

CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DOCENCIA ECONÓMICAS, A.C.



EL IMPACTO DE LA ECONOMÍA DE ESTADOS UNIDOS EN MÉXICO: UNA
REVISIÓN DE POLÍTICA ECONÓMICA

TESINA

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

LICENCIADO EN ECONOMÍA

PRESENTA

EMILIANO ELIAS DENA

DIRECTOR DE LA TESINA: DR. MARCELO DELAJARA

Agradecimientos.

A mi madre por su incesante e incondicional apoyo, esfuerzo y amor.

A mi padre por su cálido consejo, su voluntad y determinación para ayudarme a seguir adelante.

A mi hermana pequeña por ser mi soporte y estar siempre a mi lado.

A Yahir por su amistad incondicional y acompañarme en el camino.

A Luis Arturo por los buenos momentos durante la licenciatura.

Al Dr. Marcelo Delajara por instruirme como macroeconomista y apoyarme en este trabajo.

A mis lectores, el Dr. Fausto Trillo y el Dr. Daniel Ventosa, por sus recomendaciones para mejorar este documento.

A todos aquellos que me tendieron su mano durante mi formación.

¡Muchas gracias!

Resumen

La presente investigación tiene como objetivo explicar el impacto de choques macroeconómicos de la economía de Estados Unidos en la economía mexicana con un énfasis en el papel de la política monetaria y sus mecanismos de transmisión. En este sentido, el análisis presenta varios modelos VAR estructural bayesianos con un supuesto de exogeneidad en bloque para evitar que las variables norteamericanas sean determinadas por las mexicanas. Dichos modelos son resueltos a través de dos métodos: la primera categoría, el modelo base, utiliza una descomposición de Cholesky; la segunda categoría, los modelos satélites, imponen restricciones cero y de signo a los choques de las variables estadounidenses de acuerdo con la teoría macroeconómica. Por un lado, el modelo base, a través de una descomposición histórica y de la varianza de las variables mexicanas, concluye que las variaciones en la economía de México son explicadas en el corto plazo por choques a las variables mexicanas, pero en el mediano plazo son explicadas en mayor medida por choques en Estados Unidos. Por otro lado, los modelos satélites analizan cuatro choques a la economía mexicana: un choque de incertidumbre de política económica, un choque de incertidumbre financiera, un choque de demanda agregada de Estados Unidos sobre México y un choque del precio de los commodities. Los choques de los modelos satélite coinciden con los efectos esperados por la literatura.

Palabras clave: economía mexicana, incertidumbre de política económica, incertidumbre financiera, política monetaria, corto plazo.

Clasificación JEL: C32, E32.

Índice

1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN DE LA LITERATURA	4
2.1. Algunos datos estilizados sobre la economía de México y Estados Unidos.....	4
2.2. Propagación de los choques de economías grandes a economías pequeñas y abiertas ..	7
3. METODOLOGÍA.....	9
3.1. Modelos VAR y puzzles	9
3.2. VAR estructural bayesiano.....	11
3.3. Identificación de los choques estructurales	13
3.3.1. Modelo recursivo	14
3.3.2. Restricciones cero y de signo.....	15
4. DATOS.....	17
5. ESTIMACIÓN DEL MODELO.....	20
5.1. Modelo base	20
5.1.1. Modelo base: descomposición de la varianza de los errores del pronóstico.....	20
5.1.2. Modelo base: descomposición histórica	24
5.2. Modelos satélites	29
5.2.1. Modelo satélite: demanda agregada norteamericana	29
5.2.2. Modelo satélite: el precio de los <i>commodities</i>	31
5.2.3. Modelo satélite: riesgo financiero e incertidumbre	33
6. CONCLUSIÓN.....	36
ANEXO 1	38
ANEXO 2	43

Índice de Tablas

Tabla 1. Tabla de choques para la demanda agregada de Estados Unidos.	29
Tabla 2. Tabla de choques para un choque de commodities de Estados Unidos.	32
Tabla 3. Tabla de choques para un choque de commodity de Estados Unidos.....	34

Índice de gráficas

Gráfica 1. Sincronía de la brecha del producto entre México y Estados Unidos.	5
Gráfica 2. Tasas de financiación crediticia.	6
Gráfica 3. Tasas de interés a corto plazo.....	6
Gráfica 4. Descomposición de la varianza de los errores del pronóstico.....	23
Gráfica 5. Descomposición histórica del ciclo de la brecha del producto de México.	26
Gráfica 6. Descomposición histórica de la brecha de la inflación anual en México.	27
Gráfica 7. Descomposición histórica de la brecha de la tasa de interés de México.	28
Gráfica 8. Funciones de impulso respuesta ante un choque de demanda agregada de EE.UU.	31
Gráfica 9. Funciones de impulso respuesta ante un choque del precio de los commodities.	33
Gráfica 10. Función de impulso respuesta ante un choque de incertidumbre financiera y de política económica.	35

1. INTRODUCCIÓN

Durante el último siglo, la integración económica de las economías nacionales, a través del comercio internacional, ha construido el sistema económico mundial tal como lo conocemos. En este sentido, el comercio durante los últimos cien años ha tenido un crecimiento sin precedentes. De acuerdo con Ortiz-Espina y Beltekian (2014), en su artículo titulado *Trade and Globalization*, las exportaciones globales crecieron más de cuarenta veces su tamaño en el periodo de mil novecientos catorce a dos mil catorce. Históricamente, es un crecimiento sin precedentes. Este aumento es importante, pues está correlacionado con el crecimiento económico global. De hecho, Ortiz-Espina y Beltekian (2014) sostienen que, en términos globales, el comercio creció proporcionalmente más que el producto durante el mismo periodo.

Las economías nacionales, en consecuencia, han buscado beneficiarse de los efectos positivos del comercio en el crecimiento económico a través de acuerdos comerciales entre bloques económicos compuestos por países cercanos geográficamente. El énfasis de dichos acuerdos se ha centrado en la apertura comercial a nivel regional. Ciertamente, a medida que pasa el tiempo y aumenta la integración regional, una suposición adecuada consiste en esperar que los efectos de los choques macroeconómicos de un país tienen un impacto en la dinámica agregada de los países vecinos. Aun así, no queda claro si los efectos son en el corto plazo, o bien perduran en el mediano o el largo plazo. Esta dinámica es importante para la toma de decisiones de los organismos gubernamentales, los bancos centrales y los creadores de políticas públicas ante contingencias externas.

En ese sentido, el caso de México es un claro ejemplo por su integración regional con Estados Unidos de Norte América (EE.UU.) y Canadá. El 2 de enero de 1988, antes de incluir a México, el presidente Ronald Regan firmó junto con el primer ministro Brian Mulrone un tratado de libre comercio entre EE.UU. y Canadá. No obstante, en 1991, ambos países comenzaron las negociaciones con México para incluirlo en un nuevo tratado tripartita: el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), firmado el 1 de enero de 1994, fue el primer tratado de libre comercio que añadía a un país en vías de desarrollo a un acuerdo comercial ya existente entre países desarrollados en América.¹ El TLCAN eliminó las tarifas de importación entre el bloque económico con el objetivo de aumentar la integración económica.

¹ Véase "NAFTA's Economic Impact" del Council on Foreign Relations para más detalles.

Desde la creación del TLCAN ha existido la pregunta del impacto económico del tratado. Por ejemplo, dos años antes de la firma del tratado, el candidato a la presidencia de los Estados Unidos, Ross Perot aseguraba que la liberalización llevaría trabajos norteamericanos al otro lado de la frontera; mientras tanto, el presidente George Bush y el en aquel entonces candidato a la presidencia Bill Clinton, junto con el presidente de México Carlos Salinas de Gortari, aseguraban que el acuerdo generaría muchos más empleos nuevos. El tratado se firmó, pero el debate continuó. Y, ante las dudas de los beneficios del tratado para EE.UU. externadas en 2015 por el presidente Donald Trump en materia de empleos, el 16 de agosto de 2017 inició la primera ronda de renegociación del TLCAN. Así, en noviembre del siguiente año se firmó el Tratado entre México, Estados Unidos y Canadá (T-MEC), el cuál ha perdurado hasta la fecha del presente análisis.

Para obtener una visión completa del grado de integración económica logrado entre México y Estados Unidos, una vía interesante es analizar los choques económicos de las variables agregadas más importantes de la economía de México y controlar los choques a través de las variables internacionales. Los efectos indirectos internacionales en México pueden captarse en su mayor parte mediante variables estadounidenses. Esto simplifica sustancialmente el análisis. Además, dado que la economía de México es relativamente pequeña, la tesis supone que las perturbaciones internas tienen poco impacto en Estados Unidos. Es decir, que no hay "efectos secundarios" de las variables agregadas de la economía de México en la economía de Estados Unidos. Este último reto es el planteamiento directo de la presente investigación.

El presente trabajo analiza cuáles son los mecanismos de transmisión de los choques agregados de la economía de Estados Unidos en la economía de México. A través de varios modelos estructurales de vectores autorregresivos (SVAR) para una economía pequeña y abierta, la investigación realizó lo siguiente: identificó la relación entre las variables macroeconómicas más importantes —la brecha del producto, la inflación, la tasa de interés y la depreciación del tipo de cambio—; posteriormente, el análisis caracterizó la transmisión de los choques estadounidenses a la economía mexicana durante el período posterior al 2001. El modelo impone como restricción la exogeneidad en bloque entre las variables mexicanas y estadounidenses, de modo que ni los choques ni las variables mexicanas afectan el comportamiento de las variables estadounidenses.

El resto del documento se organiza como sigue. La sección 2 relata los datos estilizados entre México y Estados Unidos y los mecanismos de transmisión de la economía norteamericana a la mexicana. La sección 3 expone los modelos SVAR: un modelo recursivo (modelo base) y los modelos con restricciones cero y de signo (modelos satélites). La sección 4 presenta los datos a utilizar y un análisis descriptivo. La sección 5 muestra los resultados del modelo base y los modelos satélites. Y, para terminar, la última sección concluye el documento.

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA

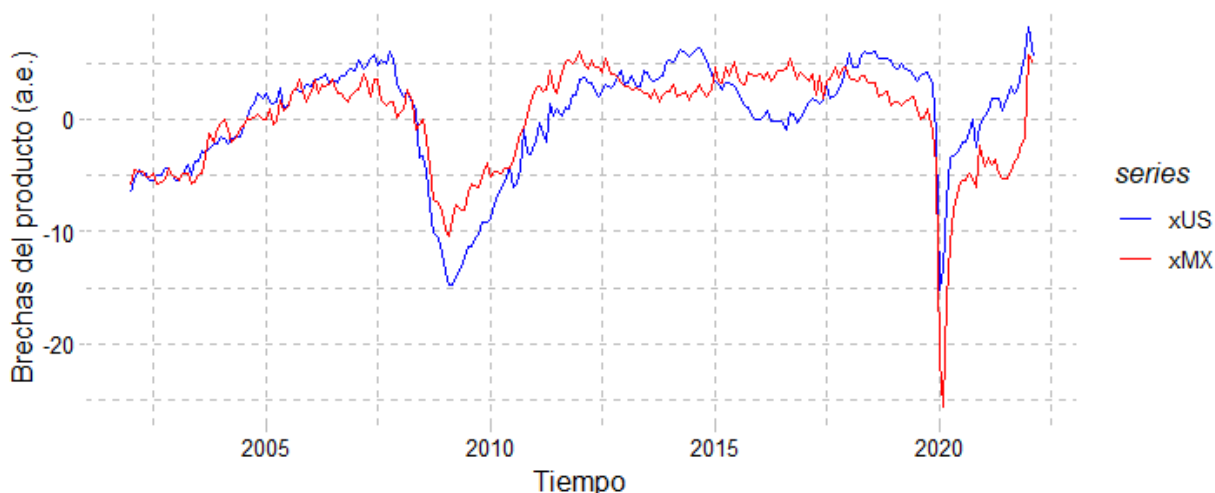
2.1. Algunos datos estilizados sobre la economía de México y Estados Unidos

Desde la firma del TLCAN, tanto México como Estados Unidos han vinculado sus economías a través del tiempo. Por un lado, Estados Unidos es la mayor economía a nivel mundial. Posee el dólar como la moneda internacional más aceptada como medio de pago y a la Reserva Federal como uno de los Bancos Centrales con mayor repercusión en cuanto a política monetaria. Por otro lado, México es una economía pequeña y en vías de desarrollo. No obstante, es natural que la proximidad entre ambos estados los hace pensar en acuerdos comerciales de mutuo beneficio, a pesar de las diferencias entre ellos.

De hecho, desde la firma del TLCAN, México y Estados Unidos han presentado una elevada sincronización en sus ciclos económicos, tal como muestra la Gráfica 1. Las brechas del producto de ambos países muestran una correlación de 0.77 entre finales de 2006 y finales de 2021.² Dentro del periodo en cuestión, el comportamiento entre ambas series durante la crisis financiera de 2008 y la crisis del confinamiento por COVID-19 en 2020 es notablemente similar durante los choques. Sin embargo, la recuperación a la crisis del COVID es mayor en el caso norteamericano. Así, mucha de la literatura existente busca explicar dicha integración de los ciclos económicos, o bien, pronosticar las futuras desviaciones entre ambos (Oliveira Santos (2002), Chiquiar y Ramos-Francia (2004), Pablo Mejía-Reyes et.al. (2011), Loría et. al. (2015), entre otros).

² Cálculo propio con datos descritos en sección 4.

Gráfica 1. Sincronía de la brecha del producto entre México y Estados Unidos.³



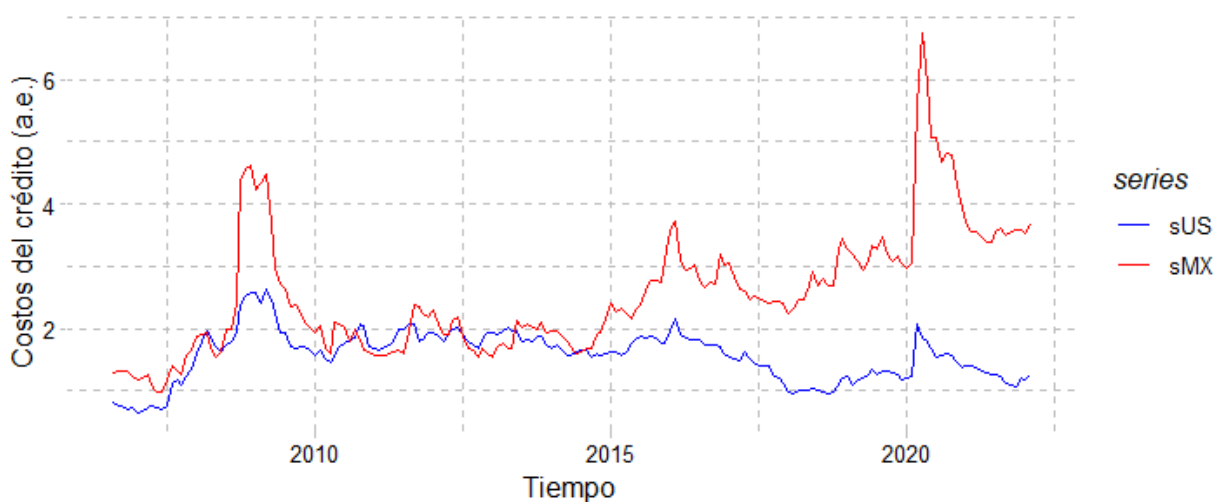
Fuente: elaboración con datos del Banco de México (BANXICO) y el Congressional Budget Office (CBO)

Asimismo, además de los enlaces entre la economía real, los mercados financieros de ambas economías también muestran una correlación alta (Atteberry(1997), Aggarwal(2005) y López-Herrera et. al. (2012), entre otros). Por ejemplo, es posible observar en la *Gráfica 2* que los costos de financiación crediticia externa de México y Estados Unidos muestran un comportamiento similar en gran parte de las series: el riesgo país de México, medido a través del Índice de Bonos de Mercados Emergentes Global (EMBIG) de *J.P. Morgan*, y el *spread* entre la tasa de los bonos corporativos Baa de *Moody* y la tasa a 10 años de los bonos del tesoro. Las tasas de interés nominal a corto plazo también muestran una alta correlación, de 0.83, como se muestra en la *Gráfica 3*.⁴ En general, las estructuras de tasas de interés entre ambos países están íntimamente relacionadas.

³ Las variables xUS y xMX corresponden, respectivamente, a las brechas del producto para Estados Unidos y México. Las series están ajustadas estacionalmente.

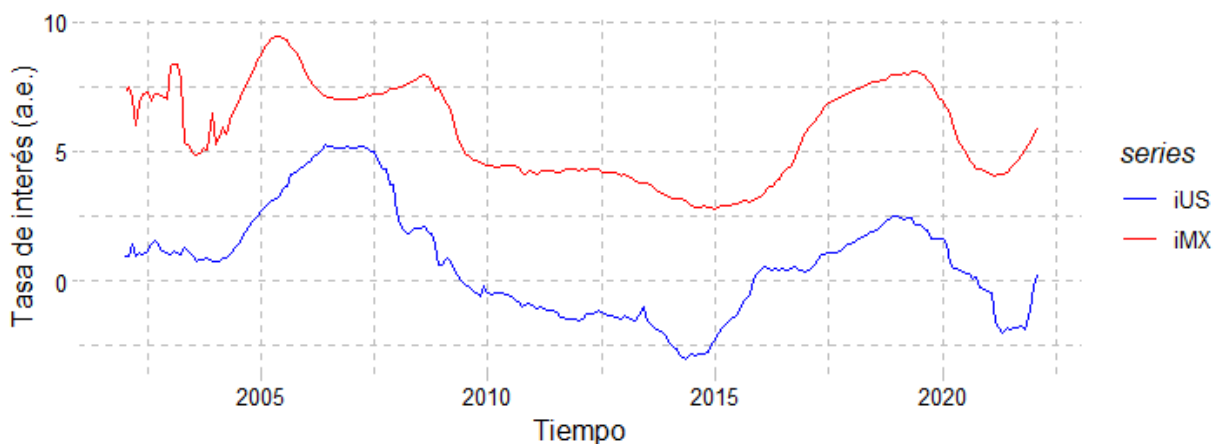
⁴ Cálculo propio con datos descritos en la sección 4.

Gráfica 2. Tasas de financiación crediticia.⁵



Fuente: elaboración propia con datos de la Reserva Federal de St. Louis (FRED) y BANXICO

Gráfica 3. Tasas de interés a corto plazo.⁶



Fuente: elaboración propia con datos de la Reserva Federal de Atlanta, Wu & Xia(2006) y BANXICO

Con base en los hechos estilizados anteriormente mencionados, la presente tesina busca estimar los efectos de las fluctuaciones de la economía de EE.UU. en la economía de México a

⁵ Las variables sUS y sMX corresponden, respectivamente, al spread entre la tasa de los bonos corporativos Baa de Moody y al EMBIG de México. Las series están ajustadas estacionalmente.

⁶ Las variables iUS y iMX corresponden, respectivamente, a las tasas de interés de Estados Unidos y México a un mes. Las series están ajustadas estacionalmente.

través de modelos VAR estructurales. Dado el análisis hecho, es natural analizar los efectos desde la firma del TLCAN. No obstante, con el fin de evitar la crisis de 1995 y su respectiva alta volatilidad, la ventana de datos a utilizar varía de enero de 2002 a febrero de 2022. Así, el período de la muestra abarca un único régimen de política monetaria en México, a saber, el de objetivos de inflación, que ha alcanzado los valores más bajos y estables de la inflación y de otras variables nominales en este país.

2.2. Propagación de los choques de economías grandes a economías pequeñas y abiertas

El trabajo de Cushman y Zha (1997) fue el primer intento de estimar los efectos de las fluctuaciones de una economía grande en las de una economía relativamente más pequeña a través del concepto de exogeneidad de bloque. No obstante, aunque Canadá y Estados Unidos no son países en desarrollo, Cushman y Zha impusieron una exogeneidad de bloque entre las variables de ambos países. Los autores argumentaron que la economía de Canadá era lo suficientemente pequeña al compararla a Estados Unidos como para tener un impacto en la dinámica agregada de este país. Así, Cushman y Zha (1997) utilizaron 11 variables para estimar un VAR estructural. El énfasis principal del trabajo consistía en analizar los choques de oferta agregada, demanda agregada y choques monetarios. Por ende, dicho enfoque será una constante a lo largo de toda la literatura posterior.

Posteriormente, Canova (2005) utilizó un VAR con exogeneidad de bloque y restricciones de signo para encontrar los efectos de las fluctuaciones de la economía de Estados Unidos en las de una serie de países de América Latina: Argentina, Brasil, Chile, Ecuador, México, Panamá, Perú y Uruguay. Específicamente, analizó el impacto de un choque de demanda agregada, oferta agregada y un choque monetario de Estados Unidos en las economías latinoamericanas. Paradójicamente, solo el choque monetario y los factores globales tuvieron un efecto significativo en la dinámica macroeconómica de los países emergentes. Una posible razón de este resultado está en su ventana de datos: la alta volatilidad de las variables antes del 2000, aunado a un cambio en su estacionariedad después del 2000, pueden haber debilitado el efecto externo de la oferta y la demanda agregada.⁷

⁷ Un proceso estacionario o invariante es, en términos simples, un proceso estocástico tal que la distribución de probabilidad del proceso es la misma a través del tiempo; es decir, si se toman dos subconjuntos de datos temporales cualesquiera, la distribución de los datos es la misma para cada partición. Así, usualmente se supone una estacionariedad débil tal que se cumple que la media, la varianza y la covarianza existen, son números finitos y no dependen de un momento temporal específico.

Al mismo tiempo, es importante analizar la interacción entre el riesgo país y la tasa de interés para explicar los efectos de la política monetaria externa. Uribe e Yue (2006), por ejemplo, analizaron el impacto de los cambios en las tasas de interés de Estados Unidos sobre el ciclo económico de los mercados emergentes. Encontraron que la tasa de interés de Estados Unidos explica alrededor del 20% del movimiento de la demanda agregada en los países emergentes. Además, señalaron que el impacto de las tasas de interés en la demanda agregada es a través del riesgo país. En la misma línea de pensamiento, Viconda (2019) utiliza los contratos futuros sobre los *Fed Funds* para estimar los efectos de las noticias monetarias anticipadas y no anticipadas en la demanda agregada de las economías emergentes. El autor encuentra que alrededor del 14% de las fluctuaciones de la demanda agregada de las economías emergentes son explicadas por choques en la tasa de interés de Estados Unidos. Y, al igual que Uribe e Yue (2006), asegura que el riesgo país es la clave de la transmisión de los choques de tasa de interés. La intuición detrás de este resultado es que un aumento en el riesgo país no esperado impacta negativamente en el producto y la inversión de corto plazo a través del canal crediticio.

Las crisis económicas mundiales más recientes —la crisis financiera de 2008 y la posterior pandemia de COVID-19 en 2020—, no obstante, han incrementado la preocupación por los efectos secundarios de las políticas monetarias no convencionales dentro de la literatura. Esto ha llevado a que académicos como Blanchard, Ostry y Ghosh en 2013 y Mishra y Rajan en 2016 argumenten que los países con mayores efectos secundarios sobre la política monetaria internacional tienen el deber de reconocer su influencia en las economías en vías de desarrollo y limitar sus efectos negativos. Sin embargo, tal como señala Mohanty (2014), con una política monetaria internacional coordinada los efectos de esta pueden ser favorables.

Un enfoque que resume la literatura anterior es el trabajo académico de Carrillo y Elizondo (2020). A través de un VAR estructural bayesiano, los escritores analizan el impacto de un choque agregado de EE.UU. en la economía de México y encuentran que aproximadamente un 75% de las fluctuaciones de la demanda agregada de México responde a choques norteamericanos. Asimismo, encuentran que la demanda agregada responde negativamente a choques inesperados de política monetaria, si después del impacto el *spread* de tasas gubernamentales de corto plazo y largo plazo se mueven en conjunto con las tasas de interés de corto plazo.

3. METODOLOGÍA

3.1. Modelos VAR y *puzzles*

El trabajo seminal de Sims (1980), *Macroeconomics and Reality*, introdujo los modelos vectoriales autorregresivos (VAR) como metodología para analizar las relaciones entre variables macroeconómicas: los precios, los agregados monetarios, el producto, la tasa de interés, etcétera. El modelo se popularizó, ya que podía determinar las relaciones de variables agregadas sin imponer algunas restricciones de los modelos dinámicos de equilibrio general (DSGE en inglés) que, para efectos prácticos, eran demasiado restrictivas o incluso irreales.

Posteriormente, dentro de la literatura se encontraron varios resultados de modelos VAR inconsistentes con la teoría económica. Aquellos fallos fueron llamados *puzzles* en inglés. En el 2000, Kim y Roubini señalaron varias anomalías presentes en la literatura empírica de los efectos de la política monetaria:

- i. El *puzzle* de liquidez. Anteriormente, existía la creencia que la política monetaria se podía medir a través de los agregados monetarios. La idea tenía un enfoque meramente monetarista, tal como narra Kim y Roubini (2000). Y bajo ese rumbo, existía una irregularidad en los modelos llamada *puzzle* de liquidez. Dicha anomalía ocurría cuando un choque en el agregado monetario se asociaba con un aumento de la tasa de interés nominal. Sims (1992) propuso utilizar los choques en la tasa de interés de corto plazo como indicador de cambios de política monetaria. Desde entonces, el enfoque cambió y se comenzaron a utilizar las tasas de interés *over-the-night* o a nivel mensual como variables de política monetaria, lo cual llevó al siguiente *puzzle*.
- ii. El *puzzle* de los precios. Dentro de la teoría económica, un choque positivo en la tasa de interés no debería aumentar el nivel de precios. Esta relación es llamada *Price Puzzle*. Justamente, los bancos centrales se dedican a controlar la inflación a través de la relación inversa entre tasa de interés e inflación. Sin embargo, es común encontrar el *Price Puzzle* en muchos modelos VAR. Sims (1992) arguyó que dichos modelos no están especificados correctamente. Específicamente, era necesario añadir más variables con información sobre las expectativas a futuro de la inflación para identificar correctamente los choques de política monetaria. Así, Sims (1992) propuso el uso de *commodities* para resolver el *puzzle*.

Leeper, Sims y Zha (1995) sugirieron que, para resolver el *price puzzle*, era posible añadir una mejor identificación a los modelos a través de un VAR estructural. En lugar de utilizar una identificación recursiva vía la descomposición de Cholesky, emplear restricciones contemporáneas estructurales podía capturar mejor las expectativas inflacionarias y, por tanto, eliminar el *Price Puzzle*. A pesar de ello, hay que tener cuidado de no ser excesivamente restrictivo con la especificación. Otra forma de resolver el Price Puzzle es, de acuerdo con Barth y Ramey (2001), incluir dentro del sistema los costos del lado de la oferta agregada. Para el caso mexicano, Carrillo y Elizondo (2015) utilizan modelos VAR estructurales con identificaciones recursivas y restricciones de signo para modelar la economía mexicana. Los autores encuentran que, al agregar la inflación del productor, el *Price Puzzle* disminuye, o bien dependiendo de la especificación, desaparece.

- iii. El *puzzle* del tipo de cambio. Ocurre cuando un choque de contracción monetaria deprecia la moneda nacional con respecto a la extranjera. Sims (1992) sugiere que, si el *puzzle* del precio es controlado, entonces el *puzzle* del tipo de cambio desaparece. También, especificaciones estructurales donde se exploran relaciones específicas entre las variables funcionan para erradicar el *puzzle*. Carrillo y Elizondo (2015) sugieren, para el caso de la economía de México, no utilizar las reservas del banco central en el modelo y resolver el *puzzle* anterior para controlar el *puzzle* del tipo de cambio.

De esta manera, siguiendo la especificación de Carrillo y Elizondo (2015) para el caso de México, la presente tesina busca investigar el impacto de los shocks agregados de la economía de Estados Unidos en la economía de México considerando un modelo base bayesiano S-VAR con una descomposición de Cholesky y varios modelos satélites con restricciones cero y de signo. El modelo base es una primera relación entre las variables agregadas más importantes de México y Estados Unidos en el cual se tiene conocimiento del comportamiento de todas las variables. Mientras tanto, en los modelos satélite, los choques estructurales son identificados imponiendo las restricciones de signo a las impulso-respuesta de (algunas) variables, al tiempo que permite que otras variables estén completamente determinadas por los datos.

3.2. VAR estructural bayesiano⁸

Definición 3.2.1. (*VAR reducido*) Sea el siguiente modelo VAR reducido con n variables, p lags y m variables exógenas:

$$y_t = \sum_{l=1}^p A_l y_{t-l} + C x_t + \varepsilon_t.$$

Donde, para cada $t = 1, 2, \dots, T$, se cumplen las siguientes condiciones:

- i. $y_t = (y_{1,t}, y_{2,t}, \dots, y_{n,t})$ es un vector de variables endógenas $n \times 1$;
- ii. A_l es una matriz $n \times n$ para cada lag $l = 1, 2, \dots, p$;
- iii. C es una matriz $n \times m$;
- iv. $x_t = (x_{1,t}, x_{2,t}, \dots, x_{m,t})$ es un vector de variables exógenas $m \times 1$;
- v. $\varepsilon_t = (\varepsilon_{1,t}, \varepsilon_{2,t}, \dots, \varepsilon_{n,t})$ es un vector de residuales $n \times 1$ que se distribuye normalmente $\varepsilon_t \sim N(0, \Sigma)$;
- vi. ε_t no está auto-correlacionado serialmente; es decir, $E[\varepsilon_t, \varepsilon_t'] = \Sigma$, $E[\varepsilon_t, \varepsilon_l'] = 0$ para $l \neq t$;
- vii. Σ es una matriz simétrica de varianza-covarianza $n \times n$ semidefinida positiva.

Definición 3.2.2. (*VAR estructural*) Una especificación alternativa del modelo VAR reducido es el modelo VAR estructural:

$$D_0 y_t = \sum_{l=1}^p D_l y_{t-l} + F x_t + \eta_t.$$

Con $\eta_t \sim N(0, \Gamma)$ como un vector de innovaciones estructurales con una matriz de varianza-covarianza Γ .

Observación 3.2.3. (*Choques estructurales*) Suponga que la matriz Γ es diagonal. Entonces, los choques en η_t son ortogonales entre ellos. Desde un punto de vista teórico, uno puede suponer que un choque de oferta agregada es independiente a un choque de demanda agregada o a una contracción monetaria. Así, el econometrista debe seleccionar los choques tales que sean ortogonales teóricamente entre ellos para que funcionen como una base a través de la cual generar las funciones de impulso respuesta (IRF, en inglés)

⁸ El presente análisis está basado en *The Bayesian Estimation, Analysis and Regression (BEAR) Toolbox: Technical guide* del Banco Central Europeo.

Proposición 3.2.4. La forma del VAR estructural es análoga a la forma del VAR reducido a través de las siguientes relaciones:

- i. $D = D_0^{-1}$ por conveniencia de notación;
- ii. $A_l = DD_l$;
- iii. $C = DF$;
- iv. $\varepsilon_t = D\eta_t$;
- v. $\Sigma = D\Gamma D'$.

De esta manera, la matriz D es interpretada como una matriz estructural.

Proposición 3.2.5. (*Representación en medias móviles*)

Por el teorema de representación de Wold, o bien la descomposición de Wold, el VAR reducido se puede reescribir de la siguiente forma:

$$y_t = A(L)^{-1}Cx_t + \sum_{l=0}^{+\infty} \Psi_l \varepsilon_{t-l}$$

Donde $\Psi_l = \frac{\partial y_{t+l}}{\partial \varepsilon_t}$ es la función de impulso respuesta del choque ε_t sobre y_{t+l} para cada l .

Entonces, es posible reescribir el VAR reducido como un VAR estructural tal que se cumple lo que sigue:

$$y_t = A(L)^{-1}Cx_t + \sum_{l=0}^{+\infty} \tilde{\Psi}_l \eta_{t-l}$$

Donde $\tilde{\Psi}_l = \begin{cases} D & \text{si } l = 0 \\ \Psi_l D & \text{si } l = 1, 2, 3, \dots \end{cases}$ es la función de impulso respuesta del choque estructural η_t sobre y_{t+l} para cada l .

Observación 3.2.6. (*Exogeneidad de bloque*) Suponga que puede ordenar las n variables de y_t en dos bloques: un bloque exógeno $y_t^{US} = (y_{1,t}^{US}, y_{2,t}^{US}, \dots, y_{k,t}^{US})$ con k variables que solo depende su pasado para explicar su comportamiento y un bloque endógeno $y_t^{MX} = (y_{1,t}^{MX}, y_{2,t}^{MX}, \dots, y_{n-k,t}^{MX})$ con $n - k$ variables que depende del comportamiento histórico de sí mismo y el bloque exógeno para explicarse. Así, $y_t = \begin{pmatrix} y_t^{US} \\ y_t^{MX} \end{pmatrix}$.

Entonces, la matriz $D_l = \begin{pmatrix} D_{11,l} & D_{12,l} \\ D_{21,l} & D_{22,l} \end{pmatrix}$ se puede dividir en cuatro submatrices. Suponiendo que la exogeneidad de bloque es perfecta, entonces la submatriz con los coeficientes de las variables

mexicanas sobre las variables norteamericanas $D_{12,l} = 0$. No obstante, en la práctica, es posible encontrar una matriz $D_{12,l} \rightarrow 0$ con coeficientes pequeños pero distintos de cero. Una ventaja del enfoque bayesiano es que podemos estimar coeficientes $D_{12,l} \rightarrow 0$ sin necesidad de imponer una exogeneidad de bloque perfecta y, en consecuencia, podemos estimar en conjunto ambos bloques.

Observación 3.2.7. (*Identificación del modelo*)

Suponiendo que existen n variables en total, entonces podemos deducir lo siguiente a través de **3.2.4.:**

- i. D tiene n^2 elementos por identificar;
- ii. Γ tiene $\frac{n \times (n+1)}{2}$ elementos por identificar.⁹

Por lo tanto, existen $\frac{n \times (3n+1)}{2}$ elementos por identificar. Una estimación de Σ proporciona $\frac{n \times (n+1)}{2}$ restricciones sobre D y Γ . Por ende, son necesarias n^2 restricciones adicionales para identificar a (D, Γ) .

3.3. Identificación de los choques estructurales

Existen varios métodos para identificar los choques estructurales. Los más utilizados son los siguientes: los esquemas de identificación recursiva basados en una descomposición de Cholesky, los esquemas de identificación no recursivos a través de una matriz D triangular, las restricciones cero, de signo y de magnitud, el uso de variables instrumentales usualmente correlacionadas solo con choques monetarios, una combinación de variables instrumentales con las restricciones de signo y un enfoque novedoso que consiste es suponer la distribución entre las elasticidades de las variables basado en la teoría económica. El enfoque de instrumentos externos necesita de buenos instrumentos; sin embargo, para el caso mexicano, es difícil encontrar datos para estimar instrumentos válidos. Por otra parte, el último enfoque, basado en el trabajo de Christiane Baumeister y James Hamilton (2015), requiere de una metodología que excede los fines de esta tesina.

Las estrategias de identificación del presente texto se basan en una descomposición de Cholesky como modelo base y en un enfoque estándar de restricciones de signos para crear pequeños modelos satélite. La idea es capturar un choque de la demanda agregada exógena, un

⁹ La matriz es triangular, pues así los choques estructurales son ortogonales entre ellos.

choque del precio de los *commodities* exógenos, un choque de incertidumbre nacional y un choque financiero nacional a través de los modelos satélites. Empíricamente, los bancos centrales utilizan los modelos satélites para analizar las desviaciones de los escenarios con respecto a un modelo base y, posteriormente, realizar predicciones con el modelo base condicionadas a diversos escenarios económicos.¹⁰ Además, las restricciones de signo permiten utilizar choques macroeconómicos agregados ortogonales, lo cual facilita la interpretación. Igualmente, el propósito es crear un conjunto de herramientas para el diseño de análisis de casos y su posterior predicción.

3.3.1. Modelo recursivo¹¹

Definición 3.3.1. (*Identificación por descomposición de Cholesky*)

El modelo estructural, o bien el modelo base, se identifica en cuatro pasos:

- i. Ordenar las variables por exogeneidad para imponer restricciones contemporáneas en D que la hagan una matriz triangular inferior;
- ii. Estimar el modelo en forma reducida para obtener Σ ;
- iii. Obtener D como factor de Cholesky de Σ ;
- iv. Estimar los choques y las IRF con 3.2.5.

La crítica a esta metodología consiste en que la matriz D depende del orden de las variables y, por lo tanto, no es única. Así, es necesario argumentar por qué se ha elegido el orden que se ha elegido a través de la teoría e intuición económica. Aun así, incluso si la teoría es capaz de ordenar las variables causalmente, suele haber funciones de impulso respuesta contraintuitivas o mal identificadas.

Con un enfoque bayesiano, D es una variable aleatoria. Por tanto, es posible obtener su distribución posterior. Sin embargo, dado que la identificación por descomposición de Cholesky obtiene D , entonces es posible obtener la distribución posterior de D a través de la distribución posterior de Σ . El modelo por resolver utiliza una distribución *independent normal Wishart*

¹⁰ Un ejemplo del uso de esta metodología está en el Informe Trimestral de Abril - Junio 2021, Recuadro 7, del Banco de México. En dicho recuadro el Banco de México utiliza la metodología de Uhlig (2005) para estimar la respuesta de la política monetaria de México ante un choque de oferta de Estados Unidos. Del modelo se puede hacer una predicción condicionada de las variables mexicanas, tal como se detalla en *The Bayesian Estimation, Analysis and Regression (BEAR) Toolbox: Technical guide* del Banco Central Europeo, y compararla con el modelo del Banco. Las desviaciones entre las estimaciones del modelo del banco y las estimaciones del modelo del Recuadro 7 son el efecto del choque de oferta monetaria de Estados Unidos en las predicciones.

¹¹ El presente análisis está basado en *The Bayesian Estimation, Analysis and Regression (BEAR) Toolbox: Technical guide* del Banco Central Europeo.

como prior para estimar los coeficientes. Se seleccionan los valores de los hiperparámetros tales que optimizan el *maximum likelihood*. La selección del orden de retraso se basa en la información de Akaike. El algoritmo es el siguiente:

Algoritmo 3.3.2. (*S-VAR con descomposición de Cholesky*)

- i. Definir el número de interacciones It del algoritmo;
- ii. En la iteración k , reciclar $\Sigma_{(k)}$ de la distribución posterior obtenida por el algoritmo de *Gibbs sampler*;
- iii. Obtener $D_{(k)}$ de la descomposición de Cholesky de $\Sigma_{(k)}$;
- iv. Reciclar $\{\tilde{\Psi}_1^{(k)}, \tilde{\Psi}_2^{(k)}, \tilde{\Psi}_3^{(k)}, \dots\}$;
- v. Repetir hasta que haya It interacciones. El resultado será la colección de distribuciones posteriores $\{D_{(k)}, \tilde{\Psi}_1^{(k)}, \tilde{\Psi}_2^{(k)}, \dots\}_{k=1}^{It}$

3.3.2. Restricciones cero y de signo¹²

Los modelos satélites son estimados a través del esquema de restricción de signos. Dicha metodología restringe directamente la función de impulso respuesta según la teoría económica. Las restricciones cero y de signo están basadas en la metodología de Arias et al. (2014).

Definición 3.3.3. (*Identificación por restricciones zero y de signo*)

En el modelo VAR estructural convencional, con choques estructurales ortogonales y varianza unitaria, el objetivo es construir una matriz D tal que, a través de 3.2.5., $\tilde{\Psi}_1, \tilde{\Psi}_2, \tilde{\Psi}_3, \dots$ cumplan con las restricciones impuestas por el econometrista. De esta manera, sean las siguientes restricciones:

- i. Si las restricciones son implementadas en p_1, p_2, \dots, p_n , entonces la matriz f está

$$\text{definida como } f(D, D_1, \dots, D_p) = \begin{pmatrix} \tilde{\Psi}_{p1} \\ \tilde{\Psi}_{p2} \\ \vdots \\ \tilde{\Psi}_{pn} \end{pmatrix};$$

- ii. La matriz S_j es una matriz de signos con respecto a un choque estructural $j = 1, 2, \dots, n$. El número de columnas de la matriz S_j es igual al número de filas de la matriz f ; el número de filas de la matriz S_j es igual al número de restricciones de signo en el choque

¹² El presente análisis está basado en *The Bayesian Estimation, Analysis and Regression (BEAR) Toolbox: Technical guide* del Banco Central Europeo.

j . Los valores de S son un $+1$ o -1 , dependiendo de si la restricción es positiva o negativa;

iii. La restricción de signo del choque j se cumple si la siguiente desigualdad se efectúa:

$$S_j \times f_j(D, D_1, \dots, D_p) > 0$$

donde f_j representa la columna j de la matriz f ;

iv. La restricción cero del choque j se cumple si la siguiente igualdad se efectúa:

$$S_j \times f_j(D, D_1, \dots, D_p) = 0$$

donde f_j representa la columna j de la matriz f .

Algoritmo 3.3.4. (*Gibb sampling para restricciones cero y de signo*)

El algoritmo consiste en los siguientes pasos:

- i. Obtener D_0, D_1, \dots, D_p y F de la distribución posterior sin restricciones;
- ii. Calcular $\{\tilde{\Psi}_0, \tilde{\Psi}_1, \tilde{\Psi}_2, \dots\}$ con los coeficientes;
- iii. Checar que las restricciones de 3.3.3. se cumplen;
- iv. Repetir de i a iii hasta que el número de iteraciones It cumpliendo las restricciones se cumplan;

Proposición 3.3.5. (*Teorema 2 de Arias et. al. (2014)*)

La colección $\{C_{(k)}, A_1^{(k)}, A_2^{(k)}, \dots\}_{k=1}^{It}$ obtenida de la distribución posterior del modelo reducido puede generar la colección $\{D_{(k)}, \tilde{\Psi}_1^{(k)}, \tilde{\Psi}_2^{(k)}, \dots\}_{k=1}^{It}$ del modelo estructural si se añade un paso de ortogonalización extra.¹³

¹³ Ver Arias et. al. (2014) para mayor detalle.

4. DATOS

Los datos utilizados en este trabajo corresponden al periodo que va de enero de 2002 a febrero de 2022 y son de frecuencia mensual. La elección de este periodo se debe a que a partir del 2001 las series se vuelven procesos estacionarios por la adopción de la metodología de *Inflation Targeting* por parte del Banco de México.

Bloque extranjero. Los datos de las variables estadounidenses se obtuvieron de la Reserva Federal de Saint Louis, la Reserva Federal de New York y la Reserva Federal de San Francisco.

1. **Brecha del producto.** La brecha del producto, dado que el indicador es trimestral, no se pudo obtener directamente en una frecuencia mensual. Sin embargo, para la presente investigación se utilizó como *proxy* la serie de producción industrial a nivel mensual y, como indicador de la brecha, se obtuvo el componente cíclico a través del filtro de Holdrick Prescott.

2. **Inflación subyacente.** La inflación se calcula a través de la variación porcentual anual logarítmica del índice de precios al consumidor, excluidos los alimentos y la energía, y ajustado estacionalmente. Posteriormente, el componente cíclico de la inflación fue obtenido a través de un filtro de Holdrick-Prescott.

3. **La tasa sombra de Wu y Xia (2016).** La tasa sombra es una estimación realizada por Wu y Xia (2016) para capturar cómo se comportaría la tasa de interés de corto plazo de Estados Unidos si pudiera ser negativa. La tasa sombra coincide con la tasa de interés cuando es positiva. Y cuando la tasa de interés se encuentra en su límite inferior, o bien cuando la tasa sombra es negativa, la tasa estimada mide el efecto de la política monetaria no convencional. La serie a nivel mensual fue obtenida a través del promedio de los datos diarios en cada mes. El componente cíclico de la tasa sombra fue calculado a través del filtro de Holdrick-Prescott.

4. **El precio del petróleo.** El petróleo Brent fue el tipo de petróleo elegido ya que es el crudo ideal para producir gasolina. La serie en cuestión es la variación porcentual anual logarítmica del precio del petróleo Brent ajustado estacionalmente. El componente de esta serie fue calculado a través del filtro de Holdrick-Prescott.

5. **Volatilidad del S&P 500 (VIX).** La serie de la volatilidad ajustada estacionalmente del S&P 500 (VIX) fue extraída de la base de datos de FRED-MD.

Bloque doméstico. Las variables domésticas se obtienen de cualquiera de las dos fuentes: el INEGI (la Oficina Nacional de Estadística de México) o el Banco de México.

1. **Brecha de producción.** Para la brecha de producto utilizamos como proxy el componente cíclico del logaritmo del IGAE, estimado a través del filtro de Holdrick-Prescott.

2. **Inflación subyacente.** Para esta variable utilizamos la variación porcentual anual del componente subyacente del Índice Nacional de Precios al Consumidor (INPC). El ciclo fue calculado a través del filtro de Holdrick-Prescott.

3. **Tasa de interés nominal a corto plazo.** La tasa de interés nominal a corto plazo se mide con la tasa de interés de los Certificados del Tesoro (Cetes) a 28 días. El ciclo de tasas de interés fue calculado a través del filtro de Holdrick-Prescott.

4. **La variación del tipo de cambio nominal.** La serie es la tasa de crecimiento anual logarítmica del tipo de cambio nominal peso dólar ajustada estacionalmente. El ciclo del tipo de cambio nominal fue calculado a través del filtro de Holdrick-Prescott.

5. **Diferencial de rendimientos del Índice de Bonos de Mercados Emergentes para México (EMBI+).** La serie pertenece a familia de los índices de bonos de los mercados emergentes (EMBI+) que fueron creados por J.P. Morgan. El EMBI plus (EMBI+) para el caso de México mide la evolución de la diferencia entre un portafolio de deuda soberana y un portafolio libre de riesgo; en otros términos, mide el riesgo de la deuda soberana, o bien, el riesgo país de México. La serie es de frecuencia mensual y está ajustada estacionalmente. El ciclo del EMBI+ fue calculado a través del filtro de Holdrick-Prescott.

6. **Índice de incertidumbre en la política económica para México (EPU).** La incertidumbre hace referencia a la imposibilidad de predecir los eventos futuros. En ese sentido, un periodo de incertidumbre de política económica es una etapa en donde la arbitrariedad e inestabilidad económica cambian constantemente las reglas a través de las cuales las instituciones hacen políticas económicas. Para medir la incertidumbre en la política económica, Baker y otros (2015) construyen el índice EPU. Específicamente, los autores eligen palabras relacionadas con la economía, política monetaria e incertidumbre. Posteriormente, se cuentan el número de artículos de noticias en

periódicos nacionales en donde aparecen las palabras antes mencionadas.¹⁴ Después, el número se ajusta por la desviación estándar, se toma el promedio mensual y se cambia la escala para que el índice de un número entre 0 y 100. La serie tiene una frecuencia mensual y fue ajustada estacionalmente.

¹⁴ Los periódicos El Norte y El Reforma son utilizados desde 1996, mientras que el periódico El Mural es utilizado desde 1999.

5. ESTIMACIÓN DEL MODELO

5.1. Modelo base

El modelo base será estimado a través una identificación recursiva. El objetivo de este modelo es analizar la interacción de las variables macroeconómicas seleccionadas a través del análisis de descomposición de la varianza estimada y una descomposición histórica de los choques. Dicho modelo utiliza las siguientes variables: para el bloque exógeno, $y_t^{US} = (x^{US}, \pi^{US}, i^{US})$ se utilizan, respectivamente, la brecha del producto de EE.UU., la inflación anual y la tasa de interés; y para el bloque endógeno $y_t^{MX} = (x^{MX}, \pi^{MX}, \pi_p^{MX}, i^{MX}, q^{MX})$ se utilizan, respectivamente, la brecha del producto, la inflación anual, la inflación anual de los precios del productor, la tasa de interés y la depreciación del tipo de cambio. La idea detrás de este modelo es identificar empíricamente una curva de Phillips (x), una curva IS (π) y una regla de Taylor (i) para cada una de las economías, además de una ecuación para la depreciación del tipo de cambio (q) entre el peso mexicano y el dólar estadounidense. Dentro de los modelos dinámicos de equilibrio general son las ecuaciones más básicas para una economía abierta, pues nos dan la dinámica general de la inflación, el producto y la tasa de interés. Nótese que dentro de las variables para la economía mexicana está la inflación de los precios de los productores. La intuición de incluir dicha variable consiste en minimizar el *price puzzle*, tal como se explicó en la sección 3.1., siguiendo los consejos de Carrillo y Elizondo (2015) para el caso mexicano.¹⁵

5.1.1. Modelo base: descomposición de la varianza de los errores del pronóstico.

La varianza de los errores del pronóstico es una metodología que descompone la varianza de cada variable en las contribuciones de las varianzas de todos los choques. Intuitivamente, demuestra qué tan importante es un choque para explicar las fluctuaciones cada una de las variables. Además, muestra cómo cambia la contribución de cada choque a través del tiempo en cada una de las variables. Para realizar la descomposición, primero es necesario estimar la diferencia entre la serie real y la serie estimada. El resultado de dicha operación es el error del pronóstico. Después, para cada choque, se obtiene la varianza del error del pronóstico y se descompone en las contribuciones de todas las variables a lo largo de 36 meses. Así, una descomposición de la varianza de los errores del pronóstico para el modelo base genera ocho

¹⁵ Para más información véase Carrillo y Elizondo (2015)

choques: cada choque agregado es una variable del modelo descrito en la sección 5.1; tres choques agregados son de Estados Unidos y cinco choques agregados son de México. En ese sentido, para cada choque vemos la contribución de cada variable durante 36 meses posteriores al choque.

La *Gráfica 4* muestra la descomposición de la varianza de los errores del pronóstico para el modelo base.¹⁶ Las variables relevantes para analizar su descomposición son la brecha del producto, la inflación y la tasa de interés de México. Los resultados de la descomposición de la brecha del producto de México están en el panel titulado “xMX” de la *Gráfica 4*. Y, en dicho panel, es posible observar que alrededor del 60% de las fluctuaciones de la brecha del producto de México son una contribución de la brecha del producto de Estados Unidos. Además, durante los primeros doce meses, aproximadamente un 30% de las fluctuaciones de la brecha del producto de México son causadas por la contribución de la propia dinámica de la brecha del producto de México. No obstante, conforme aumenta el plazo, el último dato se reduce a un 24% aproximadamente. En otras palabras, el ciclo económico de México depende en su mayoría de la dinámica económica de México y Estados Unidos, pero la contribución de la brecha del producto de Estados Unidos en la brecha del producto de México aumenta en el mediano plazo. Dicha relación suele ocurrir en todas las variables mexicanas: la dinámica en el corto plazo de las variables mexicanas está determinada en una amplia mayoría por el bloque de variables de México; sin embargo, en el mediano plazo las variables estadounidenses aumentan su porcentaje explicativo en la dinámica de las variables mexicanas.

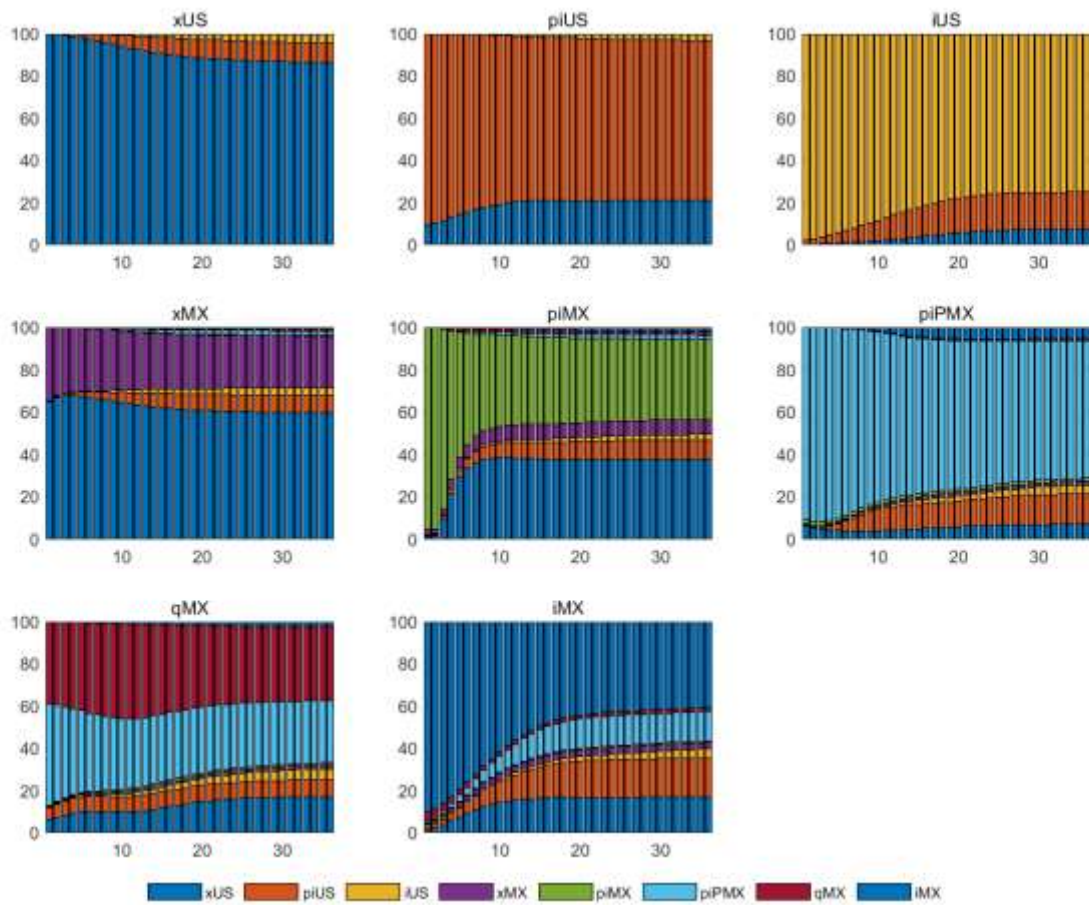
Para la inflación subyacente de México, los resultados están en el panel titulado “piMX” de la *Gráfica 4*. En dicho panel es posible observar que las fluctuaciones de la inflación subyacente mexicana en el corto plazo están determinadas en su mayoría por la inflación local, pero las fluctuaciones en el mediano plazo son explicadas aproximadamente en un 40% por la economía norteamericana. Una posible explicación del efecto norteamericano en la inflación mexicana tiene origen en los choques de la demanda agregada, que impactan en la economía mexicana y producen presiones inflacionarias. Esto concuerda con la teoría económica y la

¹⁶ La *Gráfica 4* tiene 8 paneles. Cada panel representa un choque. Los choques están acomodados de izquierda a derecha en el mismo orden que fueron presentadas las variables del modelo base en la sección anterior. En cada panel, el eje vertical es un número de 0 a 100 que representa el porcentaje de la varianza del choque explicada por cada variable. El eje horizontal es el horizonte de pronóstico que va de 1 mes hasta 36 meses. Los colores de cada variable están marcados en la parte inferior de la gráfica 4.

descomposición de la varianza del ciclo del producto mexicano: un choque positivo en la dinámica de la economía norteamericana contagia positivamente a la economía mexicana; así, la inflación tendrá presiones inflacionarias por el lado de la demanda agregada. No obstante, el impacto no es inmediato en los precios, sino que es gradual en la inflación subyacente.

Por último, para la tasa de interés de México, los resultados están en el panel titulado “iMX” de la *Gráfica 4*. En dicho panel se muestra que el ciclo de la tasa de interés del Banco de México responde en el corto plazo en su gran mayoría al tipo de cambio y presiones inflacionarias locales. Sin embargo, en el mediano plazo, tanto la brecha del producto norteamericana como la inflación estadounidense, en igual magnitud, explican ambas poco más del 40% el ciclo de la tasa de interés mexicana. Dicho análisis es relevante y encuentra validez en la ventana de datos elegida: dado el contexto de la crisis del COVID-19 iniciada en 2020 y las posteriores presiones inflacionarias en Estados Unidos. A través del mandato dual de la Reserva Federal, fue la caída en la economía, y una inflación que históricamente ha costado generar en una economía avanzada como la norteamericana, un gran determinante que impulsó a un ciclo de baja de tasas de interés durante la crisis económica producto del confinamiento por COVID-19. Sin embargo, el incremento en los niveles de inflación en Estados Unidos durante el 2021 ha impactado directamente en la inflación mexicana y, a su vez, explica el ciclo de tasas de interés al alza por parte del Banco de México.

Gráfica 4. Descomposición de la varianza de los errores del pronóstico.



Fuente. elaboración propia.

5.1.2. Modelo base: descomposición histórica

La descomposición histórica es una metodología que descompone cada variable en términos de los choques estructurales. A diferencia de la descomposición de la varianza del error del pronóstico, la descomposición histórica asigna un valor a todos los choques en cada punto del tiempo de tal manera que la contribución de cada choque puede ser positiva, negativa o nula. Así, es posible determinar cómo varía el impacto de cada choque a lo largo del tiempo en cada una de las variables. El principal beneficio de realizar una descomposición histórica consiste en desagregar la variable en sus determinantes y que, en consecuencia, sea más sencillo observar los efectos de cada choque alrededor de eventos económicos importantes.

Para realizar la descomposición histórica de una variable cualquiera, primero es necesario calcular qué proporción de la variable está explicada por el impacto de las condiciones iniciales (la suma de los efectos pasados de la serie a descomponer) y las variables exógenas (la suma de los efectos de las variables exógenas a las economías de México y Estados Unidos). Las dos contribuciones históricas anteriormente estimadas son también llamadas las contribuciones determinísticas. La diferencia entre la serie de tiempo y las contribuciones determinísticas es la suma de las contribuciones históricas de los choques estructurales.¹⁷ Para este caso en particular, el impacto de las variables exógenas es cero, pues no hay variables exógenas a las variables de México y de Estados Unidos en el presente modelo. Por último, la suma de las contribuciones históricas de todos los choques es dividida en la contribución de cada choque.

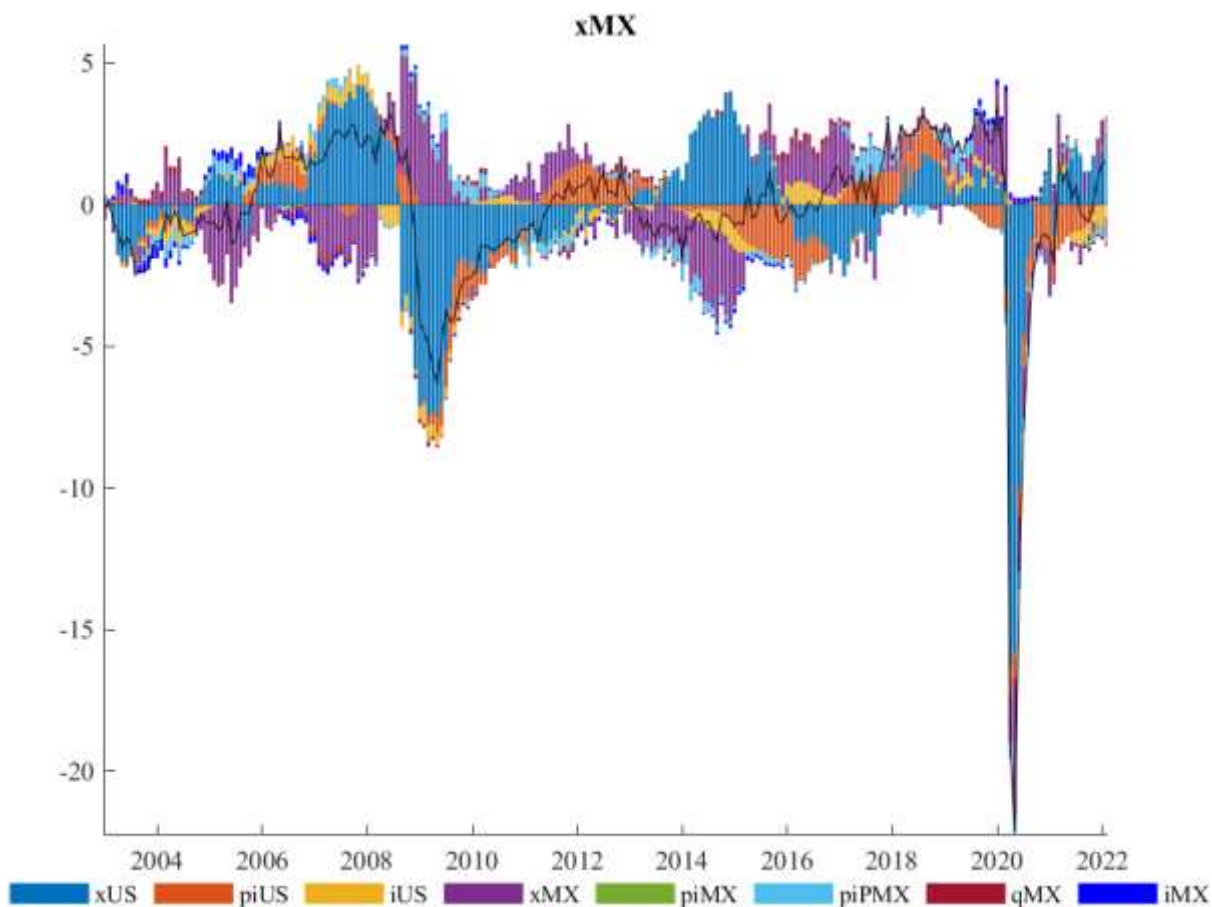
Para continuar con el análisis de la sección anterior, las variables relevantes para analizar su descomposición histórica son la brecha del producto, la inflación y la tasa de interés de México. El objetivo es analizar el comportamiento de las series alrededor de la crisis inmobiliaria de EE.UU. en 2008 y la crisis por el confinamiento del COVID-19 en 2020. En primer lugar, la *Gráfica 5* presenta la descomposición histórica de la brecha del producto de México. En dicha gráfica se puede observar que posteriormente a cada crisis, la brecha del producto de México presentó una caída de 8 y 20 puntos porcentuales, respectivamente. Según los resultados de la sección anterior, las fluctuaciones de la brecha del producto de México son explicadas en su mayoría por la brecha del producto e inflación de EE.UU., y por la propia la

¹⁷ La relación anterior está definida y derivada explícitamente en la proposición 8.2.1. del ANEXO 2. Para más información, revisar el ANEXO 2.

brecha del producto de México. La *Gráfica 5* corrobora que dichas variables son las más importantes para explicar las caídas económicas en ambas crisis.

Más específicamente, en la *Gráfica 5* se observa que durante la crisis de 2008 el factor determinante para minimizar la caída propiciada por EE.UU. fue la actividad económica de México; en contraste, es posible observar que la actividad económica de EE.UU. generó una presión al alza para la recuperación económica posterior a la pandemia por el COVID-19 en 2020. Asimismo, la inflación norteamericana ha tenido un impacto negativo en la actividad económica de ambos periodos de recuperación, junto con la tasa de interés. Recuerde que dicha tasa es una tasa sombra: es decir, durante el periodo posterior al confinamiento tuvo una rápida convergencia al cero; no obstante, las políticas monetarias expansivas no convencionales hechas por la Reserva Federal son los principales determinantes a la baja. Estos resultados son relevantes porque nos muestran la dependencia que tiene México respecto al producto de Estados Unidos y las políticas monetarias de la Reserva Federal durante las últimas crisis económicas, lo cual es congruente con los resultados de la sección anterior.

Gráfica 5. Descomposición histórica del ciclo de la brecha del producto de México.¹⁸



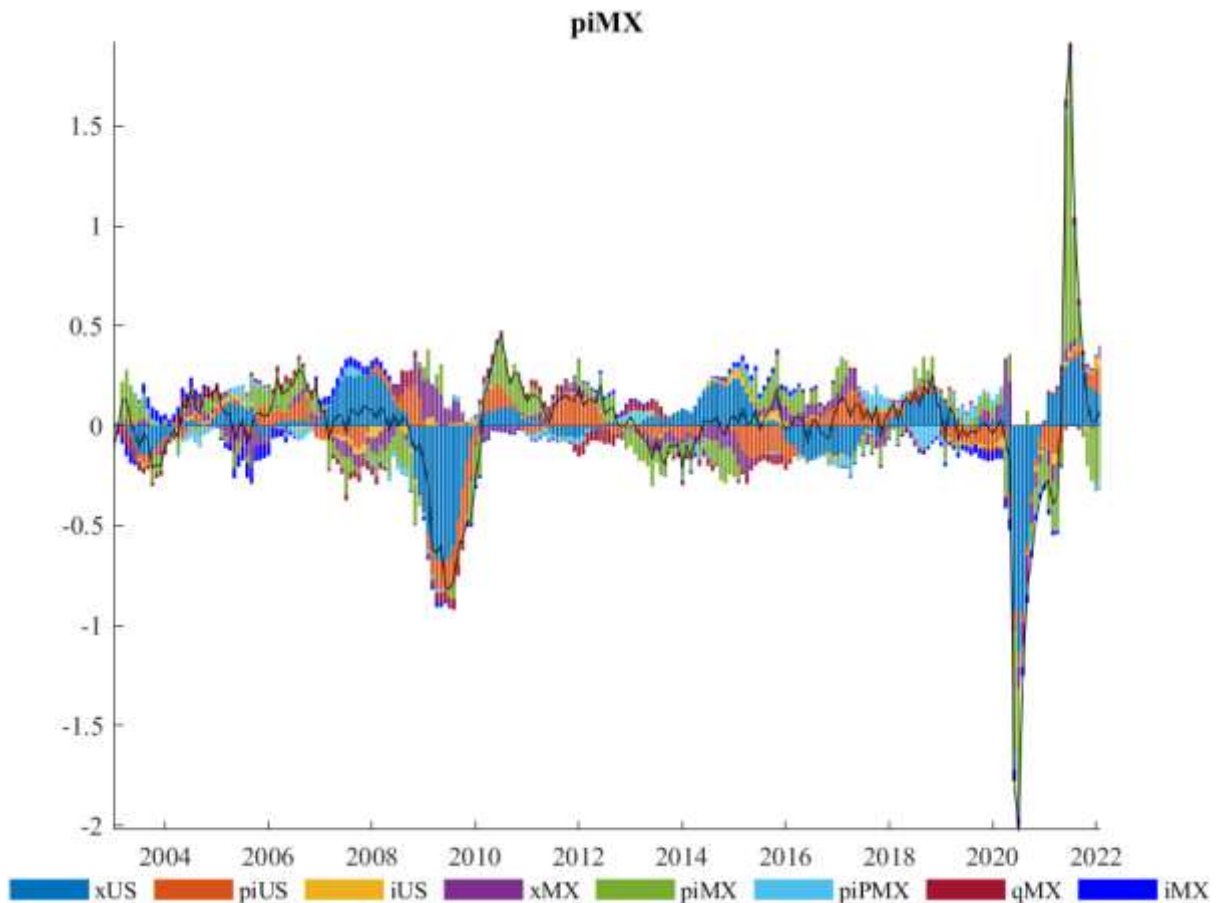
Fuente: elaboración propia.

En segundo lugar, la *Gráfica 6* presenta la descomposición histórica de inflación subyacente de México. En aquella gráfica se puede analizar que después de las crisis económicas, el ciclo de la inflación subyacente de México presentó unas caídas similares a la brecha del producto. Si seguimos los resultados de la sección anterior, los principales determinantes de las fluctuaciones del ciclo inflacionario son explicadas en su mayoría por la brecha del producto y los ciclos inflacionarios de ambos países. La *Gráfica 6* vuelve a corroborar el análisis anterior durante los periodos de crisis económicas. La inflación subyacente, en ambas crisis económicas, tuvo caídas generadas por la desaceleración económica de Estados Unidos a

¹⁸ La gráfica 5 presenta la descomposición histórica de la brecha del producto de México de enero de 2002 a febrero de 2022. El eje vertical representa los puntos porcentuales que puede tomar la brecha del producto. En contraste, el eje horizontal es el tiempo de cada variable. Así, para cada punto del tiempo, la brecha del producto tiene un valor denotado por la línea negra. Alrededor de la línea negra se pueden observar las contribuciones de cada choque en forma de rectángulos. Cada rectángulo tiene asignado un color en función de la variable correspondiente. Los choques son las ocho variables del modelo base. Las contribuciones de cada choque a la brecha del producto pueden ser positivas, negativas o nulas.

través de una disminución de la demanda agregada. El aumento de inflación posterior a la crisis de 2008 fue por presiones al alza de la demanda agregada, un aumento de la inflación estadounidense y por inflación nacional. Este aumento de inflación posterior a dicha crisis, dentro de la teoría, es normal. Lo denominamos efecto aritmético, pues corresponde a la caída en la inflación producto de la crisis. En ese sentido, después de la crisis por COVID-19, también ocurrió el mismo efecto aritmético. No obstante, las presiones inflacionarias después del efecto aritmético han sido por un aumento en la demanda agregada norteamericana que dinamiza la economía nacional, pero también por un aumento en la inflación estadounidense. De hecho, la dinámica de la inflación nacional es el determinante que presiona a la baja la inflación.

Gráfica 6. Descomposición histórica de la brecha de la inflación anual en México.¹⁹

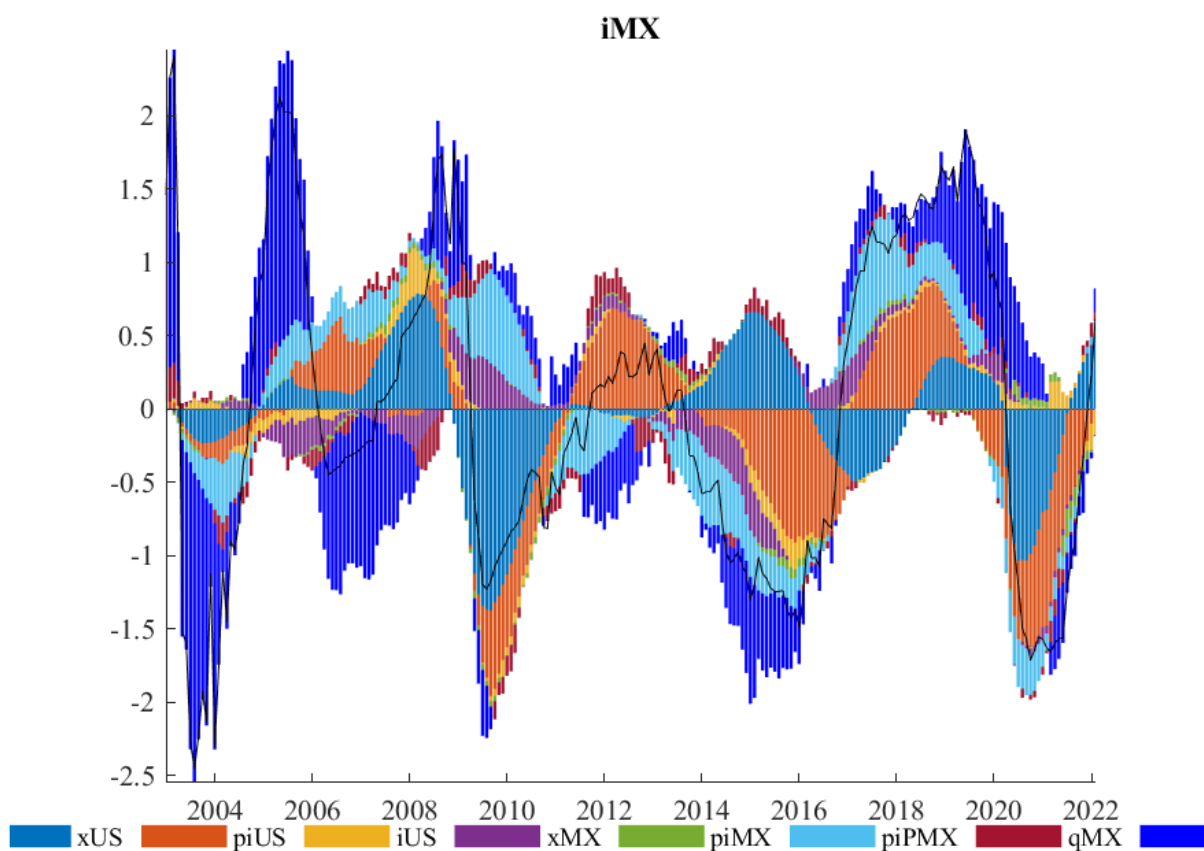


Fuente: elaboración propia.

¹⁹ La gráfica 6 presenta la descomposición histórica del ciclo de la inflación subyacente de México de enero de 2002 a febrero de 2022. El eje vertical representa los valores que puede tomar la inflación subyacente anual. En contraste, el eje horizontal es el tiempo de cada variable. Así, para cada punto del tiempo, la inflación tiene un valor denotado por la línea negra. Alrededor de la línea negra se pueden observar las contribuciones de cada choque en forma de rectángulos. Cada rectángulo tiene asignado un color en función de la variable correspondiente.

En tercer lugar, la *Gráfica 7* muestra la descomposición histórica de la tasa de interés de México. Y, al contrario de lo que podría llegar a parecer, la tasa de interés se encuentra más determinada por la inflación y el ciclo económico de Estados Unidos que por la propia tasa de interés de la Reserva Federal. Esto se puede corroborar en los efectos durante las dos crisis económicas de 2008 y 2020 en la *Gráfica 7*. Asimismo, es congruente con los resultados obtenidos en la sección anterior. La razón es que, dado el modelo que hemos estimado, los determinantes de la inflación mexicana son en una gran parte causados por choques de demanda e inflacionarios de Estados Unidos. Con un modelo determinado correctamente, y no para fines didácticos, las relaciones cambian. Esto refleja que los resultados de estas descomposiciones históricas son modelo-dependientes.

Gráfica 7. Descomposición histórica de la brecha de la tasa de interés de México.²⁰



Fuente: elaboración propia.

²⁰ La gráfica 7 presenta la descomposición histórica del ciclo de la tasa de interés mensual de México entre enero de 2002 y febrero de 2022. El eje vertical representa los valores que puede tomar el ciclo de tasas de interés. En contraste, el eje horizontal es el tiempo de cada variable. Así, para cada punto del tiempo, el ciclo de tasas de interés tiene un valor denotado por la línea negra. Alrededor de la línea negra se pueden observar las contribuciones de

5.2. Modelos satélites

Dentro de esta gama de modelos, el objetivo es estimar las funciones de impulso respuesta de la economía ante un shock de demanda externo, un shock del precio de los *commodities*, un shock de riesgo financiero y otro shock de riesgo de política económica directamente en el núcleo de las variables de México. Una vez hecho esto, dichos modelos pueden ser utilizados para predecir diversos escenarios macroeconómicos sobre el modelo base.

5.2.1. Modelo satélite: demanda agregada norteamericana

Para el presente modelo satélite utilizamos la brecha del producto de Estados Unidos $y_t^{US} = (x^{US'})'$ como variable exógena en bloque a las variables del bloque de México. Dentro de las variables endógenas $y_t^{MX} = (x^{MX'}, \pi^{MX'}, \pi_p^{MX'}, i^{MX'}, q^{MX'})'$ utilizamos el núcleo usual de variables para la economía mexicana.

Tabla 1. Tabla de choques para la demanda agregada de Estados Unidos.²¹

Choques	x^{US}	x^{MX}	π^{MX}	π_p^{MX}	i^{MX}	q^{MX}
Demanda agregada US	+	+				
Demanda agregada MX		+	+		+	-
<i>Cost-push</i> transitorio MX		+	-	-		+
Política Monetaria MX		-	-		+	-
Riesgo MX		-	+		+	+

Fuente: elaboración propia.

Imponemos cinco choques estructurales: un shock de demanda agregada norteamericano, un shock de demanda agregada mexicana, un shock de un aumento transitorio de los costos de producción, un shock de política monetaria restrictiva y un shock sintético de riesgo. Para que las impulso respuesta obtenidas a través de este método sean realistas, es importante que los choques sean ortogonales entre ellos para que funcionen como una base que pueda generar todas las series en cuestión.

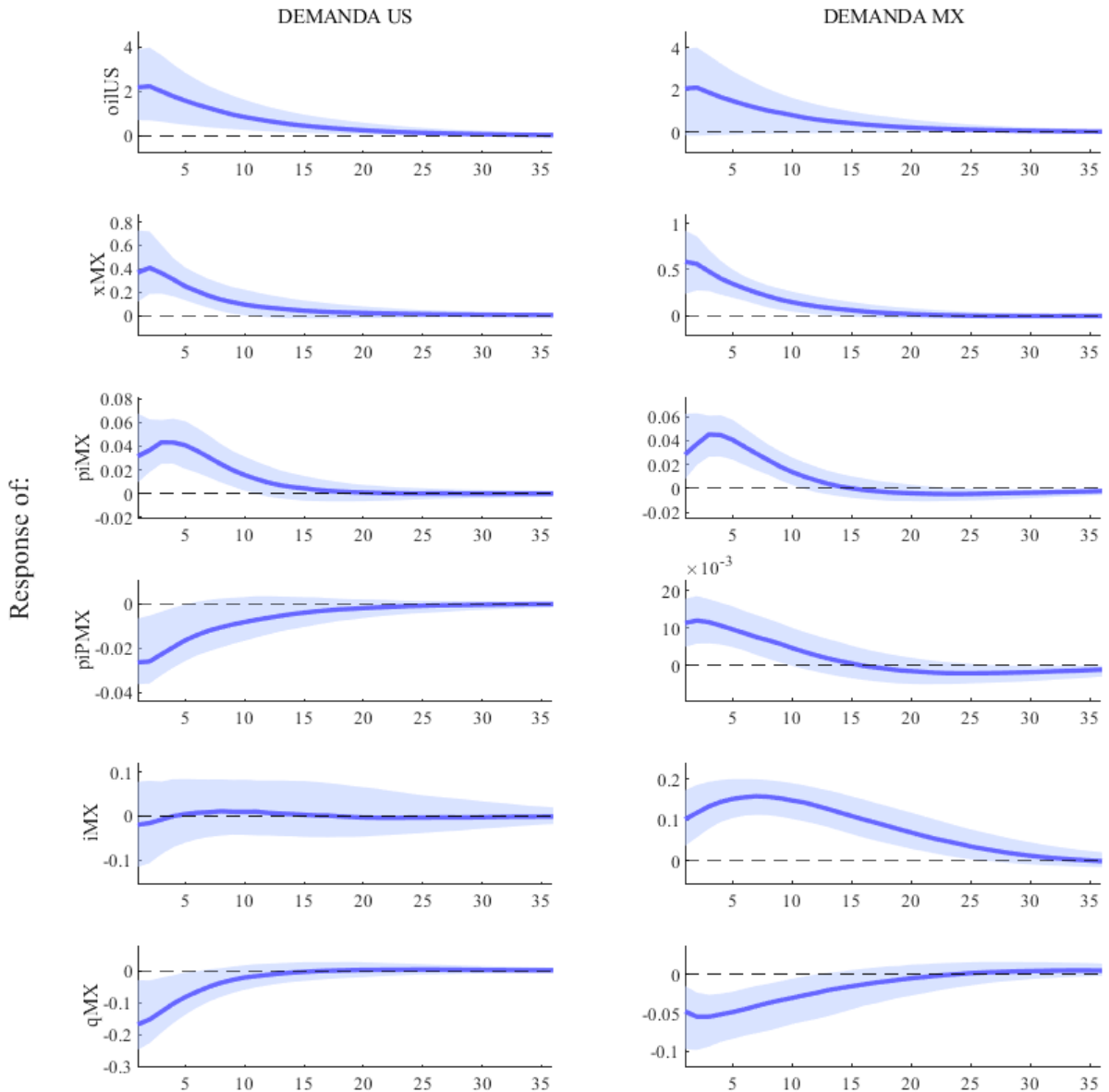
cada choque en forma de rectángulos. Cada rectángulo tiene asignado un color en función de la variable correspondiente.

²¹ La tabla indica la relación entre los cinco choques ortogonales y el signo esperado de las variables en cada uno de los choques. Las filas de la tabla denotan la fuente de los cinco choques. Las columnas son las seis variables que reciben un impacto por cada choque del modelo. En cada casilla de la tabla existen tres opciones: si hay un signo positivo (+) se asume que el choque impacta positivamente en la variable; si hay un signo negativo se asume que el choque impacta negativamente en la variable; y si no hay nada significa que no se asume nada.

- El primer choque, el choque de demanda agregada norteamericano, supone un aumento cíclico tanto en México como en Estados Unidos de demanda agregada. Del segundo al quinto choque solo se involucran las variables mexicanas. La idea es que a través de los choques restantes generemos las impulso respuesta restantes del choque norteamericano, el cuál es el objetivo de esta sección.
- El segundo choque, de demanda agregada para la economía pequeña, supone un aumento del producto, que genera presiones inflacionarias, hace que el tipo de cambio se aprecie y la inflación produce un aumento de la tasa de interés.
- El tercer choque produce un aumento en la actividad económica producto de una disminución en los costos de materiales, salarios, etcétera. Dicha actividad inflacionaria genera una apreciación del tipo de cambio.
- El cuarto choque es un choque contractivo de política monetaria que reduce el nivel de precios nacional, lo cual genera una apreciación del tipo de cambio. Asimismo, la actividad económica se desacelera.
- Por último, se da un choque donde aumenta el *riesgo* en la economía nacional. Este choque se da cuando, en un periodo recesivo de crisis económica, hay presiones inflacionarias, un aumento de la tasa de interés y una depreciación del tipo de cambio con respecto al dólar.

La función de impulso respuesta obtenida cumple con las dos restricciones de signo impuestas: un aumento en la brecha del producto para ambos países. Los demás choques se han generado a través del algoritmo de Arias et. al. (2014). El resultado del choque es similar a un choque de demanda mexicana, con la sutileza de que disminuyen los costos de producción significativamente y la tasa de interés se encuentra indeterminada.

Gráfica 8. Funciones de impulso respuesta ante un choque de demanda agregada de EE.UU.



Fuente: elaboración propia.

5.2.2. Modelo satélite: el precio de los *commodities*

El siguiente modelo satélite está basado en los mismos choques para la economía de México, con la diferencia de que el choque de *commodities*, que usa como variable proxy al precio del petróleo Brent para Estados Unidos. La tabla 2 indica para choque los impulsos supuestos para las variables de México. La interpretación de los choques restantes es la misma dada en el apartado 5.2.1.; sin embargo, a diferencia del modelo anterior no se incluye la inflación del

productor. La razón de eliminar la inflación del productor de las variables es que el precio del crudo Brent está correlacionado con la inflación del productor y, por tanto, si se incluyen ambas variables el modelo estaría mal identificado.

Tabla 2. Tabla de choques para un choque de commodities de Estados Unidos.²²

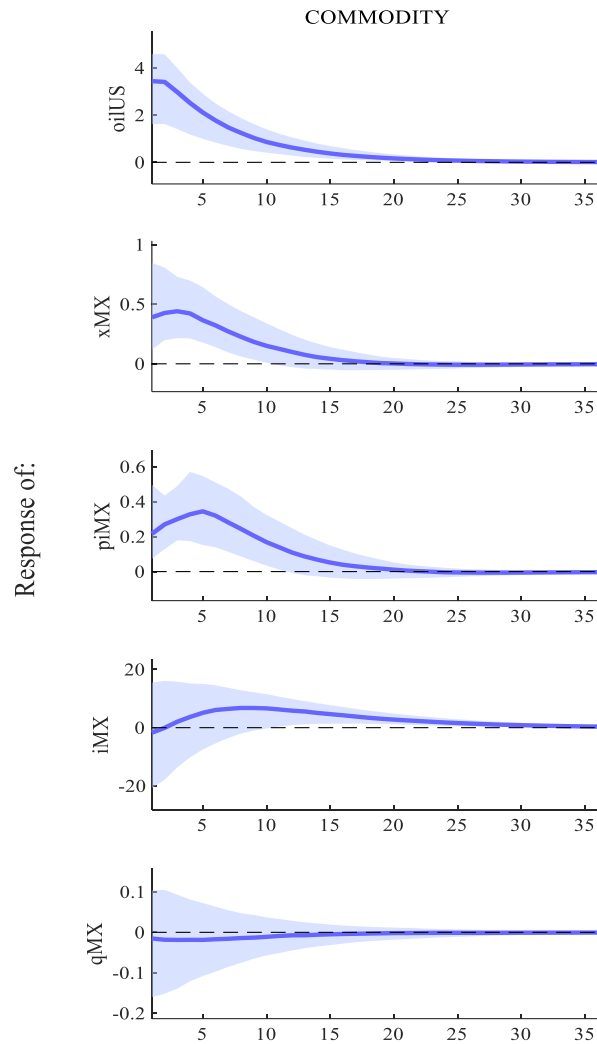
Shock	oil^{US}	x^{MX}	π^{MX}	i^{MX}	q^{MX}
Commodity US	+				
Demanda agregada MX		+	+	+	-
<i>Cost-push</i> transitorio MX		+	-		+
Política Monetaria MX		-	-	+	-
Riesgo MX		-	+	+	+

Fuente: elaboración propia.

La *Gráfica 9* muestra las funciones de impulso respuesta ante un aumento positivo del precio de del petroleo Brent. En dicha gráfica se muestra que un choque externo positivo en los precios de los comodities tiene un impacto significativo y positivo, en el corto plazo, en la inflación subyacente y la brecha del producto de México. Además, la gráfica muestra que, en el mediano plazo, la inflación subyacente y la brecha del producto de México muestran un proceso de reversión a la media. También hay un leve aumento en la tasa de interés y una pequeña apreciación del tipo de cambio, pero los efectos no son significativos. Aun así, los resultados son congruentes con la teoría económica. Puede parecer contradictorio que un choque positivo en el precio del Brent impacte positivamente en la brecha del producto, pues un aumento en los precios de un insumo como el petroleo suele afectar negativamente a la producción; sin embargo, para el caso de México, un choque positivo en el precio del Brent puede interpretarse en un aumento en la entrada de dólares vía las exportaciones. A pesar de ello, el impacto puede cambiar dependiendo de si en un futuro cercano México es un exportador neto de petróleo o no y qué tan eficiente es la producción. Por ello, este resultado debe ser tomado con cautela y sometido a un análisis más exhaustivo.

²² La tabla indica la relación entre los cinco choques ortogonales y el signo esperado de las variables en cada uno de los choques. Las filas de la tabla denotan la fuente de los cinco choques. Las columnas son las seis variables que reciben un impacto por cada choque del modelo. En cada casilla de la tabla existen tres opciones: si hay un signo positivo (+) se asume que el choque impacta positivamente en la variable; si hay un signo negativo se asume que el choque impacta negativamente en la variable; y si no hay nada significa que no se asume nada.

Gráfica 9. Funciones de impulso respuesta ante un choque del precio de los commodities.



Fuente: elaboración propia.

5.2.3. Modelo satélite: riesgo financiero e incertidumbre

El siguiente modelo satélite busca explicar la diferencia entre un choque financiero y un choque de incertidumbre sobre la política económica. Las restricciones típicas para los choques de demanda agregada, *cost-push*, política monetaria y riesgo se siguen cumpliendo como en los modelos anteriores. En este modelo satélite, a diferencia de los modelos satélite anteriores, no hay exogeneidad en bloque, pues todas las variables pertenecen a la economía de México.

Tabla 3. Tabla de choques para un choque de commodity de Estados Unidos.²³

Shock	x^{MX}	π^{MX}	π_p^{MX}	s^{MX}	u^{MX}	i^{MX}	q^{MX}
Demanda agregada MX	+	+				+	-
Cost-push transitorio MX	+	-	-				+
Incertidumbre financiera MX				+			
Incertidumbre política económica MX					+		
Política Monetaria MX	-	-				+	-
Riesgo MX	-	+				+	+

Fuente: elaboración propia.

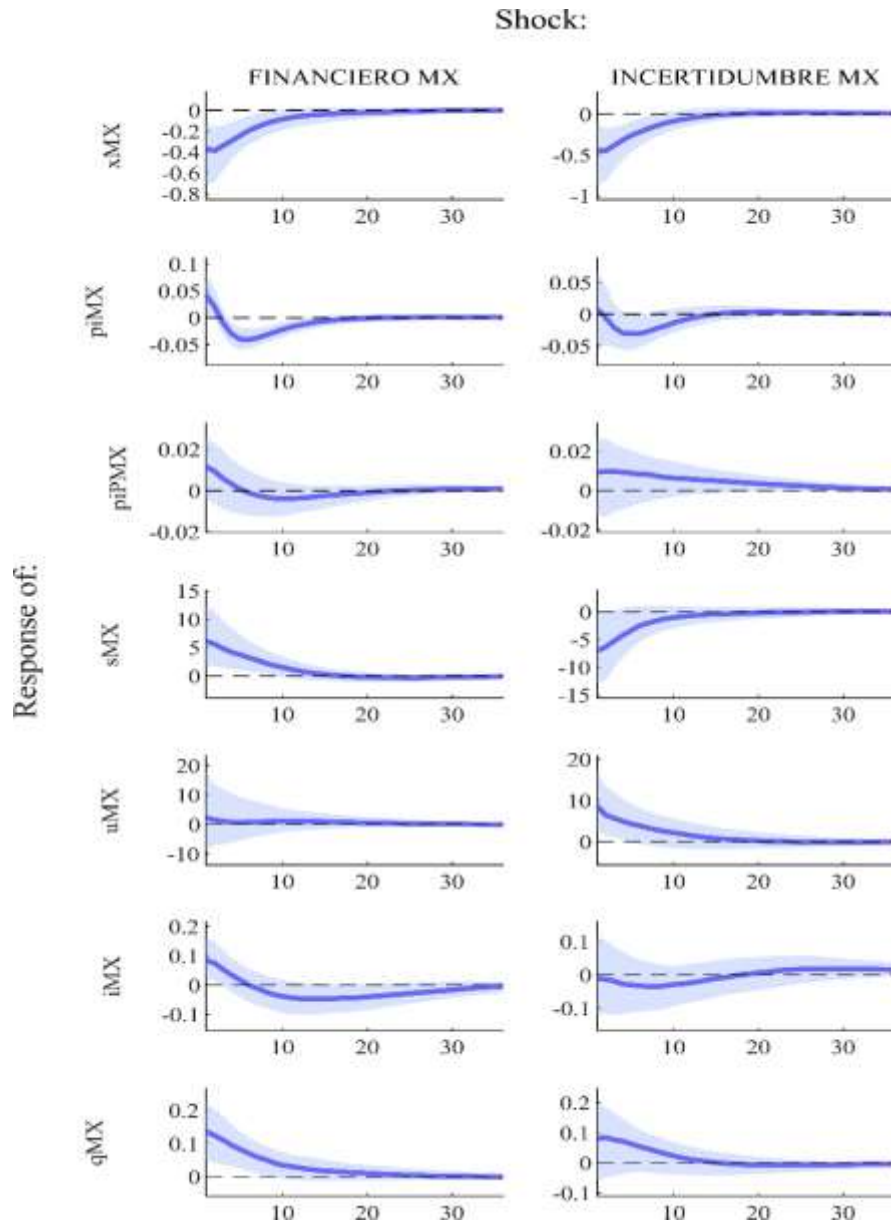
El choque de incertidumbre política es un choque en donde hay un impacto positivo del índice de Becker para el caso de México. Este aumento significa que la frecuencia del uso de términos económicos, de política económica o de incertidumbre en las noticias de los diarios seleccionados por el índice aumenta. Y, a su vez, dicho aumento suele darse en periodos de altavolatilidad, donde hay cambios institucionales en las reglas del juego a un nivel económico (por ejemplo, suelen darse nuevas políticas fiscales, monetarias, etcétera). Por el contrario, el choque de incertidumbre financiera ocurre cuando aumenta el *riesgo país* para el caso de México; es decir, cuando el riesgo de la deuda soberana aumenta relativamente más que un portafolio libre de riesgo.

Los resultados se muestran en la *Gráfica 10*. En el primer panel de la *Gráfica 10* se muestra que ambos choques disminuyen la actividad económica de manera significativa. Y el segundo panel de la *Gráfica 10* muestra que se también generan presiones inflacionarias a la baja, aunque solo es significativo para el caso de la respuesta de la inflación subyacente ante un choque financiero. En el último panel de la *Gráfica 10* se observa que un choque financiero deprecia el tipo de cambio, mientras que en el caso de un choque de incertidumbre política no está definido. El resultado anterior no es congruente con la teoría económica. Normalmente, los periodos con niveles inflacionarios altos están relacionados con grandes niveles de

²³ La tabla indica la relación entre los cinco choques ortogonales y el signo esperado de las variables en cada uno de los choques. Las filas de la tabla denotan la fuente de los cinco choques. Las columnas son las seis variables que reciben un impacto por cada choque del modelo. En cada casilla de la tabla existen tres opciones: si hay un signo positivo (+) se asume que el choque impacta positivamente en la variable; si hay un signo negativo se asume que el choque impacta negativamente en la variable; y si no hay nada significa que no se asume nada.

incertidumbre y un aumento del *riesgo país*. El mecanismo a través del cual el riesgo país y la incertidumbre afectan la inflación suele ser a través de una depreciación del peso con respecto al dólar. Así, podemos definir que nos encontramos ante *un puzzle de incertidumbre y un puzzle de riesgo país* por una especificación incorrecta de los choques en cuestión.

Gráfica 10. Función de impulso respuesta ante un choque de incertidumbre financiera y de política económica.



Fuente: elaboración propia.

6. CONCLUSIÓN

En el presente documento se analizaron los mecanismos de transmisión de los choques agregados de Estados Unidos a México. A través de un modelo VAR recursivo con exogeneidad de bloque se identificaron las interacciones entre el producto, la inflación y la tasa de interés de Estados Unidos en México. Además, fueron utilizadas restricciones cero y signo para identificar cuatro choques a la economía mexicana: un choque de incertidumbre política, un choque de incertidumbre financiera, un choque de demanda agregada de Estados Unidos sobre México y un choque del precio de los *commodities*. La metodología proporciona resultados en línea con las impulso-respuesta de una amplia variedad de modelos DSGE con rigideces nominales.

Las contribuciones del presente estudio son varias: en primer lugar, el ciclo económico de México depende en gran medida de la dinámica económica de México y Estados Unidos, pero la contribución de la brecha del producto de Estados Unidos en la brecha del producto de México aumenta en el mediano plazo. Más específicamente, las variables de EE. UU. explican cerca del 70% de las fluctuaciones en la brecha del producto de México. En segundo lugar, las fluctuaciones de la inflación subyacente mexicana en el corto plazo están determinadas en su mayoría por la inflación de México, aunque las fluctuaciones en el mediano plazo son explicadas aproximadamente en un 40% por las variables de Estados Unidos. En tercer lugar, la tasa de interés mensual responde en el corto plazo en al tipo de cambio y presiones inflacionarias locales. Sin embargo, en el mediano plazo, tanto la brecha del producto norteamericana como la inflación estadounidense explican más del 40% la tasa de interés mexicana. En cuarto lugar, un choque de demanda agregada de EE.UU. presenta impactos en las variables de México muy cercanos a un choque de demanda agregada de México. En quinto lugar, un choque externo positivo en el precio del Brent tiene un impacto significativo y positivo, en el corto plazo, en la inflación subyacente y la brecha del producto de México. En último lugar, los choques positivos del riesgo país y la incertidumbre política disminuyen la actividad económica de México de manera significativa.

Finalmente, la presente tesina tiene ciertas limitaciones. Primero, dentro de los posibles choques existe la posibilidad de utilizar series de tiempo de alta frecuencia para determinar las sorpresas del mercado durante decisiones de política monetaria. Asimismo, es posible modelar choques de productividad, o bien choques tecnológicos en Estados Unidos y su impacto en México. Finalmente, hemos simplificado la identificación de shocks de aumento de costos, pero

también podría ser interesante desarrollar esta identificación para abordar diversos tipos de shocks generados en mercados laborales extranjeros. Así, si bien los resultados encontrados ayudan a explicar mejor las relaciones entre ambas economías, en la investigación futura sería conveniente atender las limitaciones de la presente.

ANEXO 1

REFERENCIAS

- Aggarwal, R., & Kyaw, N. A. (2005). Equity market integration in the NAFTA region: Evidence from unit root and cointegration tests. *International Review of Financial Analysis*, 14(4), 393–406. <https://doi.org/10.1016/j.irfa.2004.10.008>
- Arias, J. E., Board of Governors of the Federal Reserve System, Rubio-Ramírez, J. F., & Waggoner, D. F. (2014). Inference based on SVARs identified with sign and zero restrictions: Theory and applications. *International Finance Discussion Paper*, 2014(1100), 1–70. <https://doi.org/10.17016/ifdp.2014.1100>
- Atteberry, W. L., & Swanson, P. E. (1997). Equity market integration: The case of North America. *The North American Journal of Economics and Finance*, 8(1), 23–37. [https://doi.org/10.1016/s1062-9408\(97\)90017-6](https://doi.org/10.1016/s1062-9408(97)90017-6)
- Banco de México. (2021). “Informes trimestrales.” Banco de México, México. <https://www.banxico.org.mx/publicaciones-y-prensa/informes-trimestrales/informes-trimestrales-precios.html>
- Barth, M., & Ramey, V. (2000). *The cost channel of monetary transmission*. National Bureau of Economic Research.
- Baumeister, C., & Hamilton, J. D. (2015). Sign restrictions, structural vector autoregressions, and useful prior information. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 83(5), 1963–1999. <https://doi.org/10.3982/ecta12356>
- Blanchard, O., Ostry, J.D., & Ghosh, A.R. (2013). *International policy coordination: The Loch Ness monster*. <https://blog-imfdirect.imf.org/2013/12/15/international-policy-coordination-the-loch-ness-monster/>.
- Canova, F. (2005). The transmission of US shocks to Latin America. *Journal of Applied Econometrics (Chichester, England)*, 20(2), 229–251. <https://doi.org/10.1002/jae.837>

- Carrillo, J. A., Elizondo, R., & Hernández-Román, L. G. (2020). Inquiry on the transmission of U.S. aggregate shocks to Mexico: A SVAR approach. *Journal of International Money and Finance*, 104(102148), 102148. <https://doi.org/10.1016/j.jimonfin.2020.102148>
- Carrillo, J.A. & Elizondo, R. (2015) *How Robust Are SVARs at Measuring Monetary Policy in Small Open Economies?* Banco de México Working Paper 2015-18.
- Chatzky, A. (2008, marzo 21). *NAFTA and the USMCA: Weighing the impact of north American trade*. Council on Foreign Relations. <https://www.cfr.org/background/naftas-economic-impact>
- Chiquiar, D., & Ramos-Francia, M. (2004). *Bilateral Trade and Business Cycle Synchronization: Evidence from Mexico and United States Manufacturing Industries*. Banco de Mexico Working Paper No. 2004–05
- Cushman, D. O., & Zha, T. (1997). Identifying monetary policy in a small open economy under flexible exchange rates. *Journal of Monetary Economics*, 39(3), 433–448. [https://doi.org/10.1016/s0304-3932\(97\)00029-9](https://doi.org/10.1016/s0304-3932(97)00029-9)
- Dieppe, A., Legrand, R., van Roye, B., & European Central Bank. (2018). *The Bayesian Estimation, Analysis and Regression (BEAR) Toolbox: Technical guide*. <https://github.com/european-central-bank/BEAR-toolbox/blob/master/tbx/doc/Technical%20guide.pdf>
- García-Verdú, S., Ramos-Francia, M. (2014). *The Transmission of US Monetary Policy Shocks to EMEs: An Empirical Analysis*, Papers 78, BIS.
- Kim, S., & Roubini, N. (2000). Exchange rate anomalies in the industrial countries: A solution with a structural VAR approach. *Journal of Monetary Economics*, 45(3), 561–586. [https://doi.org/10.1016/s0304-3932\(00\)00010-6](https://doi.org/10.1016/s0304-3932(00)00010-6)
- Leeper, E. M., Sims, C. A., Zha, T., Hall, R. E., & Bernanke, B. S. (1996). What does monetary policy do? *Brookings papers on economic activity*, 1996(2), 1. <https://doi.org/10.2307/2534619>

- López Herrera, F., Universidad Nacional Autónoma de México, Venegas Martínez, F., & Instituto Politécnico Nacional. (2012). Integración financiera México-Estados Unidos: mercados accionarios y de derivados accionarios. *Economía teoría y práctica*, 36, 179–196. <https://doi.org/10.24275/etypuam/ne/362012/lopez>
- Loría, E., & Salas, E. (2015). Mexico and the United States: cycle synchronization, 1980.1-2013.4. *Ensayos Revista de Economía*, 34(1), 75–102. <https://ensayos.uanl.mx/index.php/ensayos/article/view/22>
- Mejía-Reyes, P., & Campos-Chávez, J. (2011). Are the Mexican states and the United States business cycles synchronized?: Evidence from the manufacturing production. *Economía Mexicana Nueva Época*, 20(1), 79–112. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-20452011000100003
- Mishra, P. (2018). *Rules of the monetary game I*. Hoover.org. <https://www.hoover.org/sites/default/files/rajan-rules-of-game-april-2018.pdf>
- Mohanty, M. (2014). *The transmission of unconventional monetary policy to the emerging markets - An overview*. 78, 1–24. <https://econpapers.repec.org/bookchap/bisbisbpc/78-01.htm>
- Oliveira Santos, A. (2002) Are Mexican Business Cycles Asymmetrical? IMF Working Paper 02/150. Washington: International Monetary Fund
- Ortiz-Ospina & E. Beltekian. (2014) *Trade and Globalization*. Our World in Data. Recuperado el 5 de septiembre de 2022, de <https://ourworldindata.org/trade-and-globalization>
- Sims, C. A. (1980). Macroeconomics and Reality. *Econometrica: journal of the Econometric Society*, 48(1), 1. <https://doi.org/10.2307/1912017>
- Sims, C. A. (1992). Interpreting the macroeconomic time series facts. *European Economic Review*, 36(5), 975–1000. [https://doi.org/10.1016/0014-2921\(92\)90041-t](https://doi.org/10.1016/0014-2921(92)90041-t)

Uribe, M., & Yue, V. Z. (2006). Country spreads and emerging countries: Who drives whom? *Journal of International Economics*, 69(1), 6–36. <https://doi.org/10.1016/j.jinteco.2005.04.003>

Vicondoa, A. (2019). Monetary news in the United States and business cycles in emerging economies. *Journal of International Economics*, 117, 79–90. <https://doi.org/10.1016/j.jinteco.2018.12.002>

Bases de datos de acceso público

Banco de México. Certificados del Tesoro a 28 días [Conjunto de datos]. En *Sistema de Información Económica, Valores Gubernamentales*. Recuperado el 6 de junio de 2022, de <https://www.banxico.org.mx/SieInternet/consultarDirectorioInternetAction.do?accion=consultarCuadro&idCuadro=CF107§or=22&locale=es>

Banco de México. Tipo de cambio FIX [Conjunto de datos]. En *Sistema de Información Económica, Mercado Cambiario*. Recuperado el 6 de junio de 2022, de <https://www.banxico.org.mx/tipcamb/tipCamMIAction.do?idioma=sp>

Board of Governors of the Federal Reserve System. Industrial Production: Total Index (INDPRO) [Conjunto de datos]. En *FRED, Federal Reserve Bank of St. Louis*. Recuperado el 6 de junio de 2022, de <https://fred.stlouisfed.org/series/INDPRO>

Chicago Board Options Exchange. CBOE Volatility Index: VIX (VIXCLS) [Conjunto de datos]. En *FRED, Federal Reserve Bank of St. Louis*. Recuperado el 6 de junio de 2022, de <https://fred.stlouisfed.org/series/VIXCLS>

Economic Policy Uncertainty. Índice de incertidumbre en la política económica para México (EPU) [Conjunto de datos]. En *Economic Policy Uncertainty*. Recuperado el 6 de junio de 2022, de https://www.policyuncertainty.com/media/Mexico_Policy_Uncertainty_Data.xlsx

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Indicador Global de la Actividad Económica [Conjunto de datos]. En *Banco de Información Económica*. Recuperado el 6 de junio de 2022, de <https://www.inegi.org.mx/app/indicadores/?tm=0&t=10000202>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Índice Nacional de Precios al Consumidor, componente subyacente [Conjunto de datos]. En *Banco de Información Económica*.

- Recuperado el 6 de junio de 2022, de <https://www.inegi.org.mx/app/indicadores/?tm=0&t=10000500>
- International Monetary Fund. Global price of Brent Crude (POILBREUSDM) [Conjunto de datos]. En *FRED, Federal Reserve Bank of St. Louis*. Recuperado el 6 de junio de 2022, de <https://fred.stlouisfed.org/series/POILBREUSDM>
- J.P. Morgan. Diferencial de rendimientos del Índice de Bonos de Mercados Emergentes para México (EMBI+) [Conjunto de datos]. En *Ámbito, Riesgo país México histórico*. Recuperado el 6 de junio de 2022, de <https://www.ambito.com/contenidos/riesgo-pais-mexico-historico.html>
- U.S. Bureau of Economic Analysis. Personal Consumption Expenditures Excluding Food and Energy (Chain-Type Price Index) (PCEPILFE) [Conjunto de datos]. En *FRED, Federal Reserve Bank of St. Louis*. Recuperado el 6 de junio de 2022, de <https://fred.stlouisfed.org/series/PCEPILFE>
- Wu & Xia (2015). Federal Reserve Bank of Atlanta [Conjunto de datos]. En *Wu-Xia Shadow Federal Funds Rate*. Recuperado el 6 de junio de 2022, de <https://www.atlantafed.org/-/media/documents/datafiles/cqer/research/wu-xia-shadow-federal-funds-rate/WuXiaShadowRate.xlsx>

ANEXO 2

El presente anexo busca desarrollar los conceptos de *descomposición de la varianza de los errores del pronóstico* y *descomposición histórica*.²⁴

8.1. Descomposición de la varianza de los errores del pronóstico.

Proposición 8.1.1. (*Descomposición de la varianza de los errores del pronóstico*)

Sea el modelo VAR descrito en 3.2.:

$$y_t = \sum_{l=1}^P A_l y_{t-l} + C x_t + \varepsilon_t.$$

La varianza de los del error del pronóstico para cada variable i con h datos predichos es denotada por $\sigma_{y,i}^2(h) := \text{Var}(y_{i,t+h} - E(y_{i,t+h}))$. Si el modelo es invertible, es posible descomponer en sus respectivas proporciones relativas a los choques estructurales tal que se cumple la siguiente identidad:

$$1 = \sigma_i(1, h) + \sigma_i(2, h) + \dots + \sigma_i(n, h)$$

Donde $\sigma_i(j, h) := \frac{\sigma_{\eta_j}^2(h)}{\sigma_{y,i}^2(h)} \sum_{l=0}^{h-1} (\tilde{\phi}_{l,ij})^2$ es la proporción de la varianza $\sigma_{y,i}^2(h)$ relativa al choque $\eta_{j,t}$.

Intuición de 8.1.1.

Por 3.2.5., el modelo en su forma de medias móviles de orden infinito en términos de choques estructurales no correlacionados entre sí está dado por la siguiente forma:

$$y_t = A(L)^{-1} C x_t + \sum_{l=0}^{+\infty} \tilde{\Psi}_l \eta_{t-l}$$

²⁴ El presente análisis está basado en *The Bayesian Estimation, Analysis and Regression (BEAR) Toolbox: Technical guide* del Banco Central Europeo.

donde $\tilde{\Psi}_l = \begin{cases} D & \text{si } l = 0 \\ \Psi_l D & \text{si } l = 1, 2, 3, \dots \end{cases}$ es la función de impulso respuesta del choque estructural η_t

sobre y_{t+l} para cada l . Ahora considere predecir el valor y_{t+h} usando 3.2.5.:

$$y_{t+h} = A(L)^{-1} C x_{t+h} + \sum_{l=0}^{+\infty} \tilde{\Psi}_l \eta_{t+h-l}.$$

La expresión anterior puede ser separada en tres componentes:

$$y_{t+h} = \underbrace{A(L)^{-1} C x_{t+h}}_{\text{Valor futuro de las variables exógenas (conocido)}} + \underbrace{\sum_{l=0}^{h-1} \tilde{\Psi}_l \eta_{t+h-l}}_{\text{Choques futuros (desconocido)}} + \underbrace{\sum_{l=h}^{+\infty} \tilde{\Psi}_l \eta_{t+h-l}}_{\text{Choques del pasado y presentes (conocido)}}$$

Si aplicamos el operador de valor esperado a la expresión anterior condicionado al conjunto de información I_t obtenemos lo siguiente:

$$E(y_{t+h}|I_t) = \underbrace{A(L)^{-1} C x_{t+h}}_{\text{Valor futuro de las variables exógenas (conocido)}} + \underbrace{\sum_{l=h}^{+\infty} \tilde{\Psi}_l \eta_{t+h-l}}_{\text{Choques del pasado y presentes (conocido)}}.$$

Por lo tanto, el *error del pronóstico* está determinado por la expresión que sigue:

$$y_{t+h} - E(y_{t+h}) = \underbrace{\sum_{l=0}^{h-1} \tilde{\Psi}_l \eta_{t+h-l}}_{\text{Choques futuros (desconocido)}}.$$

De esta manera, si consideramos cada variable $i \in \{1, 2, \dots, n\}$, es posible escribir el *error del pronóstico* en su forma matricial como sigue:

$$\begin{aligned}
\begin{pmatrix} y_{1,t+h} - E(y_{1,t+h}) \\ y_{2,t+h} - E(y_{2,t+h}) \\ \vdots \\ y_{n,t+h} - E(y_{n,t+h}) \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} \tilde{\Phi}_{0,11} & \tilde{\Phi}_{0,12} & \cdots & \tilde{\Phi}_{0,1n} \\ \tilde{\Phi}_{0,21} & \tilde{\Phi}_{0,22} & \cdots & \tilde{\Phi}_{0,2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{\Phi}_{0,n1} & \tilde{\Phi}_{0,n2} & \cdots & \tilde{\Phi}_{0,nn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \eta_{1,t+h} \\ \eta_{2,t+h} \\ \vdots \\ \eta_{n,t+h} \end{pmatrix} + \\
&\begin{pmatrix} \tilde{\Phi}_{1,11} & \tilde{\Phi}_{1,12} & \cdots & \tilde{\Phi}_{1,1n} \\ \tilde{\Phi}_{1,21} & \tilde{\Phi}_{1,22} & \cdots & \tilde{\Phi}_{1,2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{\Phi}_{1,n1} & \tilde{\Phi}_{1,n2} & \cdots & \tilde{\Phi}_{1,nn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \eta_{1,t+h-1} \\ \eta_{2,t+h-1} \\ \vdots \\ \eta_{n,t+h-1} \end{pmatrix} + \cdots + \\
&\begin{pmatrix} \tilde{\Phi}_{h-1,11} & \tilde{\Phi}_{h-1,12} & \cdots & \tilde{\Phi}_{h-1,1n} \\ \tilde{\Phi}_{h-1,21} & \tilde{\Phi}_{h-1,22} & \cdots & \tilde{\Phi}_{h-1,2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{\Phi}_{h-1,n1} & \tilde{\Phi}_{h-1,n2} & \cdots & \tilde{\Phi}_{h-1,nn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \eta_{1,t+1} \\ \eta_{2,t+1} \\ \vdots \\ \eta_{n,t+1} \end{pmatrix}.
\end{aligned}$$

Entonces, el *error del pronóstico* para una variable i es el siguiente:

$$\begin{aligned}
y_{i,t+h} - E(y_{i,t+h}) &= \sum_{l=0}^{h-1} (\tilde{\Phi}_{l,i1}\eta_{1,t+h-l} + \tilde{\Phi}_{l,i2}\eta_{2,t+h-l} + \cdots + \tilde{\Phi}_{l,in}\eta_{n,t+h-l}) \\
&= \sum_{l=0}^{h-1} (\tilde{\Phi}_{l,i1}\eta_{1,t+h-l}) + \sum_{l=0}^{h-1} (\tilde{\Phi}_{l,i2}\eta_{2,t+h-l}) + \cdots + \sum_{l=0}^{h-1} (\tilde{\Phi}_{l,in}\eta_{n,t+h-l})
\end{aligned}$$

Sea la *varianza del error del pronóstico* $\sigma_{y,i}^2(h) := \text{Var}(y_{i,t+h} - E(y_{i,t+h}))$. Además,

sean las varianzas de las innovaciones estructurales en la matriz Γ denotadas por $\sigma_{\eta,i}^2(h)$ para cada i . Por ende, la *varianza del error del pronóstico* para i se puede escribir en términos de las varianzas $\sigma_{\eta,i}^2(h)$:

$$\sigma_{y,i}^2(h) = \sigma_{\eta,1}^2(h) \sum_{l=0}^{h-1} (\tilde{\Phi}_{l,i1})^2 + \sigma_{\eta,2}^2(h) \sum_{l=0}^{h-1} (\tilde{\Phi}_{l,i2})^2 + \cdots + \sigma_{\eta,n}^2(h) \sum_{l=0}^{h-1} (\tilde{\Phi}_{l,in})^2$$

en donde las covarianzas no aparecen porque los choques estructurales son ortogonales. En consecuencia, dividiendo entre $\sigma_{y,i}^2(h)$ en cada lado, obtenemos la siguiente relación:

$$1 = \underbrace{\frac{\sigma_{\eta,1}^2(h)}{\sigma_{y,i}^2(h)} \sum_{l=0}^{h-1} (\tilde{\phi}_{l,i1})^2}_{\text{Proporción de } \sigma_{y,i}^2(h) \text{ relativa a } \eta_{1,t}} + \underbrace{\frac{\sigma_{\eta,2}^2(h)}{\sigma_{y,i}^2(h)} \sum_{l=0}^{h-1} (\tilde{\phi}_{l,i2})^2}_{\text{Proporción de } \sigma_{y,i}^2(h) \text{ relativa a } \eta_{2,t}} + \dots + \underbrace{\frac{\sigma_{\eta,n}^2(h)}{\sigma_{y,i}^2(h)} \sum_{l=0}^{h-1} (\tilde{\phi}_{l,in})^2}_{\text{Proporción de } \sigma_{y,i}^2(h) \text{ relativa a } \eta_{n,t}}$$

O bien, con la proporción de la varianza $\sigma_{y,i}^2(h)$ relativa a un choque $\eta_{j,t}$ denotada por

$\sigma_i(j, h) := \frac{\sigma_{\eta,j}^2(h)}{\sigma_{y,i}^2(h)} \sum_{l=0}^{h-1} (\tilde{\phi}_{l,ij})^2$, es verosímil reescribir la relación anterior como sigue:

$$1 = \sigma_i(1, h) + \sigma_i(2, h) + \dots + \sigma_i(n, h). \blacksquare$$

Algoritmo 8.1.2 (*Forecast error variance decomposition*)

- i. Definir el número de iteraciones It , y el horizonte de predicción h ;
- ii. En la iteración k , obtener $\Gamma_{(k)}$, $\tilde{\Psi}_1^{(k)}$, $\tilde{\Psi}_2^{(k)}$, ...;
- iii. Obtener $\sigma_i^{(k)}(j, h)$ para cada $i, j \in \{1, 2, \dots, n\}$ y $t \in \{1, 2, \dots, T\}$ a través de 2.1.1.;
- iv. Repetir It veces hasta obtener la siguiente colección:

$$\left\{ \sigma_i^{(k)}(j, h) \right\}_{k=0}^{It}$$

para $i, j \in \{1, 2, \dots, n\}$ y $t \in \{1, 2, \dots, P\}$.

8.2. Descomposición histórica.

Proposición 8.2.1. (*Descomposición histórica*)

Sea el modelo VAR descrito en 3.2.:

$$y_t = \sum_{l=1}^P A_l y_{t-l} + C x_t + \varepsilon_t.$$

Entonces, si el proceso es invertible, es posible descomponer $y_{t,i}$ para cada variable $i \in \{1, 2, \dots, n\}$ en términos de los choques estructurales $\eta_{k,t}$ con $k \in \{1, 2, \dots, n\}$.

Intuición de 8.2.1.

Suponga, por simplicidad un modelo con un lag VAR(1):

$$y_t = A_1 y_{t-1} + C x_t + \varepsilon_t$$

La siguiente expresión es obtenida por sustitución hacia atrás:

$$\begin{aligned} y_t &= A_1 y_{t-1} + C x_t + \varepsilon_t \\ &= A_1 (A_1 y_{t-2} + C x_{t-1} + \varepsilon_{t-1}) + C x_t + \varepsilon_t \\ &= A_1 A_1 y_{t-2} + C x_t + A_1 C x_{t-1} + \varepsilon_t + A_1 \varepsilon_{t-1} \end{aligned}$$

Si sustituimos otra vez más hacia atrás obtenemos lo que sigue:

$$\begin{aligned} y_t &= A_1 A_1 y_{t-2} + C x_t + A_1 C x_{t-1} + \varepsilon_t + A_1 \varepsilon_{t-1} \\ &= A_1 A_1 (A_1 y_{t-3} + C x_{t-2} + \varepsilon_{t-2}) + C x_t + A_1 C x_{t-1} + \varepsilon_t + A_1 \varepsilon_{t-1} \\ &= A_1 A_1 A_1 y_{t-3} + C x_t + A_1 C x_{t-1} + A_1 A_1 C x_{t-2} + \varepsilon_t + A_1 \varepsilon_{t-1} + A_1 A_1 \varepsilon_{t-2}. \end{aligned}$$

Si la sustitución hacia atrás continúa, entonces obtenemos toda la muestra:

$$y_t = (A_1)^t y_0 + \sum_{l=0}^{t-1} (A_1)^l C x_{t-l} + \sum_{l=0}^{t-1} (A_1)^l \varepsilon_{t-l}$$

Del mismo modo, cuando tenemos un VAR(P), el proceso de sustitución hacia atrás mantiene la misma lógica:

$$y_t = \sum_{l=1}^P A_l^{(t)} y_{t-l} + \sum_{l=0}^{t-1} C_l x_{t-l} + \sum_{l=0}^{t-1} B_j \varepsilon_{t-l}.$$

en donde las matrices $A_l^{(t)}$, C_l y B_l son funciones (potencialmente complejas) de A_1, A_2, \dots, A_P .²⁵ El superíndice $A_l^{(t)}$ enfatiza que la matriz depende de $t \in \{1, 2, \dots, T\}$; en contraste, C_l y B_l son matrices independientes de t . Además, nótese que, por definición, las funciones de impulso-respuesta están dadas por $\Psi_l = B_l$. Entonces, por 3.2.5., es posible reescribir la descomposición anterior en términos de choques estructurales en la siguiente forma:

$$y_t = \underbrace{\sum_{l=1}^P A_l^{(t)} y_{1-l} + \sum_{l=0}^{t-1} C_l x_{t-l}}_{\text{Contribución histórica de las variables exógenas y las condiciones iniciales}} + \underbrace{\sum_{l=0}^{t-1} \tilde{\Psi}_l \eta_{t-l}}_{\text{Contribución histórica de los choques estructurales}} .$$

Nótese que y_t en la expresión anterior está dividida en dos partes: por un lado, la contribución de las variables exógenas y las condiciones iniciales; y, por otro lado, la contribución histórica de los choques estructurales. El segundo término, donde se encuentran los choques estructurales, es el objeto de estudio de esta sección. Así, por simplicidad, sea $d^{(t)} = \sum_{l=1}^P A_l^{(t)} y_{1-l} + \sum_{l=0}^{t-1} C_l x_{t-l}$ un vector $n \times 1$ de las contribuciones de las condiciones iniciales y las variables exógenas en y_t . Entonces, al reescribir y_t con $d^{(t)}$, deriva la siguiente expresión:

$$y_t = d^{(t)} + \sum_{l=0}^{t-1} \tilde{\Psi}_l \eta_{t-l}$$

Considere la variable $i \in \{1, 2, \dots, n\}$. Si usamos la descomposición anterior, la descomposición de $y_{t,i}$ tiene la forma que sigue:

$$y_{t,i} = d_i^{(t)} + \sum_{l=0}^{t-1} (\tilde{\phi}_{l,i1} \eta_{1,t-l} + \tilde{\phi}_{l,i2} \eta_{2,t-l} + \dots + \tilde{\phi}_{l,in} \eta_{n,t-l})$$

²⁵ Este análisis no resuelve las funciones $A_l^{(t)}$, C_l porque no son necesarias explícitamente para la descomposición histórica. Sin embargo, con notar que $\Psi_l = B_l$ es suficiente para utilizar 3.2.5.

Al reacomodar, resulta la siguiente descomposición para $y_{t,i}$:

$$y_{t,i} = d_i^{(t)} + \underbrace{\sum_{l=0}^{t-1} \tilde{\phi}_{l,i1} \eta_{1,t-l}}_{\text{Contribución histórica de } \eta_{1,t}} + \underbrace{\sum_{l=0}^{t-1} \tilde{\phi}_{l,i2} \eta_{2,t-l}}_{\text{Contribución histórica de } \eta_{2,t}} + \dots + \underbrace{\sum_{l=0}^{t-1} \tilde{\phi}_{l,in} \eta_{n,t-l}}_{\text{Contribución histórica de } \eta_{n,t}} \quad \blacksquare$$