fija en 1. El valor de la elasticidad de Frisch de la oferta laboral, $\frac{1}{\eta}$, se especifica en 0.5. El valor de los parámetros para los procesos de Calvo para los precios y salarios son 0.6 y 0.75 respectivamente. La elasticidad de sustitución entre bienes, θ_p , es 10 y para el caso de la elasticidad de sustitución de la mano de obra, θ_w , al igual que en el caso de los bienes es igual a 10. Una elasticidad alta para ambos casos implica que la mano de obra entre diferentes sectores, así como, los bienes entre diferentes industrias son fácilmente sustituibles. Para cuestiones del modelo DSGE estos valores implican respuestas más volátiles en el mercado laboral y en el mercado de bienes a los choques externos. La tasa de depreciación, δ , se utiliza un valor de 0.025. Por último, la relación deuda/PIB en el estado estacionario se utiliza un valor de 0.5.

Tabla 4.1. Calibración de valores para parámetros

| Parámetro | Nombre | Valor | Fuente |
|---------------------------------|---|--------|--------------------------------------|
| Párametros Estructurales | | | |
| β | Factor de descuento Intertemporal | 0.99 | Valor usual en la literatura |
| α | Participación del capital en la función de producción | 0.3 | Valor usual en la literatura |
| σ | Aversión al riesgo | 1 | Literatura |
| $\frac{1}{\eta}$ | Elasticidad Frisch | 0.5 | Literatura |
| ε_p | Probabilidad de Calvo (Precios) | 0.6 | Literatura |
| ε_w | Probabilidad de Calvo (Salarios) | 0.75 | Literatura |
| θ_p | Elasticidad de sustitución (Bienes) | 10 | Literatura |
| θ_w | Elasticidad de sustitución (Mano de obra) | 10 | Literatura |
| δ | Tasa de depreciación | 0.025 | Valor usual en la literatura |
| $\frac{b}{y}$ | Relación Deuda/PIB en estado estacionario | 0.5 | Estimación con datos de INEGI |
| Párametros de política | | | |
| g_y | Participación del gobierno en la economía | 0.25 | Valor usual en la literatura |
| ϕ_π | Coficiente de respuesta a la brecha de inflación | 1.5 | Literatura |
| ϕ_y | Coficiente de respuesta a la brecha del producto | 0.5 | Literatura |
| γ_1 | Cofeciente de regla fiscal sobre la deuda | 0.04 | Literatura |
| γ_2 | Parámetro de suavizamiento de los impuestos | 0.3 | Literatura |
| b_y | Proporción de bonos en estado estacionario | 0.4 | Literatura |
| Párametros de choque | | | |
| ρ_a | Persistencia del choque de productividad | 0.9 | Valor usual en la literatura |
| $std(\varepsilon_{at})$ | Desviación estandar del choque | 0.0075 | Valor obtenido mediante simulaciones |
| P_T | Probabilidad de temperaturas extremas | 0.30 | Literatura |
| P_P | Probabilidad de precipitaciones extremas | 0.20 | Literatura |

Fuente: Elaboración propia.

Para el caso de los parámetros de política del modelo se usa un valor de 0.25 para la participación del gobierno en la economía g_y . Por otro lado, γ_1 que representa el coeficiente de la regla fiscal sobre la deuda se usa un valor de 0.04. El valor del parámetro de suavización de impuestos, γ_2 , toma el valor de 0.3. La proporción de bonos en estado estacionario, b_y , es 0.4. Para la regla de política monetaria, se usan los valores 1.5 y 0.5 para el coeficiente de respuesta a la brecha de inflación (ϕ_π) y el coeficiente de respuesta a la brecha del producto(ϕ) respectivamente.

Finalmente, para los parámetros de choque se utilizan los siguientes valores: Para la persistencia del choque en la productividad ρ_a se usa el valor de 0.9 y 0.0075 para la desviación estándar. Por ultimo se fija la probabilidad de temperaturas extremas, P_T , en 0.30 y la probabilidad de precipitaciones extremas, P_P , en 0.20.

Capítulo 5

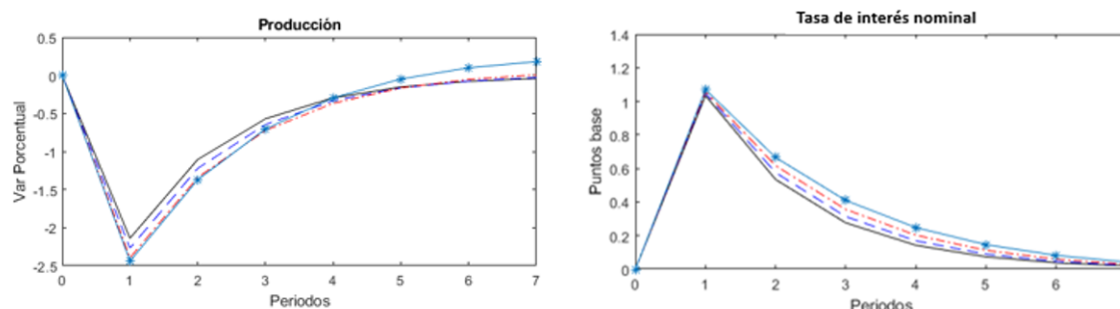
Resultados

En esta sección se examina el impacto de un evento climático extremo en las variables claves del modelo para lo cual se presenta una comparación entre un caso donde el choque a la producción se distribuye con una especificación estándar dentro de la literatura de RBC, es decir, como una normal con media 0 y varianza constante. Por otro lado, en el segundo caso se hace uso de la especificación que se propone para el error del choque como una distribución mixta donde con probabilidad $(1 - p)$ se distribuye como una normal con media 0 y varianza constante y con probabilidad p ocurre un evento climático extremo. A continuación, se presentan las funciones impulso respuesta que se obtuvieron para ambos casos para las variables de producción y tasa de interés nominal, ya que lo que se desea es mostrar el impacto que tienen los eventos climáticos extremos sobre la política monetaria. Cada uno de los diferentes trazos de las gráficas representan diferentes probabilidades de ocurrencia de choques climáticos (0 %, 5 %, 10 %, y 15 %).

La figura 5.1 muestra las funciones impulso respuesta para el caso estándar dentro de la literatura de los DSGE donde los choques a la productividad siguen un proceso estocástico estándar.

La primera gráfica muestra la respuesta de la producción ante un choque. La producción inicialmente cae y luego se recupera gradualmente hacia su nivel original. Se puede notar que, a mayor probabilidad de choques, mayor es la caída inicial en la producción. En este caso ante una probabilidad de 15 % la producción cae un 3 %. Sin embargo, la suposición de que los choques a la productividad son temporales permite que la recuperación posterior de la producción no es afectada por las diferentes probabilidades del choque climático. La segunda gráfica ilustra la respuesta de la tasa de interés nominal después del choque. Hay un

Figura 5.1. Funciones impulso respuesta sin considerar una distribución mixta del error

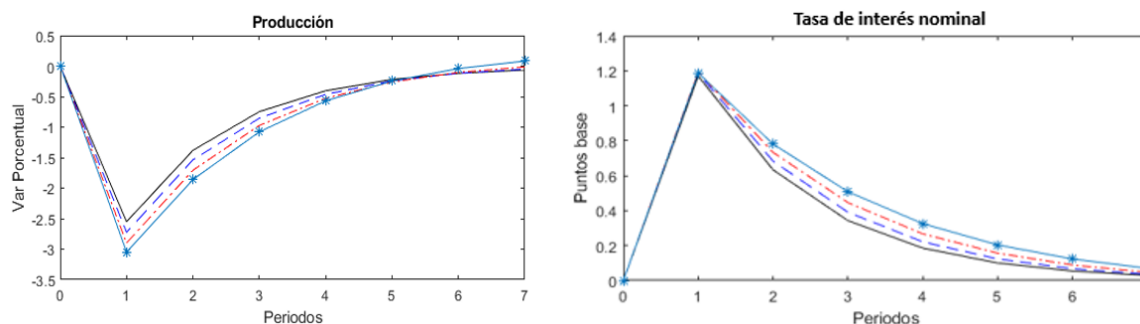


Fuente: Elaboración propia.

aumento marcado inmediatamente después del choque, seguida de un retorno gradual. La literatura, generalmente, argumenta que la autoridad monetaria que se rige mediante una regla de Taylor debe relajar la política monetaria tras una caída en la producción con el fin de estimular la economía. La disminución de la producción por debajo de su nivel potencial tendría como consecuencia una disminución en la tasa de interés nominal (Mishkin, 2018). Además, dado que se obtienen resultados contraintuitivos en el comportamiento de los precios (la inflación cae después del choque climático), la tasa de interés nominal debería reducir para contrarrestar la caída de la inflación. Por lo tanto, este segundo resultado es contraintuitivo y requiere más análisis. Sin embargo, el análisis elaborado por Cantelmo et al. (2021), muestra que en varios casos la mejor respuesta de la autoridad monetaria después de un choque climático es aumentar la tasa de interés nominal cuando hay una caída en la producción y un aumento en la inflación. Por lo que este segundo resultado se debe considerar con cuidado. Se observa que conforme aumenta la probabilidad de un evento climático extremo el aumento de la tasa de interés encuentra su máximo en 1.2 % por arriba de su estado estacionario para cualquiera que sea la probabilidad de un evento climático extremo. Sin embargo, conforme la probabilidad aumenta, la tasa de interés nominal vuelve a su estado estacionario.

Ahora se considera el caso con un choque de productividad que tiene una distribución mixta, es decir, normal la mayoría del tiempo, pero con una probabilidad p de ser un evento extremo (representado por el parámetro ϕ). Los gráficos de las funciones de impulso respuesta muestran cómo las distintas variables económicas clave responden a lo largo del tiempo a un choque.

Figura 5.2. Funciones impulso respuesta considerando la especificación del error sugerido



Fuente: Elaboración propia.

En la primera gráfica se muestra la producción que sufre una caída inmediatamente después del choque en la tecnología estándar, lo que es típico después de un choque negativo de productividad. La presencia de choques de eventos climáticos extremos (mayor p) conduce a una caída más pronunciada. Sin embargo, se puede notar que a diferencia del caso estándar donde no se considera una distribución mixta que incluya los choques climáticos, ante una probabilidad de 15 % la caída de la producción llega a 2.5 % , es decir hay una diferencia de 0.5 % entre ambas especificaciones del modelo, se observa también que la producción se recupera con el tiempo hacia su nivel de estado estacionario, lo que indica que el choque no tiene efectos permanentes. La segunda gráfica muestra un aumento en la tasa de interés nominal para cada nivel de probabilidad. Sin embargo, inmediatamente después del primer periodo se muestra un descenso hacia su nivel de estado estacionario. Reforzando el resultado obtenido en el escenario anterior donde el comportamiento de la tasa de interés nominal es contraintuitivo ante un escenario donde hay una caída en la producción, destacando el hecho de una anomalía en el funcionamiento del modelo DSGE. Comúnmente, la autoridad monetaria reduce la tasa de interés nominal en respuesta a caídas en la actividad económica y en los niveles de inflación para fomentar el gasto y la inversión. A medida que la economía se estabiliza, la tasa de interés vuelve a converger a su valor de estado estacionario, pero su trayectoria puede variar dependiendo de la magnitud del choque extremo.

En comparación con un modelo sin la especificación del choque que se propone, el modelo con una distribución mixta para el término de error proporciona varias ventajas. En primer lugar, el modelo otorga mayor realismo al incorporar la posibilidad de choques extremos. A su vez, el modelo capta mejor la realidad de los eventos económicos, donde las distribuciones no siempre son normales y los eventos de cola pueden tener impactos significativos. En

segundo lugar, ofrece una base más sólida para el diseño de políticas monetarias, ya que se toman en cuenta los efectos de eventos extremos que podrían requerir una respuesta política diferente. Por último, mejora la capacidad de la economía para gestionar el riesgo, al permitir que se considere y se prepare para la posibilidad de eventos extremos.

5.1. Escenarios para el caso de México

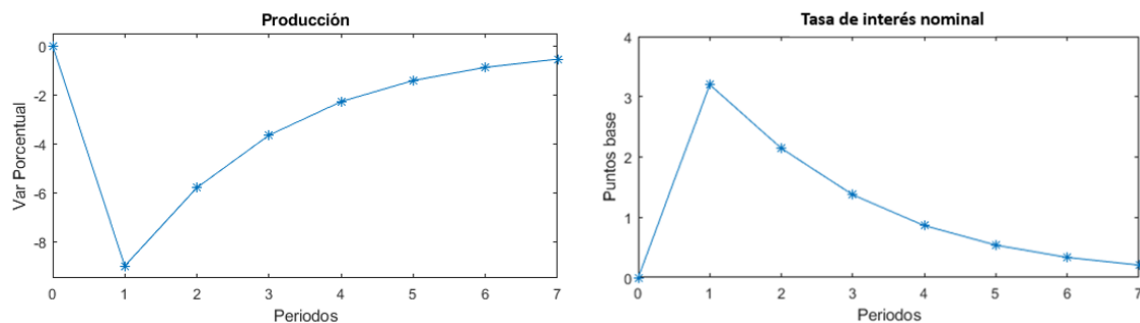
En esta sección, se pretende evaluar el impacto de diferentes tipos de eventos climáticos extremos para el caso de la economía mexicana y ver su impacto en variables clave como: la producción y tasa de interés nominal. Específicamente se analizarán dos escenarios, el primero considera un escenario con temperaturas extremas y el segundo considera un escenario con precipitaciones extremas. Dado el aumento de frecuencia y severidad de estos eventos como resultado del cambio climático, es crucial entender cómo estos fenómenos pueden afectar variables macroeconómicas claves para la política monetaria. El objetivo principal es analizar los efectos económicos de estos dos tipos de eventos climáticos, utilizando el modelo DSGE propuesto que incorpora los choques climáticos de manera explícita. De esta manera se busca ofrecer un panorama que pueda incorporarse en el marco de la formulación de la política monetaria para una adaptación más efectiva en respuesta a los riesgos que trae el cambio climático, los cuales no estarían adecuadamente representados mediante una distribución normal que supone una menor probabilidad de ocurrencias de eventos climatológicos extremos.

Dentro del marco del modelo DSGE, los choques para temperaturas extremas y precipitaciones extremas se modelan como perturbaciones estocásticas que afectan directamente la productividad. Dentro de la modelación de los choques se requiere como parámetro la probabilidad de ocurrencia de las temperaturas extremas y de precipitaciones extremas. Para la simulación de escenarios se usó las probabilidades estimadas reportadas en Estrada et al. (2023), donde para el caso de temperaturas extremas se usa una probabilidad, P_T , de 30 % mientras que para el caso de precipitaciones extremas se usa una probabilidad, P_P , de 20 %. Esto implica que con probabilidad $(1 - P_T)$ el error del choque seguirá una distribución normal y se comportara como un choque estándar de la literatura de los RBC. Lo mismo ocurre para el caso de las precipitaciones extremas. Las probabilidades pueden ser aparentemente

altas. Sin embargo, este rango de probabilidades es adecuado para reflejar cómo el cambio climático está modificando la frecuencia y severidad de estos fenómenos meteorológicos extremos en distintas regiones, incluyendo México. Por lo tanto, el uso de estas probabilidades permite al modelo reflejar con más precisión el riesgo de esta clase de eventos climáticos extremos.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para las funciones de impulso respuesta para las variables claves del modelo para ambos casos de eventos climáticos. El primero un escenario con precipitaciones extremas y el segundo un escenario con temperaturas extremas.

Figura 5.3. Funciones impulso respuesta considerando precipitaciones extremas como evento climático



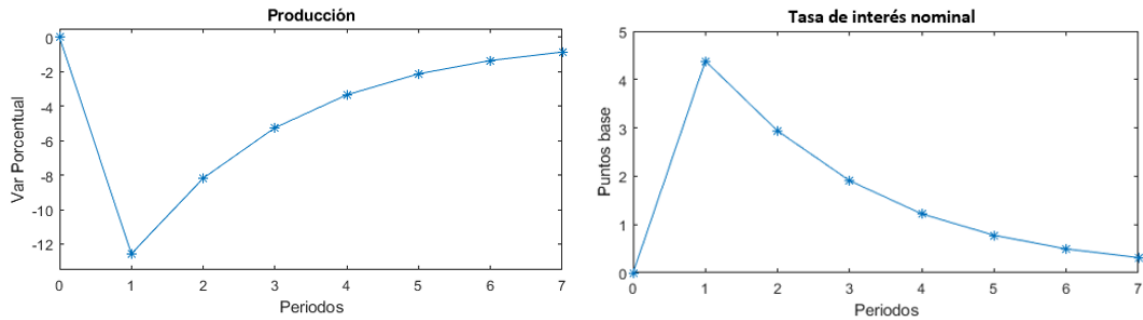
Fuente: Elaboración propia.

La figura 5.3 muestra las funciones impulso respuesta para el caso donde se propone como evento climático las precipitaciones extremas. La primera gráfica muestra la respuesta de la producción después de la ocurrencia de precipitaciones extremas. La caída de la producción debido a la presencia de precipitaciones extremas en el momento del choque llega hasta el 9%. Esto puede sugerir que las precipitaciones extremas tendrán un impacto negativo directo en la actividad económica. Esto podría ser el reflejo de varias situaciones, por ejemplo, daños al capital físico e infraestructura, interrupciones en la cadena de suministro o una reducción en la productividad del trabajo. Después la producción se recupera gradualmente hacia su nivel original lo que se debe a la naturaleza temporal de los choques. La segunda gráfica muestra la reacción de la tasa de interés y su comportamiento en el tiempo después del choque de precipitaciones extremas. El aumento inicial que se da en la tasa de interés nominal es de un 3.2 %.

Ahora se presentan los resultados para el segundo escenario de evento climático que

plantea la realización de temperaturas extremas, en este caso, se usa una probabilidad de 30 % para la simulación del modelo DSGE y se obtienen las funciones impulso respuesta para las mismas variables que en el escenario anterior.

Figura 5.4. Funciones impulso respuesta considerando temperaturas extremas como evento climático



Fuente: Elaboración propia.

La figura 5.4 muestra las funciones impulso respuesta para el caso donde se propone como evento climático las temperaturas extremas. La primera gráfica expone la evolución de la producción después del choque climático. La caída es significativa ya que al momento del choque la producción muestra un descenso de 13 % con respecto de su estado estacionario. Esto refleja daños que suelen relacionarse con respecto a infraestructura productiva, efectos adversos sobre el mercado laboral y la eficiencia en el trabajo, y una disminución en la productividad agrícola (Dell et al., 2012). El regreso de la producción a su nivel de su estado estacionario es debido a la naturaleza misma de los choques de oferta de corto plazo y al mismo diseño del modelo DSGE que generalmente asumen cierto nivel de flexibilidad en los mercados al momento de ajustar los precios y salarios lo que permite la recuperación de la economía hacia su estado estacionario después del choque. En el caso de la segunda gráfica que nos muestra el comportamiento de la tasa de interés nominal el pico en la tasa de interés nominal justo después del choque eleva la tasa en un 4.5 % por arriba de su estado estacionario y que podría interpretarse como un endurecimiento de la política monetaria.

Los dos escenarios presentan funciones impulso respuesta derivadas de la introducción de choques climáticos en el modelo DSGE. A continuación, se discute acerca de las similitudes y diferencias en los impactos económicos de ambos eventos climáticos. Por el lado de las similitudes ambos tipos de eventos climáticos extremos muestran un efecto inmediato y negativo en la producción. Este hecho refleja el consenso que se tiene de que los eventos climáticos extremos tienen impactos adversos en la infraestructura, los recursos humanos y

la agricultura. Por ejemplo, las temperaturas extremas afectan la productividad laboral, especialmente en sectores que requieren trabajo físico, de igual manera, puede reducir significativamente los rendimientos de cultivos importantes y afectar las expectativas sobre precios futuros de estos bienes como muestra (Barza y Walker, 2021), mientras que las precipitaciones extremas tienen un impacto sobre la infraestructura y la salud pública. Esto podría traducirse en un aumento de los costos de desastres y en la necesidad de mayores inversiones en adaptación y mitigación (Liu et al., 2020).¹

Una segunda similitud que comparten ambos escenarios es el comportamiento de la tasa de interés nominal. En ambos escenarios la tasa de interés aumenta. Este resultado, aunque concuerda con obtenidos en otros estudios, no es realista en la teoría de la política monetaria bajo este escenario. Por ejemplo, Keen y Pakko (2011), encuentran que la respuesta óptima de la tasa de interés nominal tras un desastre natural es aumentar la tasa de interés nominal para mitigar los efectos inflacionarios temporales. Sin embargo, la teoría de la política monetaria normalmente sugeriría una disminución de la tasa de interés nominal ante caídas en la producción e inflación. Este inusual comportamiento de las funciones impulso respuesta de la tasa de interés nominal de las figuras 5.3 y 5.4 sugiere la necesidad de evaluar con cuidado los resultados obtenidos en la investigación. Así como, de ajustar el modelo para asegurar resultados acordes con los principios de la política monetaria. Estos resultados proporcionan una base para el análisis de política monetaria en contextos de choques climáticos.

Por último, en ambos escenarios todas las variables parecen volver a su estado estacionario en el mediano plazo, que estas variables vuelvan a su estado estacionario en el mediano plazo es consistente con la naturaleza de los choques que se suponen y con el diseño del modelo. El mismo diseño del modelo DSGE asegura la dinámica pasajera de los choques y permite a las variables volver a su trayectoria hacia un estado estable. Principalmente porque los modelos DSGE están diseñados para poder capturar las fluctuaciones temporales como los ajustes que llevan a las variables de la economía de nuevo a su equilibrio a largo plazo, sin importar, la clase de choques.

¹ Se obtuvieron resultados para otras variables como la inflación. Sin embargo, se necesita hacer análisis más rigurosos respecto al comportamientos de la función impulso respuesta debido a que los resultados son contraintuitivos y no se pueden considerar concluyentes.

Capítulo 6

Discusión

En esta sección se discuten algunos aspectos de importancia acerca del trabajo de investigación los cuales son: los hallazgos, el alcance y las limitaciones del estudio para poder proporcionar un contexto más amplio y una comprensión clara de las implicaciones de los resultados.

Dado los resultados de la sección anterior, se comprueba que eventos climáticos extremos tienen un impacto significativo en la producción y la tasa de interés nominal. Esto resalta la importancia de integrar consideraciones climáticas en la elaboración de la política monetaria. Las funciones impulso respuesta, elaboradas en Dynare, sugieren que los bancos centrales podrían necesitar ajustar la política monetaria para mitigar los impactos de estos choques climáticos. Por ejemplo, podría ser necesario reducir la tasa de interés más de lo normal para poder estabilizar la economía después de un choque climático.

El uso de un modelo DSGE es una herramienta útil para evaluar los impactos macroeconómicos de eventos climáticos extremos en diferentes variables macroeconómicas de importancia, ya que, permite integrar mediante un conjunto de ecuaciones dinámicas y estocásticas principios microeconómicos como competencia monopolística y rigideces nominales. Esta sólida base teórica asegura que el modelo refleje de manera más realista las interacciones económicas y las decisiones de agentes racionales lo que permite explicar de mejor manera la incertidumbre provocada por el cambio climático.

Sin embargo, es esencial reconocer que, el modelo DSGE no captura completamente todas las dinámicas económicas y sociales de una economía como la mexicana. En particular, el modelo se centra en aspectos específicos de la política monetaria y las respuestas macroeconómicas de corto y mediano plazo a los choques climáticos, pero puede omitir factores

importantes como los impactos a largo plazo en la infraestructura, la salud pública, y las desigualdades socioeconómicas. Además, los choques climáticos tienen costos que trascienden el corto plazo. Aunque nuestro análisis simula los efectos a corto y mediano plazo de estos eventos, es importante entender que los costos reales del cambio climático pueden trascender más allá, afectando el desarrollo económico de generaciones. Estos efectos prolongados pueden incluir el calentamiento de la tierra, la pérdida de biodiversidad y alteraciones permanentes en los ecosistemas locales, los cuales no están reflejados directamente en nuestro modelo.

Los resultados obtenidos, sugieren que ante la presencia de un choque climático extremo la tasa de interés nominal debe aumentar, esto indica que existen limitaciones o errores de especificidad en el modelo que requieren revisión y estudios posteriores. Es importante considerar estas respuestas contraintuitivas con cautela y reconocer que hay áreas de oportunidad para futuros ajustes en la modelación y en la evaluación de choques climáticos extremos. Aunque el comportamiento de la tasa de interés nominal concuerda con estudios que investigan la política monetaria óptima cuando ocurre un choque climático no se debe tomar como único indicador sobre cómo se comporta la producción y la tasa de interés nominal ante este tipo de eventos, ya que, la inflación se comporta a la baja en la simulación del modelo DSGE lo cual refuerza los resultados atípicos. Además, estos resultados resaltan la complejidad al momento de modelar las interacciones entre la economía y el cambio climático.

Por otro lado, aunque este trabajo avanza en la investigación del cambio climático y su efecto en la política monetaria es importante reconocer que existe aún mucha incertidumbre, si bien la metodología empleada es rigurosa, no se debe tomar como un indicador absoluto de los cambios económicos bajo diferentes escenarios climáticos. Ya que podría estar sobredimensionando el impacto de los choques climáticos sobre la producción, esto podría deberse a varias razones. Tal vez, los parámetros relacionados con la producción podrían estar sobrestimados. Por ejemplo, si la persistencia del choque se especifica mayor a lo que en realidad es podría conducir a un comportamiento mucho mayor de la caída de la producción de lo que realmente es. El modelo proporciona resultados basados en probabilidades, supuestos y fundamentos microeconómicos sólidos, para diferentes escenarios climáticos. Aún así, no pueden abarcar la totalidad de las variables y la incertidumbre de los eventos climáticos extremos y decisiones políticas futuras.

Por último, es importante aclarar el marco temporal en el que se realiza el ejercicio

de simulación. No necesariamente, en el largo plazo, las variables analizadas regresan a su estado estacionario original. Aunque los modelos DSGE suelen analizarse bajo la suposición de que, tras un choque, las variables tienden a volver a su trayectoria de equilibrio, la realidad puede ser otra, especialmente en el contexto de choques sustanciales y efectos permanentes como los relacionados con el clima.

Por tanto, es importante que los resultados de esta investigación se tomen como un punto de partida para discusiones más amplias sobre como el cambio climático puede afectar a la política monetaria, y no como soluciones definitivas. La adaptación de políticas efectivas requiere un enfoque mucho más integro, que considere tanto los resultados de modelos económicos como el conocimiento proveniente de las ciencias ambientales y sociales.

Capítulo 7

Conclusión

Este estudio analizó cómo los eventos climáticos extremos impactan en la economía y qué respuestas de política monetaria son más efectivas para mitigar los efectos que estos provocan. La pregunta de investigación se orientó en evaluar el impacto de eventos climáticos extremos en variables macroeconómicas como la producción y la tasa de interés nominal para el caso de México. Utilizando un modelo DSGE que permite la integración de choques climáticos mediante una especificación de probabilidad mixta en el término de error del choque se obtuvieron las funciones impulso respuesta de las variables macroeconómicas para el caso de temperaturas y precipitaciones mixtas. Los resultados obtenidos indican que los choques climáticos tienen efectos significativos, aunque transitorios en la producción que van del 9% al 13% dependiendo del tipo de evento climático extremo del que se trate. Las funciones impulso respuesta muestran una reacción atípica en el comportamiento de la tasa de interés nominal, que contrario a lo que se esperaría, aumenta en lugar de disminuir.

Los resultados del análisis, aunque congruentes con los encontrados por Keen y Pakko (2011), Barza y Walker (2021) y Cantelmo et al.(2024), en el comportamiento de la tasa de interés nominal contradicen la intuición económica que señala una reducción en la tasa de interés nominal ante caídas en la producción y en la inflación. Esto sugiere que el modelo puede estar sobrestimando los efectos o que las especificaciones del modelo requieren ajustes. El trabajo de investigación ofrece directrices para la incorporación de mecanismos que permita a la política monetaria tomar en cuenta el cambio climático en la política monetaria. Por lo tanto, los resultados obtenidos deben considerarse con cuidado y sirven como punto de referencia para futuros estudios que profundicen en el estudio de choques climáticos extremos y su impacto en la política monetaria.

Capítulo 8

Referencias

- Banco de México, & Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2020). *Riesgos y oportunidades climáticas y ambientales del sistema financiero de México: Del diagnóstico a la acción*. Banco de México.
- Barza, R., & Walker, O. (2021). *Extreme heat: The Economic and Social Consequences for the United States*. Atlantic Council.
- Chen, C., Pan, D., Huang, Z., & Bleischwitz, R. (2021). Engaging central banks in climate change? The mix of monetary and climate policy. *Energy Economics*, 103.
- Cantelmo, A., Fatouros, N., Melina, G., & Papageorgiou, C. (2024). Monetary Policy Under Natural Disaster Shocks. *International Economic Review*. doi: 10.1111/iere.12694
- Christiano, L. J., Eichenbaum, M., & Evans, C. L. (2005). Nominal Rigidities and the Dynamic Effects of a Shock to Monetary Policy. *Journal Of Political Economy*, 113(1), 1-45.
- Dell, M., Jones, B. F., & Olken, B. A. (2012). Temperature Shocks and Economic Growth: Evidence from the Last Half Century. *American Economic Journal: Macroeconomics*, 4(3), 66-95.
- Estrada, F., Perron, P., & Yamamoto, Y. (2023). Anthropogenic influence on extremes and risk hotspots. *Scientific Reports*, 13(1).

- Ishizawa, O. A., & Miranda, J. J. (2016). *Weathering Storms: Understanding the Impact of Natural Disasters on the Poor in Central America*. World Bank.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2024). *Economía y Sectores Productivos* [PIB y cuentas nacionales, Método de Gasto]. <https://www.inegi.org.mx/temas/pibtg/>
- Keen, B. D., & Pakko, M. R. (2011). Monetary Policy and Natural Disasters in a DSGE Model. *Southern Economic Journal*, 77(4), 973-990.
- Liu, Y., Chen, J., Pan, T., Zhang, Y., Ge, Q., Ciais, P., & Penuelas, J. (2020). Global Socio-economic Risk of Precipitation Extremes Under Climate Change. *Earth's Future*, 8(9).
- McKibbin, W. J., Morris, A. C., Wilcoxon, P. J., & Panton, A. J. (2020). Climate change and monetary policy: issues for policy design and modelling. *Oxford Review Of Economic Policy*, 36(3), 579-603.
- Mishkin, F. S. (2018). *The Economics of Money, Banking and Financial Markets, Global Edition*. Pearson Higher Education.
- Red para Enverdecer el Sistema Financiero. (2019, abril). *Un llamado a la acción: El cambio climático como fuente de riesgo financiero* (Primer informe integral). NFGS. https://www.ngfs.net/sites/default/files/medias/documents/reporte-de-la-ngfs-una-llamada-a-la-accion_es_290719_0.pdf
- Smets, F., & Wouters, R. (2007). Shocks and Frictions in US Business Cycles: A Bayesian DSGE Approach. *The American Economic Review*, 97(3), 586-606.
- Svartzman, R., Bolton, P., Despres, M., Da Silva, L. A. P., & Samama, F. (2020). Central banks, financial stability and policy coordination in the age of climate uncertainty: a three-layered analytical and operational framework. *Climate Policy*, 21(4), 563-580.

Schnabel, I. (2021). Climate change and monetary policy. *Finance & Development*, 58(3), 53-55.

Thakoor, V., & Kara, E. (2023). *Monetary Policy Design with Recurrent Climate Shocks* (Working Paper No. 2023/243), International Monetary Fund.

Tang, Y., Duan, H., & Yu, S. (2023). Mitigating climate change to alleviate economic inequality under the Paris Agreement. *iScience*, 26(1), 105734.

Apéndice A : Estado estacionario

En este apéndice se describen las ecuaciones de estado estacionario del modelo DSGE

$$\bar{p}^* = \left(1 - \gamma_p \pi^{\theta_p - 1}\right)^{\frac{1}{1 - \theta_p}} \quad (1)$$

Donde \bar{p}^* es el nivel de precios promedio en la economía en estado estacionario. Cuando γ_p es bajo, indica una menor tasa de fijación de precios, lo que significa que los precios cambiarán menos, por otro lado, el término $\pi^{\theta_p - 1}$ ajusta el índice de precios promedio en función de la inflación y la elasticidad de sustitución entre diferentes bienes intermedios en la fijación de precios (θ_p).

$$s = (1 - \gamma_p) \left(\frac{1}{\pi^*}\right)^{\theta_p} \quad (2)$$

La dispersión de precios representa la variabilidad de los precios de los bienes intermedios en la economía. Esta ecuación calcula la dispersión de precios en el estado estacionario, teniendo en cuenta el parámetro γ_p y la tasa de inflación π . Al igual que en la ecuación (1), la dispersión de precios también está influenciada por la tasa de fijación de precios y la inflación. Una menor tasa de fijación de precios γ_p y una inflación más alta π generalmente conducen a una menor dispersión de precios en la economía.

$$mc = \frac{\theta_p - 1}{\theta_p} \bar{p}^* \left(1 - \beta \gamma_p \pi^{\theta_p}\right) / \left(\theta_p \left(1 - \beta \gamma_p \pi^{\theta_p - 1}\right)\right) \quad (3)$$

Esta ecuación representa el costo marginal en el estado estacionario utilizando parámetros como θ_p y β , que están relacionados con la fijación de precios y la inflación, El costo marginal en el estado estacionario afecta las decisiones de producción de las empresas y, por lo tanto, la oferta agregada en la economía.

La ecuación del costo marginal refleja cómo los precios se ajustan en función del nivel de precios en el periodo actual (π) y el nivel de precios en el estado estacionario (\bar{p}^*). La presencia de β y γ_p indica que los precios pueden ajustarse gradualmente en respuesta a cambios en la inflación y en el nivel de precios.

$$w = (1 - \alpha) \left(mc \left(\frac{\alpha}{R} \right)^\alpha \right)^{\frac{1}{1-\alpha}} \quad (4)$$

El salario real está positivamente relacionado con el costo marginal. A medida que aumenta el costo marginal, el salario real tiende a aumentar. Esto puede interpretarse de la siguiente manera: cuando el costo de producir una unidad adicional de bien disminuye, las empresas pagan salarios más bajos a los trabajadores. La ecuación incluye el parámetro α , que representa la participación del capital en la producción. A medida que α pudiera aumentar la participación del capital, es decir, cuando hay una mayor proporción de capital en comparación con el trabajo en el proceso productivo, el salario real tiende a disminuir. La ecuación también incluye la tasa de interés nominal (R).

$$n = \left(\frac{\theta_n}{\theta_n - 1} \right)^{\frac{-1}{\eta + \sigma}} \left\{ \left(1 - \frac{g}{y} \right) \left(\frac{1}{s} \right) \left(\frac{\alpha R (1 - \alpha)}{R (1 - \alpha)} \right)^\alpha w^{\alpha - \frac{1}{\sigma}} - \delta \left(\frac{\alpha R (1 - \alpha)}{R (1 - \alpha)} \right)^{\frac{1}{\sigma} - 1} \right\}^{-\frac{\sigma}{\eta + \sigma}} w^{\alpha - 1/\sigma} - \delta \left(\frac{\alpha R (1 - \alpha)}{\alpha} \right) w^{1 - 1/\sigma} \quad (5)$$

La ecuación del estado estacionario de n describe cómo el nivel de empleo responde a varios factores en el equilibrio de largo plazo. Un aumento en el salario real (w) tiende a aumentar la oferta de trabajo (n), ya que incentiva a las personas a trabajar más debido a la mayor compensación por su esfuerzo laboral. Sin embargo, este efecto puede ser mitigado si la elasticidad de sustitución entre el ocio y el consumo (σ) es alta, lo que significa que las personas son menos sensibles a los cambios en el salario real en términos de su decisión de trabajar más o menos, por otro lado, una mayor elasticidad de sustitución (θ_n) entre diferentes tipos de trabajo hace que la oferta de trabajo sea más sensible a los cambios en el salario real (w). Si θ_n es alto, entonces incluso pequeños cambios en el salario real pueden provocar cambios significativos en la oferta de trabajo, por último, la tasa de interés nominal (R) también puede influir en la oferta de trabajo a través de su impacto en las decisiones de inversión y ahorro. Un aumento en la tasa de interés puede afectar la inversión y el consumo, lo que a su vez puede influir en la demanda de trabajo en la economía.

$$k = \frac{\alpha}{1 - \alpha} \left(\frac{w}{R} \right) n \quad (6)$$

Esta ecuación representa el nivel de capital en el equilibrio de largo plazo, notemos que, un aumento en el salario real (w) aumenta la cantidad de capital (k) en el equilibrio de largo plazo, ya que hace que la inversión en capital sea relativamente menos costosa en comparación con el trabajo. Por lo tanto, un mayor salario real aumenta la proporción de ingresos que las empresas pueden destinar a la inversión en capital, por otro lado, una mayor tasa de interés nominal (R) también puede influir en el nivel de capital. Un aumento en la tasa de interés puede reducir la inversión en capital, ya que hace que sea más costoso financiar proyectos de inversión mediante el endeudamiento. Esto puede resultar en una menor acumulación de capital en el equilibrio de largo plazo. En la proporción entre trabajo y capital ($\alpha/(1 - \alpha)$) un cambio puede afectar el nivel de capital en el estado estacionario. Por ejemplo, si α aumenta (lo que indica una mayor participación del capital en la producción), entonces el nivel de capital en el estado estacionario también aumentará, y viceversa.

$$i = \delta k \quad (7)$$

En el equilibrio de largo plazo, la inversión (i) debe ser suficiente para mantener el nivel de capital (k) constante a lo largo del tiempo, teniendo en cuenta la depreciación del capital existente. Por lo tanto, la cantidad de inversión requerida (i) es igual a la cantidad de capital que se deprecia (δk).

$$y = k^\alpha n^{1-\alpha} / s \quad (8)$$

Esta ecuación enfatiza la relación entre la cantidad de capital y trabajo utilizados en la producción y cómo la eficiencia de esa producción, representada por s , afecta al producto total. Aquí, s representa la dispersión de precios, que influye en la eficiencia de la producción y, por lo tanto, en la cantidad de producto que se genera a partir de los factores de producción.

$$y = c + g + i \quad (9)$$

En esta ecuación el PIB se considera como la suma de los componentes de la demanda agregada, es decir, el gasto total en bienes y servicios en la economía, enfatiza cómo se distribuye el producto entre el consumo, el gasto público y la inversión en el equilibrio de largo plazo.

$$T = G + \left(\frac{R}{\pi} - 1 \right) b \quad (10)$$

Esta ecuación describe cómo se determina el ingreso tributario en el equilibrio de largo plazo. Cuando el gobierno gasta más de lo que recauda en impuestos, se produce un déficit

fiscal, lo que resulta en un aumento de la deuda pública. $\frac{R}{\Pi} - 1$: Esta parte de la ecuación representa el costo real del endeudamiento para el gobierno, ajustado por el efecto de la inflación. Si $\frac{R}{\Pi} > 1$, significa que el gobierno paga más en intereses que lo que se deprecia su deuda debido a la inflación. En este caso, el gobierno tendría que pagar más intereses en términos reales.