

**PROGRAMA DOCTORADO EN ECONOMIA**

**TESIS DE GRADO**

**DESASTRES NATURALES Y CRECIMIENTO**  
**Modelos BVAR y Panel VAR Bayesianos aplicados al**  
**estudio de los efectos sobre economías.**

Autor: Christian Belmar C.

Profesor Guía: Ramón López, Departamento de Economía

Universidad de Chile

27 de septiembre de 2022

# Índice general

<b>1. Desastres Naturales y Efectos sobre el Crecimiento de Largo Plazo</b>	<b>1</b>
1.1. Introducción . . . . .	1
1.1.1. Desastres naturales y su clasificación . . . . .	2
1.1.2. Base de Datos . . . . .	5
1.2. Revisión de algunos hechos estilizados . . . . .	6
1.2.1. Desastres naturales desde el enfoque de series de tiempo. . . . .	10
1.3. Revisión de la Literatura . . . . .	12
1.3.1. Hipótesis del impacto de DN sobre el crecimiento. . . . .	13
1.3.2. Teorías de crecimiento y DN. . . . .	14
1.3.3. Econometría y la estimación de efectos indirectos. . . . .	15
1.3.4. Modelos VAR bayesianos. . . . .	17
1.3.5. Síntesis de la revisión de la literatura. . . . .	18
1.4. Metodología modelos BVAR . . . . .	19
1.4.1. Los modelos BVAR . . . . .	19
1.4.2. Enfoque Bayesiano . . . . .	21
1.4.3. Estimación VAR Bayesianos . . . . .	24
1.4.4. Priors de Litterman o de Minnesota y estimación. . . . .	26
1.4.5. Prior alternativos . . . . .	28
1.4.6. Modelo a estimar . . . . .	29
1.5. Resultados . . . . .	32
1.5.1. Australia-Brasil . . . . .	34
1.5.2. Estados Unidos y México . . . . .	37
1.5.3. Chile y Japón . . . . .	41
1.5.4. Indonesia y China . . . . .	45
1.5.5. Caso para Chile: ¿Porqué es tan relevante el estudio de desastres? . . . . .	47
1.6. Principales Conclusiones . . . . .	52
1.7. Anexos . . . . .	56
1.7.1. Anexo 1: Análisis de desastres . . . . .	56
1.7.2. Anexo 2: Derivación de distribución a posteriori . . . . .	57
1.7.3. Anexo 2: Selección modelo VAR(2) . . . . .	58
1.7.4. Anexo 3: Resultados con priors alternativos . . . . .	63
1.7.5. Anexo 4: Regresiones de submuestra de países . . . . .	69
<b>2. Modelos Panel VAR Bayesianos y Efectos Indirectos en Desastres Naturales</b>	<b>71</b>
2.1. Introducción . . . . .	71
2.2. Literatura en torno a los Modelos PBVAR . . . . .	72
2.2.1. Modelos PVAR y PBVAR . . . . .	72
2.2.2. Su aplicación en el estudio de desastres naturales . . . . .	72

2.3. Metodología de PBVAR . . . . .	75
2.3.1. Elementos básicos de los Modelos Panel VAR Bayesiano . . . . .	75
2.3.2. Modelo Panel VAR Bayesiano a estimar. . . . .	79
2.3.3. Modelo a estimar . . . . .	79
2.4. Resultados . . . . .	80
2.4.1. Países de ingreso alto y alto capital humano. . . . .	81
2.4.2. Países ingreso bajo y bajo capital humano. . . . .	82
2.4.3. Países de ingreso alto, alto capital humano y baja desigualdad. . . . .	83
2.4.4. Países de ingreso bajo, bajo capital humano y alta desigualdad. . . . .	84
2.4.5. Países de alto ingreso, alto capital humano, baja desigualdad y alto capital natural. . . . .	86
2.4.6. Países de alto ingreso, alto capital humano, baja desigualdad y bajo capital natural. . . . .	87
2.4.7. Países de bajo ingreso, bajo capital humano, alta desigualdad y alto capital natural . . . . .	88
2.4.8. Países de bajo ingreso, bajo capital humano, alta desigualdad y bajo capital natural . . . . .	89
2.5. Principales Conclusiones. . . . .	90
<b>3. Modelos BVAR, PBVAR: Aportes metodológicos y discusión de resultados</b>	<b>92</b>
3.1. Introducción . . . . .	92
3.2. Limitaciones en torno al estudio de desastres naturales y crecimiento . . . . .	92
3.2.1. Clasificación de los desastres naturales y bases de datos . . . . .	93
3.2.2. Efectos indirectos y los problemas de agregación . . . . .	94
3.2.3. Canales de transición de los efectos . . . . .	94
3.2.4. Enfoque bayesiano para el estudio DN y crecimiento . . . . .	95
3.3. Marco analítico sobre efectos indirectos de los D.N. . . . .	95
3.4. Discusión de resultados. . . . .	97
3.4.1. Discusión en torno a los resultados modelos BVAR y PBVAR. . . . .	97
3.4.2. Determinantes del crecimiento de largo plazo . . . . .	102
3.5. Principales conclusiones. . . . .	109
3.6. Anexo 2 . . . . .	113
3.6.1. Modelos neoclásico de crecimiento óptimo. . . . .	113
3.6.2. Regresión de crecimiento como modelos de panel dinámicos. . . . .	115
3.6.3. Análisis gráfico comparativo según nivel de ingresos . . . . .	117
3.6.4. Análisis de medias por nivel de ingresos . . . . .	118
3.6.5. Análisis de correlaciones por nivel de ingresos . . . . .	120
Referencias . . . . .	122

# Índice de tablas

1.1. Clasificación de registro de eventos . . . . .	3
1.2. Número de desastres según décadas . . . . .	4
1.4. Definición principales variables . . . . .	6
1.5. Estadística descriptiva por tipo de ingreso . . . . .	6
1.7. Desastres naturales según tipo de ingreso de los países en el periodo estudiado . . . . .	9
1.9. Estadística descriptiva países BVAR . . . . .	32
1.10. Efectos sobre crecimiento per cápita de Largo Plazo . . . . .	33
1.11. Efectos sobre tasa de crec. PIB para Australia . . . . .	36
1.12. Efectos sobre tasa de crec. capital para Australia . . . . .	36
1.13. Efectos sobre tasa de crec. PIB para Brasil . . . . .	37
1.14. Efectos sobre tasa de crec. capital para Brasil . . . . .	37
1.15. Efectos sobre tasa de crec. del PIB para EEUU . . . . .	39
1.16. Efectos sobre tasa de crec. capital para EEUU . . . . .	39
1.17. Efectos sobre tasa de crec. del PIB para México . . . . .	40
1.18. Efectos sobre tasa de crec. capital para México . . . . .	40
1.19. Efectos sobre tasa de crec. del PIB para Chile . . . . .	43
1.20. Efectos sobre tasa de crec. capital para Chile . . . . .	43
1.21. Efectos sobre tasa de crec. del PIB para Japón . . . . .	44
1.22. Efectos sobre tasa de crec. capital para Japón . . . . .	44
1.23. Efectos sobre tasa de crec. del PIB para Indonesia . . . . .	46
1.24. Efectos sobre tasa de crec. capital para Indonesia . . . . .	46
1.25. Efectos sobre tasa de crec. del PIB para China . . . . .	47
1.26. Efectos sobre tasa de crec. capital para China . . . . .	47
1.27. Desastres Naturales Chile . . . . .	51
1.28. Hipótesis y trayectorias para las tasa de crecimiento de largo Plazo . . . . .	54
1.34. Variables que afectan el crecimiento de largo plazo, submuestra de países . . . . .	69
1.35. Variables que afectan el crecimiento de largo plazo, series de tiempo . . . . .	70
2.1. Casos analizados respecto de los efectos de Largo Plazo . . . . .	80
2.2. Efectos en la Tasa Crecimiento PIB Países Alto Ingreso y Alto Capital Humano . . . . .	81
2.3. Efectos en la Tasa Crecimiento Stock de Capital Países Alto Ingreso y Alto Capital Humano . . . . .	81
2.4. Efectos en la Tasa Crecimiento PIB Países Bajo Ingreso y Bajo Capital Humano . . . . .	82
2.5. Efectos en la Tasa Crecimiento Stock de Capital Países bajos ingreso y bajo capital humano . . . . .	83
2.6. Efectos en la Tasa Crecimiento PIB Países de alto ingresos y alto capital humano: caso baja desigualdad . . . . .	84

2.7. Efectos en la Tasa Crecimiento Stock de Capital Países de alto ingresos y alto capital humano: caso baja desigualdad . . . . .	84
2.8. Efectos en la Tasa Crecimiento PIB Países de bajo ingreso y bajo capital humano: caso alta desigualdad . . . . .	85
2.9. Efectos en la Tasa Crecimiento Stock de Capital Países de bajo ingreso y bajo capital humano: caso alta desigualdad . . . . .	85
2.10. Efectos en la Tasa Crecimiento PIB Países de alto ingreso y capital humano, baja desigualdad y alto capital natural . . . . .	86
2.11. Efectos en la Tasa Crecimiento Stock de Capital Países de alto ingreso y capital humano, baja desigualdad y alto capital natural . . . . .	86
2.12. Efectos en la Tasa Crecimiento PIB Países de alto ingreso y capital humano, baja desigualdad y bajo capital natural . . . . .	87
2.13. Efectos en la Tasa Crecimiento Stock de Capital Países de alto ingreso y capital humano, baja desigualdad y bajo capital natural . . . . .	87
2.14. Efectos en la Tasa Crecimiento PIB Países de bajo ingreso y capital humano, alta desigualdad y alto capital natural . . . . .	88
2.15. Efectos en la Tasa Crecimiento Stock de Capital Países de bajo ingreso y capital humano, alta desigualdad y alto capital natural . . . . .	88
2.16. Efectos en la Tasa Crecimiento PIB Países de bajo ingreso y capital humano, alta desigualdad y bajo capital natural . . . . .	89
2.17. Efectos en la Tasa Crecimiento Stock de Capital Países de bajo ingreso y capital humano, alta desigualdad y bajo capital natural . . . . .	89
3.1. Variables que afectan el crecimiento de largo plazo. . . . .	103
3.2. Variables que afectan el crecimiento de largo plazo, por nivel de ingreso. . . . .	105
3.3. Variables que afectan la desigualdad. . . . .	106
3.4. Análisis de convergencia, inclusión de desastres. . . . .	107
3.5. Análisis de convergencia, inclusión de desastres: Líder según nivel. . . . .	108
3.6. Promedio de variables por década, países de ingresos altos y medios. . . . .	119
3.7. Promedio de variables por década, países de ingresos bajos. . . . .	119
3.8. Diferencias de medias por décadas, ingresos altos-medios vs ingresos bajos. . . . .	120
3.9. Tabla de correlaciones, países de ingresos altos. . . . .	120
3.10. Tabla de correlaciones, países de ingresos medios. . . . .	121
3.11. Tabla de correlaciones, países de ingresos bajos. . . . .	121

# Índice de figuras

1.1. Cartografía de desastes con datos REDATAM . . . . .	7
1.2. Evolución de los desastres naturales entre los años 1960-2019 . . . . .	7
1.3. Muertes ocasionadas por desastres hidrológicos y meteorológicos . . . . .	8
1.4. Evolución de los desastres naturales . . . . .	9
1.5. Promedio por década para Frecuencia, Afectados, Muertes y Daños totales . . . . .	10
1.6. Estimación series de desastres naturales . . . . .	11
1.7. Funciones impulso respuesta Australia-Brasil . . . . .	35
1.8. Funciones impulso respuesta EEUU-México . . . . .	38
1.9. Funciones impulso respuesta Chile-Japón . . . . .	42
1.10. Funciones impulso respuesta Indonesia-China . . . . .	45
1.11. Tiempo en disipar por desastres para Chile . . . . .	50
1.12. Efectos Promedio por desastres para Chile . . . . .	50
1.13. Tiempo de disipación para shocks en la tasa de crecimiento del PIB . . . . .	53
1.14. Serie Tasa Crecimiento Y . . . . .	58
1.15. Serie Tasa Crecimiento K . . . . .	59
1.16. $IRF_{y,k}$ . . . . .	63
1.17. $IRF_{k,y}$ . . . . .	63
2.1. Países Altos ingresos y alto capital humano. . . . .	82
2.2. Países Bajo capital Humano y bajo Ingreso . . . . .	83
2.3. Países de alto ingresos y capital humano: caso baja desigualdad . . . . .	84
2.4. Países de bajo ingreso y capital humano: caso alta desigualdad . . . . .	86
2.5. Países de alto ingreso y capital humano, baja desigualdad y alto capital natural . . . . .	87
2.6. Países de alto ingreso y capital humano, baja desigualdad y bajo Capital Natural . . . . .	88
2.7. Países de bajo ingreso y capital humano, alta desigualdad y alto capital natural . . . . .	89
2.8. Países de bajo ingreso y capital humano, alta desigualdad y bajo capital natural . . . . .	90
3.1. Países Altos ingresos y alto capital humano. . . . .	99
3.2. Países bajo ingreso y capital humano. . . . .	101
3.3. Daños contabilizado y daño asegurado. . . . .	101
3.4. Comparación de promedios según nivel de ingresos. . . . .	118
3.5. Comparación de promedios según nivel de ingresos. . . . .	118

## Agradecimientos

*En este momento se vienen a mi mente muchas imágenes, partir primero dando las gracias a mis estudiantes, donde he podido desarrollar mi vocación de docente. Agradecer también, a los estudiantes que se han transformado en mis maestros, y amigos: Alexis Montecinos, Fabian Vicencio. A mis compañeros de generación y grandes amigos por acompañarme en este proceso: José Cárdenas, y Roberto Alvarez.*

*Agradecer a mis profesores y maestros de la facultad, por su estímulo y apoyo para aprender más y cerrar este ciclo de aprendizaje, que sin lugar a dudas ha sido tremendamente significativo. Gracias Profesor Ramón López por apoyar mi trabajo, y ayudarme a progresar como Economista. Agradecer también, al profesor Esteban Puentes, y al profesor Eugenio Figueroa.*

*Finalmente, Ilenia y Giovanni fuente de motivación, estímulo y apoyo constante, muchas gracias a los dos. Agradecer a mis Padres Mario y Carmen, y a mis hijos Cristóbal y Gabriel por su interés en mis temas. Y a todos aquellos maestros y maestras que desde el silencio me han apoyado con su afecto, sabiduría y compasión. Muchas gracias!!*

# Introducción

El estudio en torno a los desastres naturales (DN), adquiere un mayor énfasis económico en sus análisis a partir de las década de los setenta. Esto se explica en parte, debido a que se aprecia un incremento en número, variedad e intensidad generando efectos directos e indirectos sobre los sistemas socioeconómicos. Junto con lo anterior, la situación en torno al cambio climático, ha hecho más apremiante la comprensión y construcción de respuestas por parte de las economías que permitan acciones de mitigación y reducción de la vulnerabilidad frente a estos.

A nivel teórico en esta materia, ha existido un desarrollo en cuanto a la construcción de modelos para explicar los efectos de corto plazo, y en menor medida los efectos de largo plazo, los cuales versan sobre trayectorias de variables claves de los sistemas económicos. En particular, para el caso del largo plazo, este acervo teórico dista de ser un corpus homogéneo, por el contrario proporciona un conjunto amplio de enfoques teóricos y empíricos, generando una gama de respuesta de los sistemas económicos, tanto de efectos directos e indirectos, así como también, de los mecanismos que interactúan una vez que los desastres naturales han ocurrido.

Considerando el contexto anterior, este trabajo profundiza en el estudio de los efectos indirectos sobre el sistema económico una vez ocurrido el desastre. La pregunta de investigación se refiere a ¿cuáles son los efectos de los desastres naturales sobre el crecimiento de largo plazo en las economías?, y ¿cómo cambian dichos efectos cuando se estudian diferentes tipos de desastres?. De este modo, también se analiza los factores que pueden afectar dichas trayectorias de las funciones impulso respuesta sobre aquellas variables claves del sistema en el largo plazo. En particular, sobre la tasa de crecimiento per cápita del producto y del capital

Metodológicamente el problema de investigación se aborda a través del estudio de sistemas estocásticos. Para lo cual, se estima un modelo de vectores autoregresivo bayesiano (BVAR), y un modelo panel de vectores autoregresivo bayesiano (PVBAR) a partir de lo cual se estudian y caracterizan los shocks y sus efectos sobre el sistema frente a la ocurrencia de desastres.

La utilización del enfoque bayesiano contribuye a resolver el problema de estimación de los modelos VAR, esto es, “maldición de la dimensionalidad”, de forma que sus parámetros están estimados de manera poco precisa, sus predicciones son de baja calidad y en general, la inferencia basada en dichos modelos es cuestionable. El problema metodológico, en este caso es que los modelos VAR son representaciones poco parsimoniosas de la estructura dinámica de un vector de series temporales, de forma que incluso en sistemas de dimensión moderada, el número de parámetros que han de ser estimados es muy elevado, agotando eventualmente los grados de libertad de los estimadores.

Este hecho, acompañado por la elevada correlación que suelen presentar los regresores de un VAR, dan lugar a dos consecuencias de estimación complejas: multicolinealidad y sobreajuste. La primera genera estimaciones imprecisas e inestables, por tal motivo, el uso de los VAR como herramienta de análisis estructural mediante, por ejemplo, las funciones de respuesta a los impulsos podría ser cuestionable. Los efectos del sobreajuste son más sutiles pero igualmente adversos. La utilización del enfoque bayesiano, permite utilizar prior de información que contribuyen a reducir la varianza de



los parámetros estimados, lo cuales se consideran variables aleatorias. De esta forma se reduce la varianza de la matriz de varianza-covarianza, de modo de contribuir a representaciones más suavizadas.

Ahora, para abordar estas preguntas de investigación, el trabajo se estructura en tres capítulos, cada uno de los cuales abordan la temática de investigación desde diferentes miradas o enfoque empíricos.

- El primer capítulo hace una revisión de algunos hechos estilizados que se aprecian en torno a los desastres, durante el periodo de 1960 al 2019, focalizándose en su frecuencia, principalmente sobre las tipologías y principales efectos generados. Posteriormente, se estudia la capacidad de respuesta de los sistemas económicos utilizando modelos VAR Bayesianos (BVAR) desde una perspectiva empírica, analizando la cuantía, el efecto y la trayectorias de ajuste para un conjunto de ocho países seleccionados.
- El capítulo dos, estudia la capacidad de respuesta a nivel agregado de los países, utilizando un Panel VAR Bayesiano (PBVAR) de modo de analizar las respuestas, condicionándolas según ingreso de las economías, stock de capital humano, desigualdad y capital natural. De esta forma se obtienen las funciones impulso respuesta respectivas.
- El capítulo tres, centra su atención principalmente sobre los resultados y la discusión, en torno a la utilización de métodos bayesianos para el estudio de DN. En particular, se revisan sus aportes y limitaciones metodológicas, así como también se expone un marco analítico para el estudio de desastres naturales, y un análisis de las variables que afectan el crecimiento en el largo plazo. Finalmente, se presentan las principales conclusiones de la investigación.

La base de datos utilizada para llevar a cabo la presente investigación corresponde a fuentes oficiales disponibles en internet, como es el caso de la EM-DATA, que corresponde a la base donde se reportan los desastres naturales. Esta se utiliza para el período 1960-2019. Las bases de datos restantes corresponden a organismos internacionales.

La contribución de la investigación se sistematiza en los siguientes aspectos: en primer lugar corresponde a la utilización de modelos bayesianos, ya que estos contribuyen tanto de la perspectiva de cómo llevar a cabo la inferencia, así como también, nos permite apreciar de forma más parsimoniosa las funciones de impulso respuesta que se obtienen frente a diferentes shocks que generan los DN sobre los sistemas económicos; elemento que se cuestiona cuando se estiman las funciones de impulso respuesta a través de los modelos VAR tradicionales.

En segundo lugar, dada la situación actual en torno al cambio climático y el incremento en número e intensidad de los DN, la profundización del estudio de respuesta de los sistemas económicos constituye un área de investigación relevante, dado el nivel de conocimiento que existe sobre el tema. Finalmente, en tercer lugar, en términos de políticas públicas, contar con una mayor comprensión de efectos, magnitudes y procesos de ajustes, contribuye a su desarrollo en este ámbito, más aún, si consideramos que las políticas en torno a desastres naturales como parte de la respuesta del Estado en estos temas se encuentran en una fase reciente.

# Capítulo 1

## Desastres Naturales y Efectos sobre el Crecimiento de Largo Plazo

### 1.1. Introducción

El estudio en torno a los desastres naturales y sus efectos sobre el sistema económico, presenta unas cuatro o cinco décadas de investigación y análisis. Contrario a lo que podría pensarse, continúa hoy día siendo un área de investigación creciente. En particular, uno de los aspectos donde no necesariamente existe consenso teórico, dice relación con los efectos indirectos sobre agregados económicos relevantes dentro del sistema, tales como tasa de crecimiento del producto, del capital, del consumo, etc. En especial, respecto de los efectos en el mediano y largo plazo, así como también, los factores que pueden estar condicionando o caracterizando la capacidad de respuesta de las economías frente a los desastres naturales.

Al examinar, a partir de la literatura tanto teórica como empírica, algunos de los elementos que podrían contribuir a esta situación, es posible mencionar los siguientes elementos:

- Clasificación de efectos. Un primer elemento se refiere a la clasificación de los efectos, en particular el análisis o estudio de éstos se clasifican en dos grandes grupos, efectos directos e indirectos. Lo que implica el desarrollo de estrategias de medición, a partir de grandes agregados, los cuales provocan dificultades en la medición de los mismos, y en la comprensión de los mecanismos de propagación al interior de los sistemas económicos.
- Registro de catástrofes. Un segundo factor, es que los efectos ex-post de los DN y el modo que tienen los países de registrarlos, constituye un tema de debate, dado que en general las bases de registro son pocas y autorreportados, generando un cierto grado de incertidumbre respecto a la utilización de los datos existentes para modelos de estudio.
- Características de los sistemas económicos. Un tercer elemento se refiere a las capacidades de resiliencia, a la hora de asimilar los shocks y analizar en que medida la dotación de capital humano, la infraestructura, nivel de desarrollo y capital natural pueden incidir en el tipo de respuesta frente a estos.
- Cambio climático. Un cuarto elemento lo constituye actualmente el cambio climático, al ser considerado como un factor fundamental para explicar la frecuencia e intensidad, además de que ha tomado el centro de la discusión en los últimos años. En particular, la relación entre cambio climático y el incremento e intensidad de los desastres han sido objeto de estudio recientes (Thomas y López, 2015), encontrando una relación positiva al respecto. Cabe destacar también que hoy no se encuentra cuestionada su relación, sino más bien el cómo es posible mitigar dichos efectos.
- Métodos de estimación. Un último elemento a mencionar, son los modelos utilizados para su estudio empírico, los cuales presentan diferentes características y supuestos de estimación.

Dentro de estos modelos, es posible destacar aquellos de equilibrio general computable, modelos estocásticos de equilibrio general y modelos de vectores autorregresivos, entre otros. Todos los cuales, ponen a disposición un conjunto amplio de métodos para su estudio, sin embargo, en términos de resultados pueden acentuar las diferencias, al menos de los efectos en el largo plazo en términos de trayectorias y tiempos de duración.

Dentro de este contexto por tanto, la pregunta de ¿Cuánto afectan los desastres naturales al crecimiento de largo plazo a las economías? sigue siendo relevante, así como también ¿Qué factores contribuyen a dichas trayectorias y su extensión en el tiempo?. De esta forma, el objetivo de la investigación consiste en estudiar el problema, desde la perspectiva de series de tiempos, esto es, caracterizar las respuestas de los sistemas en términos de intensidad, duración y mecanismos de transmisión. De modo tal que permita responder si los shocks dentro del sistema tienen efectos transitorios o permanentes, así como las implicaciones que esto tiene para el desarrollo de políticas en la materia.

El abordaje metodológico para dar respuesta a la pregunta de investigación, junto con un paso inicial respecto a cómo separar los tipos de desastres y caracterizar algunos hechos empíricos entorno a éstos, es a través de estimar un modelo de vectores autorregresivo bayesiano (VAR Bayesiano (BVAR)), para un grupo reducido de países seleccionados, para posteriormente, estimar un modelo Panel Var Bayesiano en un conjunto amplio de países a nivel mundial y además, estudiar los patrones de respuestas frente a shocks en desastres naturales.

La ventaja de este tipo de modelos, es que permiten capturar de forma más parsimoniosa las trayectorias de ajustes de las variables críticas del sistema estocástico, y por tanto, estudiar su trayectoria de ajuste. La hipótesis que se plantea, es que el efecto sobre el sistema en el largo plazo no necesariamente tiene un signo predefinido (a diferencia del corto plazo), sino que el signo de los efectos dependerá del tipo de desastre y de las capacidades de respuesta de las economías.

La justificación, y relevancia de la investigación se fundamenta en tres aspectos, el primero es que la pregunta sigue siendo relevante, más aún en el contexto actual de cambio climático, además de las medidas de mitigación que han de implementar las economías en los próximos años. El segundo, dice relación con el estudio de la trayectoria de ajustes de los países, la cual es de difícil representación empírica, de modo que el utilizar métodos bayesianos, en particular modelos BVAR, presenta nuevas alternativas para el estudio de dicho problema en cuestión. Por último, en tercer lugar, el contar con mayor conocimiento respecto de cómo los sistemas reaccionan frente a los desastres, aporta al desarrollo de políticas en el ámbito de la gestión de riesgos de desastres que actualmente se encuentran en curso para los países de la región.

Si bien el trabajo considera tres capítulos, este capítulo en particular se estructura del siguiente modo: en esta sección inicial se presenta una subsección con respecto a la clasificación de los DN y bases de datos utilizadas. En la sección 1.2 se revisan algunos hechos estilizados, en la sección 1.3 se analiza la literatura existente en torno a DN y crecimiento de largo plazo y la utilización de modelos BVAR. En la sección 1.4 se presenta la metodología y el modelo a estimar, para finalmente en la sección 1.5 mostrar los resultados encontrados y las principales conclusiones del capítulo.

### 1.1.1. Desastres naturales y su clasificación

El estudio en torno a desastres naturales, presenta en general un taxonomía amplia, dentro de la cual se han ido incorporando mayores especificaciones a partir de la manifestación de nuevos fenómenos a lo largo del tiempo. Para la presente investigación se utilizan como punto de referencia, la clasificación propuesta en la base de datos EM-DATA, correspondiente a una base de acceso gratuito y perteneciente al Centro de Investigación sobre la Epidemiología de los Desastres (CRED) de la

Université catholique de Louvain (UCLouvain)<sup>1</sup>, en la cual se reportan eventos de emergencia (EM-DAT), que son autodeclarados por los países y sin considerar fines comerciales para su integración.

Esta base es la que ha sido utilizada con mayor frecuencia para la realización de estudios en esta materia, contiene datos básicos sobre la ocurrencia y efectos de más de 18.000 desastres en sentido amplio, ocurridos desde 1900 hasta la actualidad para un conjunto amplio de países (aproximadamente 356). La base de datos está construida a través de varias fuentes e instituciones, incluyendo organismos de Naciones Unidas, organizaciones no gubernamentales, compañías de seguros, institutos de investigación y agencias de prensa.

Respecto de la taxonomía que propone, se identifican dentro de la categoría de eventos, dos grandes tipos: los tecnológicos, cuyo origen se da a partir de actividades humanas; y los eventos naturales, generados por la dinámica del sistema terrestre. Dentro de estos últimos se distinguen cuatro grupos de fenómenos naturales con los cuales se trabaja (geofísicos, meteorológicos, climáticos, hidrológicos). A su vez estos eventos se desagregan en 13 tipos y 30 subtipos, la Tabla 1.1 muestra la clasificación general.

Tabla 1.1: Clasificación de registro de eventos

Eventos	Definición	Tipos
Geofísico	Originado por la tierra sólida. Este término también es intercambiable por el término daño geológico.	Grandes movimientos tierra (aluviones)
		Terremotos
		Actividad volcánica
Hidrológico	Daño causado por la ocurrencia, movimiento y distribución de agua fresca como salada tanto de su superficie o de su fondo.	Inundaciones
		Derrumbes
		Olas
Meteorológico	Daño provocado por una corta exposición (tanto en una micro como en una meso-escala) de climas extremos y condiciones que pueden durar tanto minutos como días.	Temperatura extrema
		Niebla
		Tormenta
Climatológico	Daño provocado por una larga exposición (tanto en una micro como en una meso-escala) procesos atmosféricos que van desde aquellos intraestacional.	Sequía
		Glaciación de lagos
		Estruendos naturales
		Incendios Forestales

**Fuente:** Elaborada con base en EM-Data.

Esta clasificación tiene la ventaja de permitir una mayor diferenciación de los desastres que se originan por fenómenos meteorológicos, climáticos e hidrológicos<sup>2</sup>. En la actualidad, esta es una plataforma abierta y se caracteriza porque los datos recogidos, deben cumplir algunas de las siguientes condiciones para ser denominados desastres:

- Haber ocasionado más de 10 muertes.
- Haber generado más de 100 afectados.
- Haber derivado en una declaración de emergencia.

<sup>1</sup><https://www.emdat.be/>

<sup>2</sup>Si bien existen dos subtipos de desastres más, como son los desastres biológicos y extraterrestres, estos, no se consideran en este estudio ya que son de baja frecuencia, donde para el caso de desastres extraterrestres sólo se reporta un caso en las décadas bajo estudio.

- Haberse requerido una petición de ayuda exterior.

La definición anterior de desastre<sup>3</sup>, es propia de la utilizada en esta base, a modo de ilustración existen, por ejemplo, definiciones establecidas en las Asamblea de Naciones Unidas<sup>4</sup>, que señalan un evento extremo como aquel fenómeno que es de origen natural y que es raro para la época en curso, mencionando que el concepto de “raro” hace alusión a la distribución de probabilidad de dicho evento, mientras que para el caso de “desastre”, este se entiende como algunos de los siguientes elementos:

- Disrupción grave del funcionamiento de una comunidad o sociedad a cualquier escala.
- Debido a fenómenos peligrosos que interaccionan con las condiciones de exposición, vulnerabilidad y capacidad.
- Ocasionando uno o más de los siguientes efectos: pérdidas e impactos humanos, materiales, económicos y sociales.

A modo de ilustración se aprecia que la cantidad de eventos reportados a partir de la década de los sesenta crece significativamente en todas las categorías, pero especialmente en los hidrológicos y meteorológicos fundamentalmente, los cuales tienen una mayor relación directa con el cambio climático. Asimismo se identifica que el total de eventos declarados y registrados, alcanza aproximadamente a los 14,000 en este lapso de casi 70 años (ver tabla ??).

Tabla 1.2: Número de desastres según décadas

Década	Geológico	Hidrológico	Climatológico	Meteorológico
1960-1969	80	176	57	191
1970-1979	111	301	82	278
1980-1989	199	579	172	536
1990-1999	294	954	227	929
2000-2010	319	1793	299	1203
2011-2019	264	1383	208	1007
Total	1267	5186	1045	4144

Fuente: Elaborada en base a EM-Data.

Dentro de este contexto debemos considerar que el concepto de eventos y desastres difieren. Al examinar el primer concepto respecto de la definición propuesta por el IPCC<sup>5</sup>(2012), podemos deducir que se entiende por el suceso ocurrido, de origen natural o tecnológico, que tiene potencial de generar o causar efectos sobre el sistema social, y económico expuesto a este, provocando lo que denominados desastres. Sin embargo, se debe considerar que para el estudio de los DN sobre los sistemas económicos, la definición de desastres o cuales de los eventos son considerados desastres, debe refinarse en particular, en la literatura, donde se aprecia la utilización de estos dos criterios que pueden ser utilizados de forma separada o conjunta. Estos dos umbrales se refieren a población y monto de daños estimados de los mismos. Para el caso de la presente investigación ambos criterios serán considerados.

<sup>3</sup>Un concepto que se deriva del anterior, es el concepto de riesgo de desastres, este se entiende como la posibilidad de que se produzcan muertes, lesiones o destrucción y daños en bienes en un sistema, una sociedad o una comunidad en un período de tiempo concreto, determinados de forma probabilística como una función de la amenaza, la exposición, la vulnerabilidad y la capacidad. En esa línea, actualmente se habla de desastres socionaturales, dada la componente antrópica que se aprecia, no obstante, para este caso y dadas las características de las fuentes de información, se mantendrá el término de “desastre natural”. Ver Presentación sobre Introducción a las estadísticas e indicadores de desastres en América Latina y el Caribe. Seminario República Dominicana, año 2018.

<sup>4</sup>Ver resolución A/69/284, Febrero del 2017

<sup>5</sup>El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) propone como desastre, las alteraciones graves en el funcionamiento normal de una comunidad o una sociedad, debido a eventos físicos peligrosos que interactúan con las condiciones de vulnerabilidad social y que conducen a una amplitud de adversidades humanas, materiales, económicas o efectos ambientales, las cuales requieren una inmediata respuesta de emergencia para satisfacer necesidades humanas críticas y que pueden requerir apoyo externo para la recuperación.

Junto con lo anterior, se debe considerar que existen diferentes metodologías de clasificación para analizar los impactos de los desastres, por ello se utiliza como referencia en este artículo los conceptos presentes en Pelling et al.(2002) y Eclac (2003), en donde, los daños o efectos directos se refieren sobre el activo fijo y capital (incluyendo inventarios), materias primas y stocks de recursos naturales, así como también, mortalidad y morbilidad. Los efectos indirectos se refieren a la actividad económica, tales como producción de bienes y servicios, costos asociados, pérdidas de usos alternativos de los recursos, daños en los sistemas de distribución y logística de los bienes y servicios, que pueden apreciarse en variables agregadas de tipo macroeconómicas como el PIB, el consumo, la inversión, etc.

### 1.1.2. Base de Datos

Los datos utilizados para el estudio de la respuesta del sistema frente a shocks, provienen de la agregación de un conjunto de bases de datos, las cuales posterior a su revisión se integran para el análisis. Al respecto, estas bases son:

- **EM-DAT**. Los datos recabados sobre desastres naturales fueron obtenidos desde el Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED), la cual mantiene la base de datos EM-DAT (2008). Tal como se menciona en la sección anterior, en esta los desastres naturales se clasifican en cuatro grandes categorías y se reportan también, los efectos de estos en términos de afectados y pérdidas de costos económicos, los cuales son reportados por los propios países<sup>6</sup>.
- **PWT** versión 10. Es una base de datos con información sobre niveles relativos de ingresos, producción, insumos y productividad, que cubre 183 países entre 1950 y 2019.
- **World Economic Outlook**. Una encuesta realizada por el personal técnico del FMI, que generalmente se publica dos veces al año. Presenta los análisis de los economistas del personal técnico del Fondo Monetario Internacional (FMI) sobre la evolución económica mundial durante el corto y mediano plazo. Los capítulos ofrecen una descripción general y un análisis más detallado de la economía mundial; considera las cuestiones que afectan a los países industrializados, los países en desarrollo y las economías en transición al mercado y aborda temas de interés actual urgente.
- **World Development Indicators (WDI)**. Es la colección principal de indicadores de desarrollo del Banco Mundial (BM) compilada a partir de fuentes internacionales oficialmente reconocidas. Presenta los datos de desarrollo mundial más actualizados y precisos disponibles e incluye estimaciones nacionales, regionales y mundiales.<sup>7</sup>

A continuación, se presenta tabla con las variables respectiva, y algunas estadísticas asociadas.

---

<sup>6</sup>Otras fuentes de datos sobre desastres son: Global Disaster Identifier Number (GLIDE), un sistema estándar abierto, de fácil acceso y sin ningún costo para cualquier persona interesada en datos relativos a los desastres; los indicadores de riesgo de desastres y gestión de riesgos del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), que ofrecen informes por país con datos estadísticos relevantes sobre desastres naturales; DesInventar - Sistema de inventario de efectos de desastres, una herramienta conceptual y metodológica para la construcción de bases de datos de pérdidas, daños o efectos ocasionados por emergencias o desastres (cubre 28 países); y Preventionweb.net Disaster Data & Statistics, un sistema de información que utiliza como fuente primaria la información de EM-DAT/CRED, la Estrategia Internacional de las Naciones Unidas para la Reducción de Desastres, Munich RE y DesInventar. Munich RE elabora la base de datos NatCatService [en línea]. Swiss RE elabora Sigma [en línea] <http://www.swissre.com/sigma/>

<sup>7</sup>Aunque Global Development Finance (GDF) ya no aparece en el nombre de la base de datos de WDI, todos los datos de la deuda externa y los flujos financieros continúan incluyéndose en WDI. La publicación del GDF ha pasado a llamarse International Debt Statistics (IDS) y tiene su propia base de datos separada.

Tabla 1.4: Definición principales variables

Variable	Definición	Fuente
Crecimiento PIB	Diferencia en logaritmo natural del PIB año actual y anterior	PWT 10
Crecimiento Stock de Capital	Diferencia en logaritmo natural del PIB año actual y anterior	PWT 10
Crecimiento Términos de Intercambio	Diferencia en logaritmo natural del PIB año actual y anterior	PWT 10
Crecimiento Precio del Petróleo	Diferencia en logaritmo natural del precio petroleo año actual y anterior	Banco Mundial
Crecimiento PIB mundial	Diferencia en logaritmo natural del PIB mundial año actual y anterior	PWT 10
Tasa Interés Internacional	Valor de la tasa de interés del tesoro del EEUU	Banco Mundial
Variabes Desastres Naturales	Variabes de ocurrencia y frecuencia por año y por tipo de desastre	EM-DAT 2020

Tabla 1.5: Estadística descriptiva por tipo de ingreso

Tipo Ingreso	n	KH	Promedio			Suma			
			Tasa Crec. PIB	Tasa Crec. Stock de Capital	Geológico	Hidrológico	Climato-lógico	Meteoro-lógico	
Alto	64	9,8	3,9	5,0	249	1064	361	1944	
Medio alto	47	7,8	4,0	5,4	759	1956	285	954	
Medio bajo	44	5,7	4,1	5,4	236	1749	264	1165	
Bajo	24	3,5	3,0	5,1	47	621	161	190	
Total	179	7,4	3,8	5,2	1291	5390	1071	4253	

## 1.2. Revisión de algunos hechos estilizados

Al examinar las estadísticas en torno al tema, es posible señalar en términos globales que se constata una tendencia creciente en número e intensidad de los desastres naturales con mayor énfasis en las últimas décadas. En particular, desde una perspectiva de largo plazo, considerando como inicio o punto de partida el siglo *XX*, es a partir de la década de los 70 que hay un incremento sostenido en número, y destacando el aumento de los desastres que tienen una relación más directa con los efectos del cambio climático (Zhongming, Linong, Wangqiang, Wei, y cols., 2021). Estudios relacionados, confirman que se estaría acentuando esta tendencia tanto en frecuencia como en intensidad, (López, 2009), (Kunreuther y Michel-Kerjan, 2011) y (Lis y Nickel, 2009).

El IPCC (IPCC, 2014)<sup>8</sup> ha informado que, con un 95 % de confianza, el aumento de las emisiones de carbono derivado de las actividades humanas en todo el mundo ha tenido y seguirá teniendo, consecuencias perjudiciales para el planeta; entre ellas: el aumento del nivel del mar, desastres naturales más frecuentes y graves (megasequías, inundaciones e incendios forestales) y una reducción de la disponibilidad del agua para el consumo humano y las actividades económicas pertinentes<sup>9</sup>.

En esta línea la cartografía de la figura 1.1, compara la concentración de desastres según tipo, entre la década del sesenta y la segunda década del siglo presente. Se aprecia cómo los desastres

<sup>8</sup>IPCC, 2014. Impacts, Adaptation and Vulnerability: Regional Aspects. Climate Change 2014". IPCC Report, Geneva. Switzerland.

<sup>9</sup>Sturla-Zerene, G., Figueroa, E., & Sturla, M. (2020). Reducing GHG global emissions from copper refining and sea shipping of Chile's mining exports: A world win-win policy. Resources Policy, 65, 101565.

hidrológicos y meteorológicos han tomado predominancia con respecto a los otros tipos de desastres a diferencia de los desastres geológicos y climatológicos.

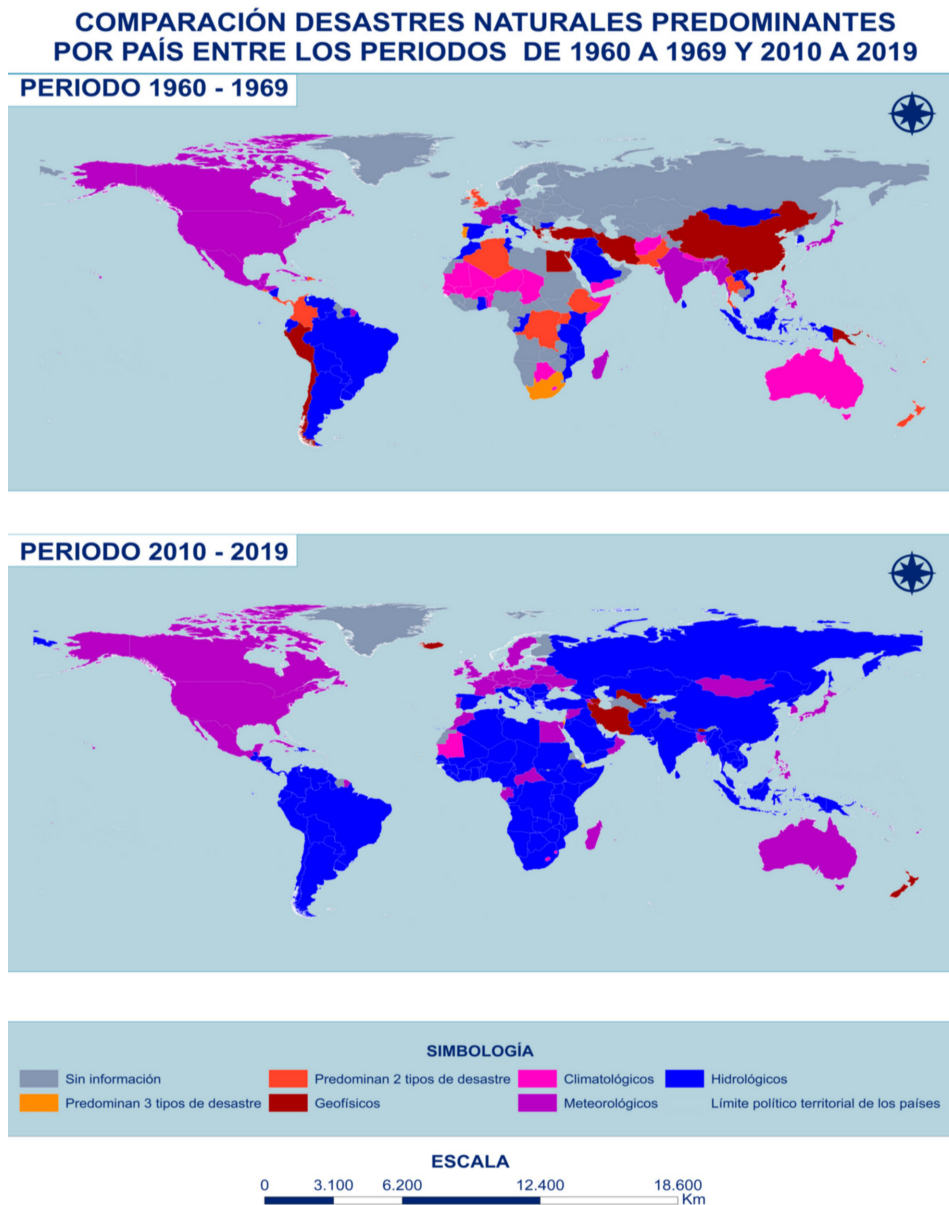
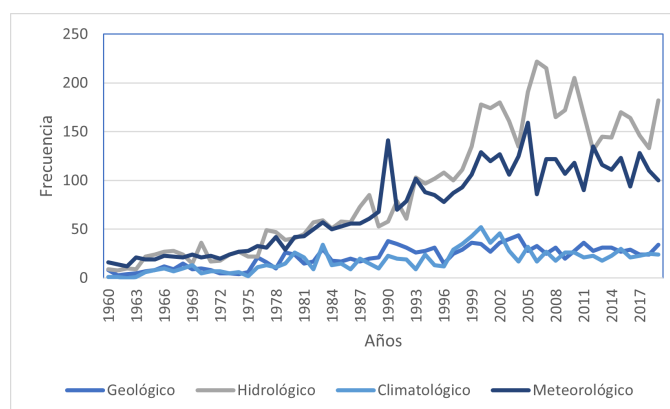


Figura 1.1: Cartografía de desastres con datos REDATAM

Al considerar la serie anual de desastres, se confirma lo anterior, ya no sólo para las décadas bajo comparación, sino que de forma anual. Las series más predominantes son los desastres hidrológicos y meteorológicos, que se vinculan con las emisiones de  $CO_2$  y el cambio climático, los que tienen un aumento significativo y donde la brecha tiende a aumentar con el paso del tiempo, tal como se aprecia en el siguiente gráfico.

Figura 1.2: Evolución de los desastres naturales entre los años 1960-2019

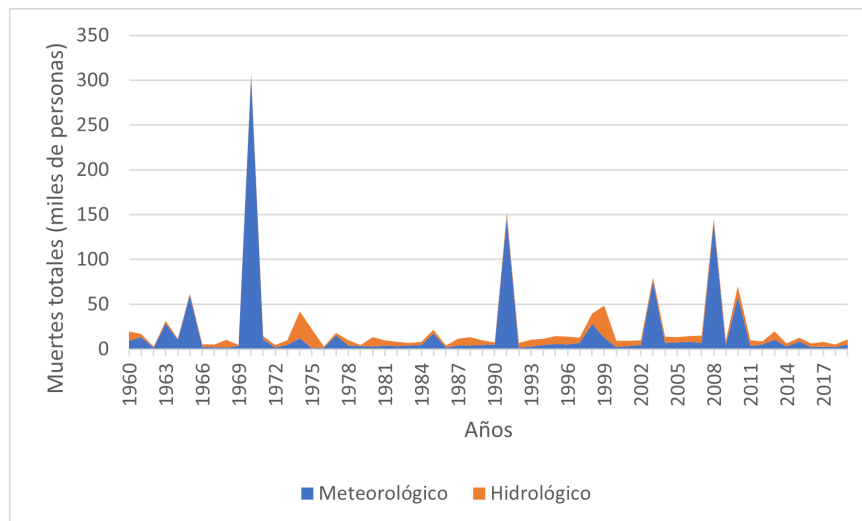


En cuanto a efectos directos que generan, la pérdida de vidas humanas es un primer hecho lamen-



table, junto a este también se incorpora el total de afectados que han experimentado la pérdida de bienes inmuebles, así como también, otros activos personales o familiares. Se debe agregar, el hecho que muchos de ellos deben migrar o permanecer en refugios por un tiempo determinado, experimentando una reducción de su bienestar. El siguiente gráfico muestra cómo existen algunos peaks, que comienzan a hacerse más frecuentes desde el inicio de la década de los noventa, con máximos que rondan las 150 mil víctimas para este tipo de desastres más frecuente.

Figura 1.3: Muertes ocasionadas por desastres hidrológicos y meteorológicos



Dado lo anterior, se aprecian esfuerzos orientados a nivel internacional a reducir el riesgo de desastres, dado la creciente concentración de la población mundial en zonas de mayor nivel de exposición a catástrofes. El hecho de una población expuesta y más vulnerable frente a los riesgos de desastres, generan efectos que se traspasan al sistema social y económico de la respectiva economía. Dichos efectos directos e indirectos, afectan la dinámica económica de corto y largo plazo, donde se profundizan posterior a su ocurrencia (Litterman, 1986).

Respecto de qué países se ven afectados en función su tamaño medido en términos de su nivel de ingreso, a partir de la figura 1.4 se puede observar que el aumento en la frecuencia de desastres, independiente de cómo se clasifique la economía, evidencia una tendencia creciente. Y los países que mayor número de DN presentan, se pueden dividir en los dos máximos que se muestran en la gráfica: el primero, a principios de los años noventa, donde son los países de ingreso alto los que poseen un número muy elevado de desastres para luego ocupar ese lugar los países de ingreso medio alto. Cuando nos concentramos en examinar la situación de los países de ingreso medio, si se suman ambas categorías, presentan el mayor número de desastres que cualquier otra categoría.

Lo anterior pone de manifiesto por tanto, la importancia que tienen para las economías las capacidades que poseen para hacer frente a dichos eventos, así como los factores que puedan aminorar o mitigar los impactos adversos. Por ejemplo, uno de esos aspectos dice relación con las fallas relacionadas al mercado medioambiental, las que son deficiencias estructurales claves que explican la falta de sostenibilidad social y medioambiental en muchos países en desarrollo. Las supuestas políticas fiscales a favor del crecimiento, lejos de mitigar dichas deficiencias del mercado, tienden a exacerbar sus efectos negativos sobre el desarrollo.<sup>10</sup>

<sup>10</sup>López, R. E., & Figueroa B, E. (2016). On the nexus between fiscal policies and sustainable development. *Sustainable Development*, 24(4), 201-219.

Figura 1.4: Evolución de los desastres naturales

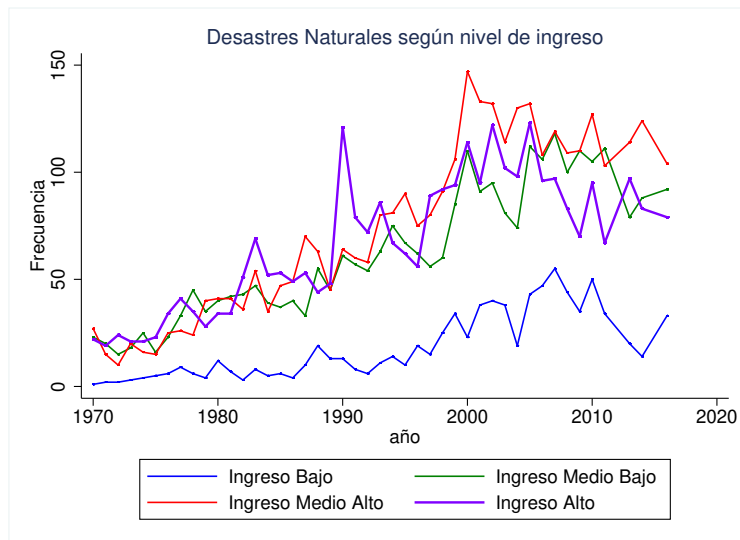


Tabla 1.7: Desastres naturales según tipo de ingreso de los países en el periodo estudiado

Tipo de Ingreso	Geofísico	Hidrológico	Climatológico	Meteorológico	Total
Ingreso Alto	249	1064	361	1944	3618
Ingreso Medio	995	3705	549	2119	7368
Ingreso Bajo	47	621	161	190	1019
Total	1291	5390	1071	4253	

De esta forma, los efectos que generan los DN sobre el sistema económico, adquieren un mayor nivel de complejidad y se evidencian cada vez más los costos en bienestar. Las grandes pérdidas son tanto a nivel de población, con aproximadamente 82.500 muertos por año en promedio (World Bank and United Nations 2010), como también a nivel de pérdidas monetarias evaluadas entre US\$60 y US\$100 billones (Swiss, 2013). La figura 1.5 muestra este hecho en términos de valores promedio por década. En este caso, se consideró el total de afectados, que incorpora las personas fallecidas y afectadas que han deteriorado su situación<sup>11</sup>.

Por su parte, en cuanto a daños, las grandes pérdidas registradas se dan en países de mayores ingresos, pero son éstos los que poseen un mayor nivel de cobertura frente a desastres, cuentan con mercados de seguros más desarrollados y, en general, existe una mejor contabilización de daños, tanto en activos físicos como humanos. Finalmente, a modo de síntesis, se aprecia que entre décadas los valores promedios se incrementan en términos de frecuencia, total de afectados y daños. En el caso del número de muertes promedio se aprecia que estos van decreciendo.

<sup>11</sup>Al revisar la literatura y los diferentes estudios en términos de pérdida de bienestar, se aprecia que los estudios orientados a analizar el tiempo en que los afectan logran recuperar el bienestar antes del shock son prácticamente inexistentes.

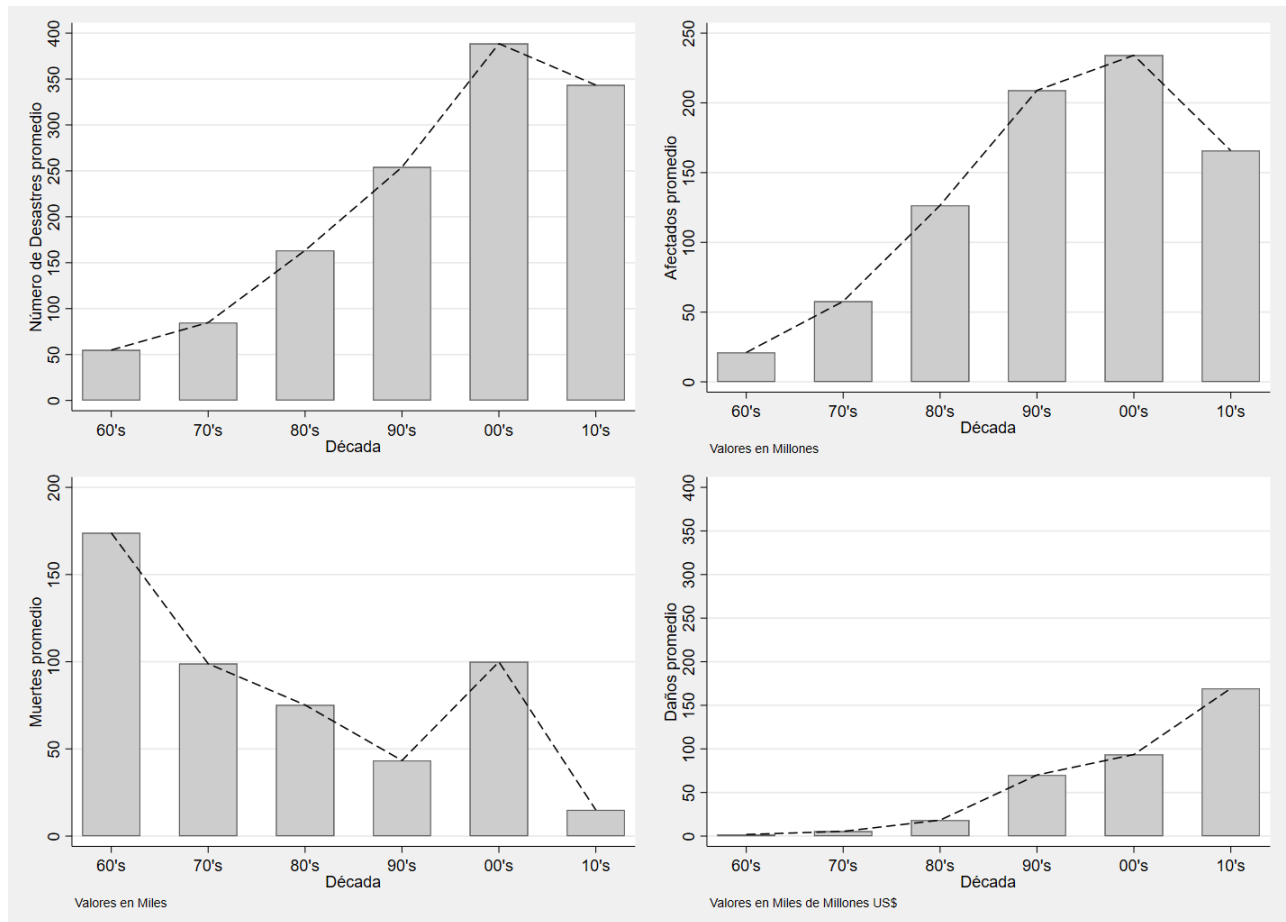


Figura 1.5: Promedio por década para Frecuencia, Afectados, Muertes y Daños totales

Por tanto, los DN afectan a los diferentes tipos de economías y su frecuencia es creciente. Lo anterior pone de manifiesto la importancia que tienen para las economías las capacidades que poseen para hacer frente a dichos eventos, así como los factores que puedan aminorar o mitigar los impactos adversos. En esa línea, dentro de los estudios desarrollados a la fecha, se reconoce la importancia tanto ex-ante como ex-post de manejar y administrar el riesgo de los desastres, así como también, de los mecanismos o instrumentos macroeconómicos que las economías pueden tener.

### 1.2.1. Desastres naturales desde el enfoque de series de tiempo.

Al hacer un análisis de series de tiempo<sup>12</sup> para los cuatro tipos de desastres naturales, no es posible descartar la hipótesis nula de raíz unitaria, por lo que se procedió a calcular la primeras diferencias para cada una de ellas. Una vez realizado lo anterior, se obtiene que las series siguen un proceso integrado de orden 1. En particular,

- Para los desastres Climatológicos, siguiendo el método Hannan-Rissanen, se obtiene un AR(7) que minimiza  $HQC(5.6938)$ . Luego se comprueba si los residuos son ruido blanco, obteniendo un p-value de 0.9307, entonces se tiene una alta probabilidad de que los residuos sean ruido blanco. De esta manera, se comparan los modelos utilizando el criterio HQC, obteniendo un  $HQC(14.4917)$ , lo que entrega un modelo  $ARIMA(1, 1, 0)$ .
- En segundo lugar, para los desastres Geofísicos se obtiene un AR(7) que minimiza  $HQC(5.1335)$  y con un p-value de 0.9455 se comprueba que los residuos son ruido blanco. Por último se obtiene un  $HQC(14.0546)$ , de donde se desprende que la serie siguen un  $ARIMA(1,1,0)$ .

<sup>12</sup>Para comenzar se realizan los test de raíz unitaria para analizar la estacionariedad de las series. En particular, se realizan los tests ADF, KPSS y PP para luego estimar cada uno de los modelos. Una vez realizado el procedimiento anterior, se procede a la realización del método Hannan-Rissanen. Luego se recuperan los residuos y se procede a la comparación de modelos. Para eso, se asume log-likelihood gaussiana y se utiliza el criterio HQC para cada modelo. Una vez que se obtienen los valores para  $y$ , se comprueba si es que los residuos son ruido blanco. Para eso se utiliza la  $Q$  de Ljung y Box. Luego, para esta parte del proceso se deben estimar los  $ARMA(p, q)$  con MCO.

- Por último, para los desastres Hidrológicos y Meteorológicos se encuentra un AR(14) y un AR(9) que minimizan HQC(7.1282) y HQC(7.0942) respectivamente. Luego los residuos son ruido blanco con p-values iguales a 0.9996 y 0.9777 respectivamente. Por último, se comparan modelos y se elige aquel que minimiza HQC(19.9612) y HQC(6.7121) obteniendo un modelo ARIMA(3,1,0) para ambas series.

El comportamiento de las series para cada uno de los desastres se puede observar a continuación.

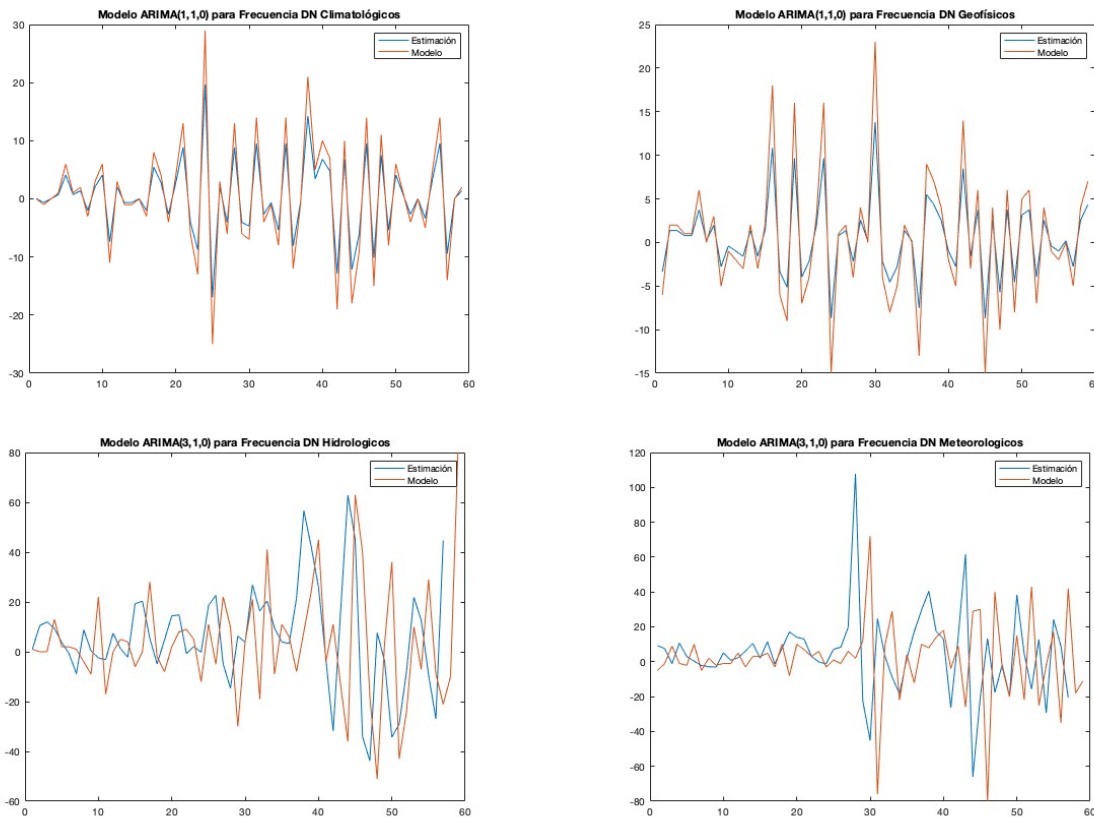


Figura 1.6: Estimación series de desastres naturales

Una vez que se encuentra que todas las series son integradas de orden 1, se procede a verificar si estas cointegran o no, lo cual se testea ocupado la hipótesis nula que las series no cointegran. La hipótesis de cointegración se testea para las combinaciones de todas las series, prestando mayor atención en la cointegración entre las series de desastres naturales y el promedio de CO<sub>2</sub> en el aire, cual es una serie integrada de orden (2).

El procedimiento es como sigue, suponiendo que vienen de dos series distintas  $X$  e  $Y$ , una vez que se tiene el orden de integración de cada serie, se regresiona  $Y$  sobre  $X$  y se aplica el test Dickey-Fuller en los residuos. Luego se verifica mediante el estadístico Durbin Watson (DW) si es que el valor excede el valor crítico según Engle y Granger (0.386). Si el valor de DW excede 0.386, se rechaza la nula y no se puede descartar el hecho de que las series cointegren. En Anexos se encuentra la tabla de resultados, donde se obtiene que todas las series de desastres naturales cointegran en segundo orden con la variable de cambio climático CO<sub>2</sub>, lo que quiere decir que las series se mueven en conjunto a la variable de cambio climático en el largo plazo.

A modo de síntesis, respecto de lo hechos estilizados, nos pone de relieve al menos los siguientes elementos:

- En primer lugar, que tanto el número como intensidad de los desastres se ha incrementado sostenidamente en las últimas décadas, destacando particularmente, aquellos que se relacionan más directamente con los efectos del cambio climático en curso.
- En segundo lugar, afecta a todo el conjunto de países cuando son separados por niveles de ingresos de las economías, en especial a las economías de ingresos medios.

- En tercer lugar, los costos directos asociados a la ocurrencia del evento mismo se aprecian con mayor nitidez en las economías de ingresos altos, donde también son estos los que tienen mejores sistemas de medición y estimación de daños, así como también, son los que cuentan con mayores dotaciones de activos físicos y humanos, permitiendo una mejor valorización.
- En cuarto lugar, se evidencia también un alto costo en términos de pérdida de vidas humanas y personas afectadas en las últimas décadas, relevando la importancia en torno a la vulnerabilidad, resiliencia e importancia de la gestión del riesgo de desastres.
- En quinto lugar, los efectos indirectos son diversos, su magnitud e intensidad al interior del sistema dependerá por tanto, de las capacidades existentes en estos.

Se constata por consiguiente, que los sistemas económicos están experimentando perturbaciones debido a la ocurrencia de los DN, evidenciando que el efecto relevante, no sólo es el efecto directo que se experimenta una vez ocurrido el evento, sino que también, los efectos indirectos de largo plazo juegan un rol fundamental. En particular, la medición de los efectos macroeconómicos que estos tienen para las economías son diversos, los cuáles también dependerán de las características propias de estos sistemas.

Para abordar el punto anterior, se propone el estudio del sistema económico desde la perspectiva de un sistema estocástico, el cual puede ser representado a través de un modelo de vectores regresivos, VAR. Específicamente, se utiliza un modelo VAR bayesiano, de modo que en este caso, los parámetros que caracterizan el sistema sean aleatorios.

### 1.3. Revisión de la Literatura

En décadas recientes ha existido un creciente interés por estudiar la relación entre desastres naturales y crecimiento económico, en particular, los efectos de largo plazo que estos tienen sobre el sistema económico. Dicho interés ha implicado el desarrollo de una gran cantidad de estudios donde se analizan los efectos indirectos tanto para el corto como para el largo plazo (Cavallo, Galiani, Noy, y Pantano, 2013). En particular, la literatura macroeconómica distingue en general entre efectos indirectos de corto plazo (menos de cinco años una vez ocurrido el desastre<sup>13</sup>) y efectos indirectos de largo plazo, sobre cinco años al menos, pero dicho tiempo de término depende de los modelos que utilizan para su medición.

Dentro de los primeros trabajos seminales que han cimentado el camino para comprender los fenómenos de los desastres a partir del modelamiento teórico se encuentran Albala-Bertrand (1993), Toya y Skidmore (2007), Kann (2004), entre otros. En cuanto estudios econométricos en años más recientes es posible mencionar a Gassebner, Gaston y Lamla (s.f.); Skidmore y Toya (2002); Raddatz (2009); Noy (2009); Lis y Nickel (2009); Cuaresma (2010); Oh y Reuveny (2010); Noy y Nualsri (2011) Melecky y Raddatz (2011) y Loayza, Olaberria, Rigolini y Christiaensen (2012) generando un amplio espectro de resultados.

Sin embargo, a pesar de la creciente literatura generada, no hay un consenso definitivo con respecto a los efectos que estos fenómenos generan sobre el crecimiento, fundamentalmente de largo plazo. Esto deja abierto el espacio al surgimiento de nuevas investigaciones que identifiquen la importancia relativa de nuevos elementos presentes en los procesos de ajuste de las economías, tales como los factores que refuerzan la resiliencia. Por tanto, el estudio de las trayectorias, dice relación también con la capacidad que tienen las economías para hacer frente a los desastres naturales, lo

---

<sup>13</sup>Si bien el concepto de desastre ha llevado también al surgimiento de la literatura asociada al riesgo de desastres y su gestión, y por tanto, la creación de medidas de vulnerabilidad, en esta primera parte de la investigación nos centramos en estudiar cómo los shocks afectan al sistema, y en ese sentido se considera que un shock fue un desastre si afecta a una proporción del 0,05% de la población, para ese año cuando ocurrió dicho evento.

que hace poner atención al análisis de la importancia del capital físico y los tipos de inversión en infraestructura, así como también, el capital humano como elemento amortiguador y otros factores que podrían estar presentes o que se encuentran implícitos en los niveles de ingresos de los países.

La revisión de la literatura por tanto, se ordena en base a tres aspectos de interés en revisar, el primero con respecto a las hipótesis existentes, para explicar los efectos de largo plazo sobre el crecimiento. El segundo aspecto a indagar, son las teorías existentes que se han establecido para explicar dichos fenómenos, para finalmente revisar los tipos de estudio econométricos al respecto.

### 1.3.1. Hipótesis del impacto de DN sobre el crecimiento.

En esta literatura en torno a desastres, se han probado cuatro hipótesis relacionadas con el impacto de los desastres naturales en crecimiento económico a largo plazo (Hsiang y Jina, 2014).

- En primer lugar, las catástrofes pueden estimular transitoriamente la economía, debido al aumento de la demanda de bienes y servicios y la afluencia de ayuda internacional e innovación, lo que conduce a una hipótesis de destrucción creativa (Skidmore y Toya, 2002).
- En segundo lugar, el crecimiento económico puede ralentizarse inicialmente debido a las pérdidas de capital humano y físico, pero la sustitución gradual de los activos perdidos con unidades modernas puede producir efectos positivos netos en el crecimiento económico a largo plazo, lo que se conoce como la hipótesis de “reconstruir mejor” (Hallegatte et al., 2007; Cuaresma et al., 2008; Hallegatte y Dumas, 2009).
- En tercer lugar, está la hipótesis de la “recuperación de la tendencia”. La destrucción de capital humano y físico pueden aumentar el producto marginal de estos dos insumos, lo que estimula el flujo de individuos y riqueza hacia una zona devastada hasta que la producción recupere su tendencia anterior al desastre (Yang, 2008; Strobl, 2011).
- En cuarto lugar, un desastre natural puede destruir el capital y/o los bienes duraderos (por ejemplo, las viviendas) y reducir el consumo, de modo que la inversión productiva se vuelve menos preferible en la economía que el consumo. En esta “hipótesis de no recuperación”, una economía puede tener una senda de crecimiento a largo plazo, pero permanentemente por debajo de la trayectoria anterior al desastre (Anttila-Hughes y Hsiang, 2013; Field et al., 2012).

Frente a esta diversidad de resultados expuestos, la revisión nos lleva a examinar los factores que pueden estar detrás de éstos diferentes resultados. Un primer elemento a revisar, dice relación con la diferencia entre desastre natural y la perspectiva económica que este tiene, puesto que los tipos de desastres existentes (hidrológicos, meteorológicos, geológicos, climatológicos) generan una amplia gama conceptual de efectos, donde existen particularidades propias según su tipo. Los estudios en general buscan una mirada a los efectos económicos indirectos, que implica la existencia de variables que den cuenta de éstos y de los mecanismos de transmisión identificables, aún cuando estos últimos son más bien escasos en la literatura.

Lo anterior, nos lleva a reflexionar que el análisis de los efectos debería considerar una definición económica de desastres, de modo que permita acotar la búsqueda de los mismos. Desde esta perspectiva, una contribución relevante es la que hace Hallegatte y Dumas (2009) y Hallegatte y Przulski (2010), donde un desastre natural puede entenderse como un evento natural que causa una perturbación en el funcionamiento del sistema económico con un impacto sobre activos, factores de producción, producto, empleo, consumo e inversión.

Es juntamente esta perturbación en el sistema económico, la que puede generar efectos positivos o

negativos de diversa índole y por tanto, de difícil medición. Si bien este puede entenderse como un shock exógeno, la información que se observa sobre las variables que registran dichos efectos, conllevan implícitamente elementos que dicen relación con las capacidades existentes en las economías antes y después de los desastres, tales como, capacidad de financiamiento, nivel de cobertura frente a riesgos, capacidad de administrar el riesgo (Keen, Freeman, y Mani, 2003), capacidad de acumulación de los factores por parte de las economías y diferencias entre ingresos altos y medio-bajos.

Lo anterior, permite concluir de este análisis, que las economías poseen distintos escenarios para ver los efectos de repercusión de los desastres y que las condiciones iniciales en las cuales se encuentran permiten delinear diferentes trayectorias de ajuste, no existiendo una relación biunívoca entre desastres y crecimiento en el largo plazo.

### 1.3.2. Teorías de crecimiento y DN.

Dado que la literatura entre crecimiento y desastres propiamente tal, posee una gran cantidad de ella referida al corto plazo (ver por ejemplo Felbermayr y Gröschl (2014); Noy (2009); Raddatz (2009)), se puede apreciar un mayor acuerdo respecto a los efectos, donde Felbermayr y Gröschl (2014) concluyen que son más bien negativos, no obstante, mucha menos atención han recibido las consecuencias respecto al largo plazo. Por otro lado, se aprecian estudios donde los efectos a largo plazo no son significativos, o bien, presentan mínimos efectos; a modo de ejemplo, Cavallo y Cols (2013) estudian los efectos de los desastres sobre crecimiento a través de un modelo contrafactual, encontrando efectos significativos en aquellos países que posterior al desastre presentan un cambio de régimen o un alto nivel de conflictividad social.

Desde la mirada de los modelos de crecimiento de largo plazo, se desprende un análisis diferenciado. La teoría del crecimiento y los mecanismos de transmisión aún se encuentra bajo estudio y las respuestas dependen de las perspectivas teóricas utilizadas. La teoría tradicional de crecimiento neoclásico predice que la destrucción del capital (físico o humano), no afecta a la tasa de progreso tecnológico, por lo tanto, sólo podría mejorar las perspectivas de crecimiento a corto plazo, ya que conduce a los países hacia su estado estacionario de crecimiento equilibrado.

En contraste, los modelos de crecimiento endógeno proporcionan una mayor diversidad de respuestas con respecto a la dinámica de acumulación sobre los factores, por ejemplo, modelos basados en el proceso de destrucción creativa de Schumpeter, pueden incluso atribuir un mayor crecimiento como resultado de shocks negativos. Estas perturbaciones pueden ser catalizadores para la re-inversión y el mejoramiento de bienes de capital o bien permiten la acumulación de factores complementarios (véase por ejemplo Caballero (1994)).

En los modelos tipo *AK* de crecimiento endógeno, en el que la tecnología presenta rendimientos constantes al capital, no se predice un cambio en la tasa de crecimiento tras un choque de capital negativo; mientras que los modelos de crecimiento endógeno que explotan los rendimientos crecientes a escala en la producción, generalmente predicen que una destrucción de parte del stock de capital físico o humano, se traduce en un menor crecimiento económico y en consecuencia, una desviación permanente de la trayectoria de crecimiento anterior, reflejando la importancia que tiene esto para las economías, la dotación de factores con los que cuenta, las asimetrías que existen en los mercados críticos, como el financiero y del trabajo, y el nivel de capital humano con el que cuentan.

En particular, en el ámbito del capital humano, este último ha recibido una menor importancia relativa en el estudio de los procesos de acumulación o recuperación de las economías una vez ocurridos los desastres, jugando este un rol relevante en la medida que permite a las economías establecer trayectorias de recuperación diferenciadas para economías de altos ingresos y alto capital humano, de aquellas economías de ingresos medios y bajos y de bajo capital humano. En el caso de López y

Galinato (2007) y López (2009), se desarrolla un modelo de equilibrio general, donde se evidencian las posibles trayectorias que pueden experimentar los países, según dotación de recursos naturales y capital humano, poniendo en evidencia que los desastres pueden implicar para algunas economías incluso la caída en la trampa de pobreza.

Se aprecia también el surgimiento con fuerza dentro de la literatura en torno a desastres, cambio climático, aumento de temperaturas y gestión del riesgo. En este sentido, Thomas y López (2015), estudian la relación entre el aumento de los desastres naturales en todo el mundo y el cambio climático global debido a la acumulación de dióxido de carbono atmosférico. Realizan un análisis de regresión dentro de un modelo de determinación del riesgo de desastres entre 1971-2013 con una participación de 157 países de todos los continentes. Muestran que el cambio de las condiciones climáticas mundiales son responsables de una fracción significativa de las variables hidrometeorológicas (inundaciones, tormentas, olas de calor) y climatológicos (sequías, incendios) de los desastres, incluso después de controlar por las condiciones locales (población en riesgo y vulnerabilidad).

Por otra parte, Burke, Hsiang, y Miguel (2015) estudian en profundidad la relación entre el incremento sostenido de la temperatura y la productividad, encontrando que ésta última tiene un comportamiento no lineal en todas las regiones, a la vez que avanza hacia sentar las bases empíricas para nuevos métodos de medición de pérdidas económicas frente al cambio climático. En efecto, los autores encuentran que la productividad general es creciente con la temperatura alcanzando un punto máximo, en una temperatura promedio anual de 13 grados y declinando rápidamente con temperaturas mayores. Estos resultados son consistentes con las conclusiones de Tol (2015) quien encuentra efectos positivos del cambio climático en el corto plazo, asociados principalmente a las ganancias de sectores silvoagrícola y ahorros en costos de calefacción, pero efectos negativos a medio y largo plazo, los cuales sobrepasarán los beneficios de largo plazo, y afectarán en mayor medida a países más pobres, de clima más cálido y de menor altitud.

Adicionalmente, existe amplia bibliografía que documenta estos factores de riesgo (Tol, 2015) como por ejemplo, Thomas, Albert, y Hepburn (2014) sugieren mediante un análisis econométrico que las principales variables son el aumento de la población expuesta, la vulnerabilidad por parte de la población y las anomalías climáticas, las cuales juegan un rol clave aunque con diferencias geográficas. Este análisis establece que hay una relación causal que fluye desde el incremento de los gases hacia el incremento en riesgo de desastres naturales, mediante el cambio climático dado por la variación de la temperatura y las precipitaciones. También es posible señalar, que la literatura más reciente arroja al menos dos elementos centrales en esta ámbito: (a) que la relación entre el desempeño económico y el cambio climático no es lineal y (b) que existe una heterogeneidad en el impacto según el nivel de desarrollo o los ingresos entre los países.

### 1.3.3. Econometría y la estimación de efectos indirectos.

En cuanto a los métodos de estimación de los efectos indirectos de los desastres naturales sobre las economías en el largo plazo, se aprecia la utilización de modelos empíricos, tales como estudios de panel, estudios en base a series de tiempo y, en particular, modelos VAR, Panel VAR y VAR estructurales. Al respecto podemos señalar dentro de estos, un conjunto amplio de estudios. Raddatz (2009) utiliza técnicas de series de tiempo en panel (modelo autorregresivo de rezagos distribuidos (PARDL) y modelo de vectores autorregresivos (PVAR)) para estimar los efectos de corto y largo plazo en el PIB de los desastres climáticos controlando por un conjunto de variables.

Este autor incluye en su muestra países que han sufrido al menos un desastre climático mayor desde 1950, concluyendo que los desastres tienen impactos estadísticamente significativos en el producto, provocando una disminución del PIB per cápita de un 1%, que es mayor que un impacto



típico de una perturbación en los términos de intercambio (considerados importantes fuentes de fluctuación). Asimismo, el efecto acumulativo de un desastre climático es de 0.6 puntos porcentuales del PIB per cápita (0.5 puntos porcentuales en el primer año), mientras que los desastres geológicos no presentaron impactos estadísticamente significativos en el PIB per cápita. Este resultado, al igual que los de otros trabajos, muestra que tratar los desastres como un agregado puede esconder factores que no necesariamente den cuenta de esto.

Loayza y otros (2009), utilizan un estimador de panel dinámico (método generalizado de momentos (MGM)) para una muestra de 94 países en desarrollo y desarrollados en el período 1961-2005. Los autores observaron que: i) un indicador generalizado de desastres no afecta la tasa de crecimiento del PIB, mientras que si se consideran diferentes tipos de desastres por separado, solo el impacto de las inundaciones fue estadísticamente significativo y positivo; ii) con respecto a la tasa de crecimiento de distintos sectores como la agricultura, la industria y los servicios, las sequías y las tormentas afectan negativamente al primero, mientras que las inundaciones lo hacen positivamente.

Por su parte, Raddatz (2007), utilizando un modelo PVAR, estimó el efecto de las perturbaciones exógenas en el PIB de 40 países clasificados como de bajos ingresos por el Banco Mundial, durante el período 1965-1997. Las perturbaciones exógenas consideradas aparte de los desastres son las fluctuaciones en el precio de productos básicos, fluctuaciones en tasas financieras internacionales y en el nivel de actividad económica de los países desarrollados. Los resultados muestran que, aún cuando estas perturbaciones externas tienen un pequeño pero significativo impacto en el PIB per cápita de los países de bajos ingresos, solo permiten explicar una pequeña parte de la varianza total del PIB per cápita de esos países. Incluso en el largo plazo no permiten explicar más de un 11 % de la varianza. El restante 89 % obedece a factores que no forman parte del conjunto de variables exógenas consideradas, es decir, factores internos como conflictos, inestabilidad política y mal manejo económico.

Un elemento relevante en estos análisis, es la utilización de funciones impulso respuesta acumuladas, donde su uso más frecuente es por períodos. Estas últimas, en su representación gráfica, muestran trayectorias poco parsimoniosas, pasando de algunos casos de valores positivos a valores negativos en los parámetros, implicando cambios abruptos en las representaciones. Incluso en sistemas de dimensión moderada, la estimación de modelos VAR está afectada por una auténtica “maldición de la dimensionalidad”, de forma que sus parámetros están estimados de manera poco precisa, sus predicciones son de baja calidad y en general, la inferencia basada en dichos modelos es cuestionable.

El problema metodológico, en este caso es que los modelos VAR son representaciones poco parsimoniosas de la estructura dinámica de un vector de series temporales, de forma que incluso en sistemas de dimensión moderada, el número de parámetros que han de ser estimados es muy elevado, agotando eventualmente los grados de libertad de los estimadores. Este hecho, acompañado por la elevada correlación que suelen presentar los regresores de un VAR, dan lugar a dos consecuencias complejas: multicolinealidad y sobreajuste. La primera genera estimaciones imprecisas e inestables, por tal motivo, el uso de los VAR como herramienta de análisis estructural mediante, por ejemplo, las funciones de respuesta a los impulsos podría ser cuestionable. Los efectos del sobreajuste son más sutiles pero igualmente adversos.

El agotamiento de los grados de libertad lleva a una situación en la que cada punto está “explicado” por un parámetro como mínimo, de manera que el modelo es incapaz de discriminar adecuadamente los elementos sistemáticos y los puramente accidentales que subyacen en las observaciones. Así, el proceso predictivo tendrá menor precisión y las previsiones se revisarán frecuente y ampliamente, con la consiguiente pérdida de confianza en las mismas. La solución a nivel teórico propuesto para este tipo de problemas, no pasa por descartar la utilización de los VAR, sino por el desarrollo de

un conjunto de nuevas técnicas de estimación que permitan enfrentar dichos problemas.

En la literatura se aprecian diversas soluciones en el marco de los métodos de regresión cresta<sup>14</sup> y de estimación mixta presentados. La regresión cresta equivale a la motivación de cómo mejorar el rendimiento estadístico de los estimadores MCO en un contexto VAR, y la estimación mixta refleja la incorporación explícita y multidimensional de la información a priori que conduce a dicha mejora. En Hoerl y Kennard (1970), Judge et al. (1980) y Peña (1987) se encuentra una exposición de la regresión cresta y en Theil (1970) y Judge et al. (1980) se analiza en detalle la estimación mixta.

#### 1.3.4. Modelos VAR bayesianos.

Al considerar el problema anterior, Litterman (1984a, 1984b, 1986), Doan et al. (1984) y Todd (1984, 1988) proponen imponer una serie de restricciones de naturaleza probabilística orientadas a mejorar la calidad de la estimación y de las predicciones. Estas restricciones, susceptibles de una interpretación bayesiana, no reflejan principios derivados de la teoría económica (usualmente controvertidos) sino consideraciones instrumentales, ateóricas, asociadas con nociones de tipo puramente estadístico. Debido al origen geográfico de este enfoque, este tipo de información extramuestral se denomina “prior de Minnesota”. En el caso particular de la estimación de Var Bayesianos, esta ha estado orientada mayoritariamente a la generación de proyecciones (Jaramillo, 2008) y al contraste de estas con las obtenidas de modelos de series de tiempo tradicionales, pero al parecer los trabajos donde extienden su área de aplicación para el estudio de efectos de desastres naturales en los sistemas económicos son reducidos.

Doan, Litterman, y Sims (1984a) desarrollan un procedimiento de predicción basado en BVAR. El procedimiento se aplica a diez variables macroeconómicas y es expuesto, con el fin de mejorar las proyecciones fuera de la muestra al compararlas con modelos univariados. Todd y Cols (1988) discuten cómo el enfoque bayesiano puede ser usado para construir un tipo de modelo de predicción multivariado conocido como Vector Autorregresivo Bayesiano (BVAR), así, partiendo de la idea de que especificar los priors acerca de los numerosos coeficientes de un modelo de predicción multivariado es bastante desalentador, la clave del enfoque es simplificar esta tarea. C. A. Sims y Zha (1998a) señalan que si los modelos multivariados dinámicos son usados para guiar decisiones de política, es importante que los cálculos de probabilidad de las predicciones sean evaluados.

Así, cuando los BVAR identificados son presentados con intervalos de confianza, los problemas tanto conceptuales como numéricos no han sido resueltos de una manera consistente internamente. El trabajo desarrolla métodos para introducir información del prior en los modelos VAR tanto estructurales como de forma reducida sin introducir cargas computacionales sustanciales. C. A. Sims y Zha (1999) muestran cómo extender correctamente los métodos conocidos para generar bandas de confianza en modelos VAR de forma reducida para modelos sobreidentificados.

Cheng y Cols (1996) presentan un método estadístico formal para combinar predicciones de un modelo macro (trimestral) para Taiwán con predicciones de modelos de series de tiempo mensuales. Estos últimos son un VAR, un BVAR y un ARIMA; concluyendo que las predicciones combinadas generalmente son superiores a las predicciones de frecuencia trimestral. Crone y McLaughlin (1999) presentan un modelo BVAR para Filadelfia, mientras que DeJong, Ingram, y Whiteman (2000) implementan estadísticos para combinar modelos teóricos y empíricos. Siguiendo una estructura

<sup>14</sup> Ambos métodos están orientados a la mejora de la calidad de la estimación por mínimos cuadrados ordinarios (MCO) de los parámetros del modelo lineal general. De forma simplificada, la regresión cresta trata de incrementar la precisión de los estimadores mientras que la estimación mixta permite la inclusión de información a priori de naturaleza inexacta en el proceso de estimación. Ambos métodos admiten de manera bastante directa una interpretación bayesiana y deben ser considerados como manifestaciones diferentes de un mismo procedimiento de construcción de la estimación MCO.

bayesiana, ilustran un modelo neoclásico de ciclos para estudiar predicciones fuera de la muestra para producto e inversión. Gupta y Sichei (2006) estiman un BVAR para Sudáfrica para predecir las principales variables macroeconómicas. Encuentran que un prior estrecho produce predicciones relativamente más precisas que una más dispersa. La precisión de la predicción fuera de muestra es comparada con la misma generada por los modelos VAR univariados y no restringidos. Meyler, Kenny, y Quinn (1998) estiman un BVAR para proyectar la inflación de Irlanda y comparan con alternativas tradicionales. Los autores confirman una mejora significativa en el desempeño de la predicción que se obtiene con el uso de técnicas bayesianas.

Mourniho y Nunes (2002) se enfocan en modelos BVAR para la zona Euro. Utilizando un esquema de hiperparametrización modificada, basada en el prior Minnesota. Los alcances de incorporar relaciones de largo plazo también son discutidos. Asimismo, se aborda el problema de elección de distribuciones prior apropiado para un BVAR con modelos de corrección de errores (BECM). Muestran que el uso de una prior chatas en los puntos de carga del factor puede poner en peligro el desempeño de las proyecciones de modelos BECM.

Por otra parte, Racette, Raynauld, Sigounin y Cols (1994) presentan estimaciones para el caso de Canadá, mientras que Canova y Ciccarelli (2004a) realizan estimaciones de VAR Bayesianos en paneles, donde las distribuciones de la posterior se obtienen por jerarquía y priors Minnesota. Para ilustrar el enfoque desarrollan una aplicación al problema de predecir tasas de crecimiento del producto y los puntos de inflexión del ciclo en países G-7<sup>15</sup>, comparando métodos alternativos de predicción. Sin embargo, a pesar de que los modelos BVAR han tenido una creciente utilización para el estudio de modelos macroeconómicos, se aprecia una muy reducida utilización de estos en el ámbito de series de tiempo y el estudio de desastres naturales.

### 1.3.5. Síntesis de la revisión de la literatura.

Por tanto, la contribución de la revisión de la literatura a nuestro problema inicial de investigación, respecto a los efectos sobre el crecimiento de los diferentes tipos de desastres y su caracterización en el largo plazo, permite sistematizar los siguientes elementos:

- Existe un amplia literatura respecto del estudio de los efectos indirectos sobre el crecimiento tanto en el corto como largo plazo, existiendo investigación tanto en líneas teóricas como empíricas. A nivel teórico se aprecia un consenso de los efectos en el corto plazo, pero a nivel de largo plazo existe un mayor disenso de los impactos que tendrán sobre los sistemas económicos.
- Se requiere de una precisión conceptual entre lo que es la literatura de desastres naturales y los que es el estudio de desastres en los sistemas económicos. Para lo cual, esto ha requerido criterios de clasificación para los efectos que éstos generan en función de las magnitudes, por ejemplo de población afectada, pérdidas económicas ocasionadas, número de personas fallecidas, etc. Así como también de una definición más cercana al ámbito de economía.
- En el ámbito de los modelos macroeconómicos, se aprecian constructos teóricos de alta sofisticación y también la existencia de trabajo seminales que han permitido el desarrollo mismo de este ámbito de investigación, durante las últimas décadas.
- A nivel empírico se han utilizado diferentes herramientas metodológicas, tanto para el estudio de corto como de largo plazo, desde esta perspectiva las técnicas de panel con efecto fijo y aleatorio a nivel de países y de conjunto de países. Se aprecia también la utilización de modelos

---

<sup>15</sup>El G-7, en sus orígenes G-8, se creó en 1975 como foro informal donde se daban cita los líderes de los principales países industrializados del mundo. La cumbre congrega a dirigentes de la Unión Europea y de los siguientes países: Canadá, Francia, Alemania, Italia, Japón, Reino Unido y Estados Unidos

de equilibrio general dinámicos, así como también modelos VAR, utilizando series de tiempo, tanto en niveles como tasa de crecimiento y Panel VAR entre otros.

- Para este último tipo de modelos (VAR) se aprecia que presentan algunos problemas, en cuanto a la estimación de coeficientes y las representaciones más parsimoniosas en torno a la función impulso respuesta frente a determinados shocks. Surgiendo como una alternativa metodológica los modelos BVAR, los cuales incorporan información a priori respecto de los parámetros del modelo, en particular, en este caso los parámetros tienen una función de probabilidad asociada, que también es factible trabajar con hiperparámetros para su estimación.
- Los modelos VAR se han convertido en la referencia básica en lo que concierne al análisis cuantitativo de series temporales múltiples. Algunas de sus características menos deseables han sido corregidas mediante la incorporación de restricciones bayesianas, dando lugar a los modelos BVAR. Esta clase de modelos, se utilizan con profusión para la predicción y el control y si son convenientemente identificados, para el análisis de políticas económicas y la cuantificación de los esquemas de impulso y propagación que rigen en un determinado sistema económico.
- Las ideas básicas subyacentes a la metodología BVAR son muy generales y han sido aplicadas en contextos muy diferentes de los inicialmente contemplados por sus creadores. Sin embargo, para el estudio de desastres naturales, han sido poco utilizados todavía, permitiendo un espacio para contribuir en su utilización en este ámbito, y aportar a la discusión en temas de los efectos desastres naturales, y crecimiento en el largo plazo.

Considerando estos elementos, en la sección siguiente se presenta el enfoque metodológico para los modelos BVAR y su estimación, así como el modelo a estimar y los resultados asociados.

## 1.4. Metodología modelos BVAR

En esta sección se presenta los Modelos BVAR y su técnica de estimación en el contexto bayesiano. En particular, se inicia con una descripción de los problemas existentes en los Modelos VAR en general, para evidenciar del aporte del enfoque bayesiano, de modo de explicar más detalladamente los Modelos BVAR y su estimación.

### 1.4.1. Los modelos BVAR

Un VAR se puede definir, de manera general, como un modelo de ecuaciones simultáneas correspondiente a un sistema de ecuaciones de forma reducida que no es restringido. El hecho que sean ecuaciones de forma reducida, implica que los valores contemporáneos de las variables del modelo no aparecen como variables explicativas en ninguna de las ecuaciones. Por el contrario, el conjunto de variables explicativas de cada ecuación está constituido por un bloque de rezagos de cada una de las variables del modelo y al ser ecuaciones no restringidas, significa que aparece en cada una de ellas el mismo grupo de variables explicativas<sup>16</sup>.

En términos de sus características más relevantes, este tipo de modelos permite estudiar efectos de largo plazo a través de las funciones impulso respuesta para lograr una representación simple de la dinámica del sistema y analizar los efectos sobre el sistema de shocks. Sin embargo, su utilización práctica y su estimación<sup>17</sup> presenta algunos problemas en torno a la precisión de las estimaciones, la

<sup>16</sup>En este punto, no se debe confundir con el concepto de modelo estructural y VAR estructural. El primero hace referencia a un modelo teórico que postula o sostiene la relación funcional, entre las variables del sistema y que de ser expresado linealmente, da cabida a un sistema de ecuaciones lineales simultáneas, que a partir de un procedimiento de resolución es posible llegar a la forma reducida del modelo. Por otra parte, el VAR estructural proviene de que una vez estimado un modelo VAR se requiere recuperar los parámetros del modelo original, por lo tanto, se asocia alguna estrategia de identificación.

<sup>17</sup>Un modelo VAR no se estima para hacer inferencia acerca de coeficientes de variables individuales. Precisamente la baja precisión en su estimación desaconseja cualquier análisis de coeficientes individuales. Tiene mucho sentido, por el contrario, el análisis conjunto de los coeficientes asociados a un bloque.

identificación y la representación de las funciones impulso respuesta. En particular, en este punto es relevante mencionar que dado que los VAR son representaciones poco parsimoniosas de la dinámica de un vector de series temporales, incluso en sistemas de dimensión moderada, el número de parámetros que han de ser estimados es muy elevado, agotando eventualmente los grados de libertad de los estimadores. Este hecho, acompañado por la elevada correlación que suelen presentar los regresores de un VAR, da lugar a dos consecuencias: multicolinealidad y sobreajuste.

- La primera, multicolinealidad, genera estimaciones imprecisas e inestables. De esta manera, el uso de los VAR como herramienta de análisis estructural mediante, por ejemplo, las funciones de respuesta a los impulsos es cuestionable. Los efectos del sobreajuste son más sutiles pero igualmente adversos. El agotamiento de los grados de libertad lleva a una situación en la que cada punto está “explicado” por un parámetro como mínimo, de manera que el modelo es incapaz de discriminar adecuadamente los elementos sistemáticos y los puramente accidentales que subyacen en las observaciones.
- El estimador MCO es consistente siempre que los términos de error sean procesos ruido blanco, pues en tal caso estarán incorrelacionados con las variables explicativas, por la misma razón que en un modelo univariante. Por tanto, la ausencia de autocorrelación en los términos de error de todas las ecuaciones es muy importante. Tomando ambos hechos conjuntamente, es fácil concluir que debe incluirse en cada ecuación, como variables explicativas, el menor número de rezagos que permita eliminar la autocorrelación residual en todas las ecuaciones.

Por tanto, una forma de abordar estos problemas respecto a la precisión de las estimaciones, es considerar que los parámetros podrían acotarse en su tamaño dentro del espacio paramétrico y que pudiesen existir, hiperparámetros que permitan caracterizar dicha distribución de forma concisa, utilizando, por ejemplo, información a priori respecto de estos que pudiese plantearse como una distribución de probabilidad. Esto dos aspectos mencionados se encuentran desarrollados en la literatura a partir de la década de los setenta, donde se desarrolla la regresión cresta (ridge) y la estimación mixta. En Hoerl y Kennard (1970), Judge et al. (1980) y Peña (1987) se encuentra una exposición de la regresión cresta y en Theil (1970) y Judge et al. (1980) se analiza en detalle la estimación mixta.

Los estimadores cresta equivalen a restringir a priori el tamaño del estimador de  $\beta$  de manera “anónima”, ya que no se tratan de forma individual los elementos de dicho vector. El método de estimación mixta también considera que  $\beta$  ha de estar, con mayor verosimilitud, en una determinada región del espacio paramétrico pero considerando sus componentes de forma diferenciada y sopesando probabilísticamente esta información a priori.

$$Y = X\beta + U \quad (1.1)$$

$$\begin{aligned} \min_{\beta} S(\beta) &= (Y - \beta X)'(Y - \beta X) \\ \text{s.a } &\beta' \beta \leq C \end{aligned} \quad (1.2)$$

$$L(\beta, \lambda) = (Y - X\beta)'(Y - X\beta) + \lambda(\beta' \beta - C^2) \quad (1.3)$$

Obteniendo las condiciones de primer orden, y la solución correspondiente:

$$\hat{\beta}(\lambda) = (X'X + \lambda I_k)^{-1} X'Y \quad (1.4)$$

$$\hat{\beta}' \hat{\beta} = C^2 \quad (1.5)$$

Donde la elección de  $\lambda$  depende de  $C$ . En términos de los casos extremos si la hiperesfera ( $C$ ) tiende a infinito, entonces, la restricción no sería vinculante, por el contrario si ésta converge a cero, es equivalente a eliminar la restricción y los parámetros convergen a cero. Por tanto, se requiere especificar a priori un tamaño para  $C$ . En el caso de la estimación mixta, considera que  $\beta$  ha de estar

en una determinada región del espacio paramétrico con mayor verosimilitud, pero considerando sus componentes de forma diferenciada, y a priori<sup>18</sup>.

Lo anterior, implica ahora incorporar un conjunto de restricciones lineales que consideran un término de error estocástico, de la forma:  $r = R\beta + W$ , donde  $W$  es un vector que se distribuye como una normal de media cero, y varianza  $Q$ . Luego el sistema queda caracterizado por las siguientes ecuaciones:

$$\begin{pmatrix} Y \\ r \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X \\ R \end{pmatrix} \beta + \begin{pmatrix} U \\ W \end{pmatrix} \quad (1.6)$$

$$\begin{pmatrix} \sigma^2 I_n & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (1.7)$$

$$\hat{\beta} = \left[ \begin{pmatrix} X' & R' \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \sigma^2 I_n & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} X \\ R \end{pmatrix} \right]^{-1} \left[ \begin{pmatrix} X' & R' \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \sigma^2 I_n & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} Y \\ r \end{pmatrix} \right]^{-1} \quad (1.8)$$

$$\hat{\beta} = [\sigma^{-2} X'X + R'Q^{-1}R]^{-1} [\sigma^{-2} X'Y + R'Q^{-1}r] \quad (1.9)$$

De la ecuación anterior se desprende que en la medida de tener una mayor credibilidad sobre las restricciones, implicará que la matriz de varianza y covarianza sea de menor tamaño, en caso contrario, si la credibilidad es baja, entonces, la matriz será elevada, y los estimadores serán muy similares a los obtenidos por el método de OLS.

La solución que aporta los modelos BVAR (la incorporación de información a priori acerca de los parámetros del sistema) es una aplicación especial y bastante sofisticada de dos métodos de estimación desarrollados a principios de los años setenta: la regresión cresta (ridge regression) y la estimación mixta. Ambos métodos están orientados a la mejora de la calidad de la estimación por mínimos cuadrados ordinarios (MCO) de los parámetros del modelo lineal general. Lo anterior, implica utilizar el conocimiento previo existente con respecto a los parámetros del modelo que se quiere estimar, de modo de obtener la distribución a posteriori una vez que se ha utilizado la información contenida en los datos, con la información a priori de la distribución de los parámetros o del vector de parámetros.

Desde la perspectiva de los BVAR<sup>19</sup>, la regresión cresta equivale a la motivación (cómo mejorar el rendimiento estadístico de los estimadores MCO en un contexto VAR) y la estimación mixta refleja la instrumentación concreta (la incorporación explícita y multidimensional de la información a priori que conduce a dicha mejora).

#### 1.4.2. Enfoque Bayesiano

El principio bayesiano<sup>20</sup> implica combinar la información a priori existente para la estimación de los parámetros del modelo, esto es, su distribución a priori con la información contenida en los datos, para obtener una distribución que considera un mayor nivel de información para llevar a cabo las estimaciones (distribución a posteriori).

Desde esta perspectiva, puede ser deseable reducir las previsiones y la información previa ofrece

<sup>18</sup>Para un mayor detalle ver Quilis E. Modelos BVAR: Especificación, Estimación e Inferencia. Marzo 2002

<sup>19</sup>Las estimaciones bayesianas permiten introducir fácilmente el tratamiento de variables no observables, mientras el uso de distribuciones priors, representan un poderoso mecanismo para incorporar información de estudios previos y donde las probabilidades a posteriori son fácilmente interpretables (G. M. Koop, 2003).

<sup>20</sup>Existen una amplia literatura que estudia las aplicaciones del enfoque bayesiano a la investigación social (Dose, 2003; Hib, Griffiths, Koop, Terrel, 2008; Wilks, 2011; Von Toussaint, 2011). Las diferencias con respecto al enfoque tradicional o denominado frecuentista, se establecen en términos de probabilidad, estimación e inferencia. En el primer caso se refiere al grado de creencia asociado con respecto a la ocurrencia de un evento; en el caso de la estimación se asume una distribución a priori con respecto a uno o a los parámetros de interés y en cuanto a la inferencia, se desarrolla en función de los parámetros más relevantes para el investigador.

una forma sensata de hacer esta contracción. Los priors, un conjunto de hiperparámetros, que permiten caracterizar la distribución adecuadamente, son los que dan esa información previa. Por tanto, son este conjunto de hiperparámetros los que permiten contraer o reducir el respectivo espacio de parámetros. Existe una gran familia de priors (la elección de una distribución de probabilidad asociada a los parámetros antes del análisis) donde los métodos para su obtención pueden clasificarse en términos generales en tres. El primero puede agruparse en el concepto de *informative priors*, obtenidos a nivel teórico o de la teoría existente, el segundo *empirical priors* basados en la observación de los propios datos, y *diffuse, non-informative priors* basado no en un conocimiento previo o creencias previas (Zyphur y Oswald, 2015).

En términos de análisis formal, el enfoque bayesiano implica la obtención de la distribución a posteriori de los parámetros, dado los datos existentes, es decir la obtención de una función de probabilidad para el vector de parámetros condicionada a la información y data existente. La aplicación del enfoque bayesiano, regla de Bayes, se expresa en el conjunto siguiente de ecuaciones, donde dado el vector de parámetros, o bien también puede pensarse en un solo parámetro,  $\theta$ , y dado un set de datos  $y$ , se obtiene la función a posteriori respectiva<sup>21</sup>

$$\begin{aligned}\pi(\beta|y) &= \frac{f(\beta, y)}{f(y)} \\ &= \frac{f(\beta, y)}{f(y)} * \frac{\pi(\beta)}{\pi(\beta)} \\ &= \frac{f(y|\beta) * \pi(\beta)}{f(y)}\end{aligned}\tag{1.10}$$

$$\begin{aligned}\pi(\beta|y) &= \frac{f(y|\beta)\pi(\beta)}{f(y)} \\ &\propto f(y|\beta)\pi(\beta)\end{aligned}\tag{1.11}$$

En la ecuación (1.10) se utiliza el teorema de Bayes, donde  $\pi(\beta)$  corresponde a la distribución a priori elegida por el investigador, obteniendo de esa forma una expresión que, dado un set de datos  $y$ , el conjunto de parámetros incluidos en  $\beta$  en conjunto con  $\pi(\beta)$  se puede expresar la función de densidad  $\pi(\beta|y)$  dado que corresponde a la función de probabilidad condicional y por lo tanto satisface todas sus propiedades. Por otro lado, la ecuación (1.11), muestra la función de distribución condicional a posteriori, en donde  $f(y)$  puede tomarse como independiente de  $\beta$ , por lo que se puede representar por su valor proporcional.

En las ecuaciones (1.12) hasta (1.14), se muestra el proceso para obtener la función de distribución a posteriori para el caso de un parámetro. Dada la función de distribución  $\pi(\beta)$  con  $\beta = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_d)$  un conjunto de parámetros estudiado. Por propiedad de independencia entre los parámetros se puede escribir en la ecuación (1.12) para luego aplicar las transformaciones aplicadas en la ecuación (1.11). La integración permite encontrar la función de distribución final para cualquiera de los parámetros estudiados, la cual permite realizar la inferencia bayesiana.

$$\pi(\beta) = \pi(\beta_1) \times \dots \times \pi(\beta_d)\tag{1.12}$$

$$\pi(\beta|y) \propto f(y|\beta)\pi(\beta_1)\pi(\beta_2) \dots \pi(\beta_d)\tag{1.13}$$

---

<sup>21</sup>Para un desarrollo detallado ver Dieppe A, Legrand R. and Roye B, 2018. Technical Guide: The Bayesian Estimation, Analysis and Regression (Bear) Toolbox. European Central Bank.

$$\pi(\beta_i|y) = \int \pi(\beta_1, \dots, \beta_d|y) \underbrace{d\beta_1 d\beta_2 \dots d\beta_d}_{\neq i} \quad (1.14)$$

En este análisis, se ha supuesto algún conocimiento previo con respecto a la distribución a priori, que puede ser enriquecido si utilizamos los priors, es decir, distribuciones jerárquicas que anteceden a las distribución actual de los parámetros y que pueden ser parametrizadas a partir de un vector de parámetros reducidos.

Una versión sofisticada de esto ultimo se obtiene utilizando lo que se conoce como distribución prior jerarquizada. Para entender este concepto debemos considerar que el vector de parámetros  $\beta$  depende de otros parámetros claves, que podemos asociar a un vector de parámetros  $\lambda$ . Y que nos permite caracterizar la distribución inicial de los parámetros<sup>22</sup>.

Siendo rigurosos debería escribirse la función  $\pi(\beta|\lambda)$ , pero se entiende como parámetros implícitos en  $\theta$ . A los componentes de  $\lambda$  se les conoce como hiperparámetros, los cuales pueden asumirse como fijos y conocidos o pueden considerarse también como aleatorios, donde si este fuera el caso se puede caracterizar  $\lambda$  según la distribución a prior. Esto es:

$$\pi(\beta, \lambda|y) = \frac{f(y|\beta, \lambda)\pi(\beta, \lambda)}{f(y)} \quad (1.15)$$

$$\pi(\beta, \lambda|y) = \frac{f(y|\beta, \lambda)}{f(y)} \frac{\pi(\beta, \lambda)}{\pi(\lambda)} \pi(\lambda) \quad (1.16)$$

$$\pi(\beta, \lambda|y) = \frac{f(y|\beta, \lambda)}{f(y)} \pi(\beta|\lambda)\pi(\lambda) \quad (1.17)$$

Donde el hiperparámetro  $\lambda$  solo se usa para determinar la función prior de  $\beta$ , lo que hace que una vez que se determine este parámetro entonces  $\lambda$  se vuelve redundante y no entrega mayor información. Por lo tanto se puede reescribir el ecuación (1.17) como:

$$\pi(\beta, \lambda|y) \propto \frac{f(y|\beta, \lambda)}{f(y)} \pi(\beta|\lambda)\pi(\lambda) \quad (1.18)$$

$$\pi(\beta, \lambda|y) \propto *f(y|\beta)\pi(\beta|\lambda)\pi(\lambda) \quad (1.19)$$

La ecuación (1.19) dice que para encontrar la función distribución posterior en un modelo jerárquico basta con multiplicar la función verosimilitud  $f(y|\theta)$  con la función a prior condicional  $\pi(\theta|\lambda)$  y la función a prior de  $\lambda$ . Si fuera de interés obtener la función posterior de  $\theta$  basta con calcular:

$$\pi(\beta|y) = \int_{\lambda} \pi(\beta, \lambda|y) d\lambda \quad (1.20)$$

Se puede también pensar de que los parámetros  $\lambda$  poseen elementos aleatorios por determinar, siguiendo los mismos pasos anteriores se puede agregar esa condición probabilística y podemos reescribir (1.19) y (1.20) como:

$$\pi(\beta, \lambda, \gamma|y) \propto f(y|\beta)\pi(\beta, \lambda)\pi(\lambda|\gamma)\pi(\gamma) \quad (1.21)$$

$$\pi(\beta|y) = \int_{\lambda} \int_{\gamma} \pi(\beta, \lambda, \gamma|y) d\lambda d\gamma \quad (1.22)$$

Finalmente, la ecuación (1.22) muestra la expresión de la función a posteriori, una vez utilizada la

<sup>22</sup>Por ejemplo para una distribución normal multivariada de parámetros  $\Sigma$  y  $\mu$  se tendrá un  $\lambda = (\Sigma, \mu)$  las cuales representan a su matriz de varianza-covarianza y su media.



información proveniente de los datos, y la función a priori, obtenida a partir de la utilización de priors, reflejados en este caso en los parámetros  $\lambda$  y  $\gamma$ .

A partir de lo anterior, y dado que la función de densidad posterior, contiene toda la información sobre los parámetros, puede que el propósito sea estimar un valor puntual o un intervalo respecto al conjunto de parámetros o para un conjunto de reducido de estos. Para lo cual se puede plantear una función de pérdida que cuantifique el costo de basar la decisión en dicha estimación, respecto del verdadero valor.

Existen diferentes funciones de pérdida, en particular se utiliza en lo que sigue  $L(\hat{\beta}, \beta) = (\hat{\beta} - \beta)^2$  con el fin de obtener un estimador bayesiano para  $\beta$ , el cual se obtiene minimizando el valor esperado de la función de pérdida, por tanto, la estimación bayesiana será el conjunto de parámetros que minimiza dicha pérdida. Esto es encontrar  $\hat{\beta}$  tal que:

$$E[L(\hat{\beta}, \beta)] = \int L(\hat{\beta}, \beta)\pi(\beta|y)d\beta \quad (1.23)$$

Reemplazando con la función de pérdida propuestas se tiene que:

$$E[L(\hat{\beta}, \beta)] = \int (\hat{\beta} - \beta)^2\pi(\beta|y)d\beta \quad (1.24)$$

Las condiciones de primero orden establecen que se debe derivar e igualar a cero (1.24):

$$\frac{\partial E[L(\hat{\beta}, \beta)]}{\partial \hat{\beta}} = 2 \int (\hat{\beta} - \beta)\pi(\beta|y)d\beta = 0 \quad (1.25)$$

Despejando  $\hat{\beta}$ :

$$\hat{\beta} = \int \beta\pi(\beta|y)d\beta = \mathbb{E}(\beta|y) \quad (1.26)$$

Esta última expresión corresponde estadísticamente a la esperanza matemática. De esta forma, se ha encontrado una ecuación que describe el estimador puntual buscado, el cual incorpora la información de la función de densidad a posterior descrita en (1.22).

En busca de precisión, para las estimaciones bayesianas de los parámetros se considera la mediana en vez del promedio por dos razones: la mediana es menos sensible a los valores extremos que el promedio, lo que permite usar valores que pueden estar alejados de la tendencia central o si la media de la distribución posterior se encuentra demasiado sesgada. Por otro lado, siendo el 50% de los cuantiles, la mediana se encontrará dentro de los intervalos de confianza, mientras que la media puede arrojar valores fuera de estos intervalos si existe sesgo en el modelo.

En términos de este marco, la contrapartida a un intervalo de confianza, es un intervalo de la distribución posterior, que contiene una determinada probabilidad. En este sentido es aconsejable que sea lo más pequeño posible. Es posible calcular intervalos de confianza en torno al parámetro o vector de parámetros encontrado desde la función posterior construida donde  $\mathbb{P}(\beta_L \leq \beta \leq \beta_H) = 1 - \alpha$  indica la probabilidad de que el parámetro se encuentre en esos límites con probabilidad del 95%.

### 1.4.3. Estimación VAR Bayesianos

El objetivo de estudio de un modelo VAR es describir la relación que existe entre diferentes series temporales que están relacionadas entre ellas (Kirchgässner y Wolters, 2007). En otras palabras, este enfoque permite abordar un sistema de ecuaciones simultáneas, el cuál es posible representarlo en su forma reducida de forma matricial, donde el sistema contiene  $n$  variables endógenas,  $m$  exógenas, y  $p$  rezagos, y se escribe como (1.27):

$$\begin{aligned}
\begin{pmatrix} y_{1,t} \\ y_{2,t} \\ \vdots \\ y_{n,t} \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} \nu_1 \\ \nu_2 \\ \vdots \\ \nu_n \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} a_{11}^1 & a_{12}^1 & \cdots & a_{1n}^1 \\ a_{21}^1 & a_{22}^1 & \cdots & a_{2n}^1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1}^1 & a_{n2}^1 & \cdots & a_{nn}^1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y_{1,t-1} \\ y_{2,t-1} \\ \vdots \\ y_{n,t-1} \end{pmatrix} + \cdots + \begin{pmatrix} a_{11}^p & a_{12}^p & \cdots & a_{1n}^p \\ a_{21}^p & a_{22}^p & \cdots & a_{2n}^p \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1}^p & a_{n2}^p & \cdots & a_{nn}^p \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y_{1,t-p} \\ y_{2,t-p} \\ \vdots \\ y_{n,t-p} \end{pmatrix} \\
&+ \begin{pmatrix} B_{11} & B_{12} & & B_{1n} \\ B_{21} & B_{22} & & B_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ B_{n1} & B_{n2} & & B_{nn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_{1,t} \\ x_{2,t} \\ \vdots \\ x_{n,t} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \varepsilon_{1,t} \\ \varepsilon_{2,t} \\ \vdots \\ \varepsilon_{n,t} \end{pmatrix}
\end{aligned} \tag{1.27}$$

Este modelo puede expresar también, de forma vectorial:

$$y_t = \nu + A_1 y_{t-1} + A_2 y_{t-2} + \cdots + A_p y_{t-p} + B x_t + \varepsilon_t \quad \text{con } t = 1, 2, \dots, T \tag{1.28}$$

Donde en (1.28) se tiene que  $y_t' = (y_{1,t}, y_{2,t}, \dots, y_{n,t})'$  corresponde un vector de  $n \times 1$  que agrupa las variables endógenas,  $A_1, A_2, \dots, A_p$  son  $p$  matrices de dimensión  $n \times n$  y  $x_t$  es un vector de  $m \times 1$  que agrupa las  $m$  variables exógenas acompañada de la matriz  $B$  de dimensiones  $n \times m$  que agrupa sus coeficientes respectivos. Finalmente  $\varepsilon_t' = (\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n)'$  corresponden a un vector de  $n \times 1$  el cual agrupa los residuos, estos están relacionados según la distribución multivariante:

$$\varepsilon_t \sim \mathbb{N}(0, \Sigma) \tag{1.29}$$

Donde  $\varepsilon_t$  no presenta autocorrelaciones, esto es  $\mathbb{E}(\varepsilon_t \varepsilon_t') = \Sigma$  mientras que  $\mathbb{E}(\varepsilon_t \varepsilon_s') = 0$  siempre que  $t \neq s$ .  $\Sigma$  es una matriz semidefinida positiva correspondiente a la matriz de varianzas-covarianzas. Los términos de varianzas se encuentran en la diagonal y los de covarianzas fuera de ésta.

El total de parámetros a estimar en este modelo para una ecuación, viene dado por el término constante, los coeficientes que acompañan a las variables rezagadas por el número de rezagos  $n * p$ , más los coeficientes de variables exógenas que corresponde a  $m$  coeficientes. Lo que da por ecuación un total de  $k = n * p + m$  coeficientes a estimar de cada ecuación (sino se considera la constante por simplicidad), dejando un total igual a  $q = nk = n(np + m)$  coeficientes para estimar el modelo completo. Si existiera las constante el total sería  $q + n$ . Si adicionalmente se consideran los parámetros asociados a la matriz de varianza-covarianza, los que serian  $l = \frac{n(n+1)}{2}$ , el total llegaría a  $q + n + l$ .

De igual forma podemos trabajar el modelo de forma de llevarlo a una expresión que nos permita comprender la utilización de la muestra de datos, para lo cual lo trabajamos en su versión traspuesta.

$$y_t' = \nu' + A_1' y_{t-1}' + A_2' y_{t-2}' + \cdots + A_p' y_{t-p}' + B' x_t' + \varepsilon_t' \quad \text{con } t = 1, 2, \dots, T \tag{1.30}$$

Dado el factor temporal  $t$  que toma valores entre 1 y  $T$ , entonces se puede reestructurar este modelo con respecto al conjunto de  $T$  datos totales de la muestra, de modo que para variables del sistema tendremos  $T$  observaciones de modo que, el vector de variables esta formado por subvectores que contienen las  $n$  muestras de tamaño  $T$ , correspondientes a las variables del sistema.

$$\underbrace{\begin{pmatrix} y'_1 \\ y'_2 \\ \vdots \\ y'_T \end{pmatrix}}_{T \times n} = \underbrace{\begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \end{pmatrix}}_{T \times n} \nu' + \underbrace{\begin{pmatrix} y'_0 \\ y'_1 \\ \vdots \\ y'_{T-1} \end{pmatrix}}_{T \times n} \underbrace{A'_1}_{n \times n} + \underbrace{\begin{pmatrix} y'_{-1} \\ y'_0 \\ \vdots \\ y'_{T-2} \end{pmatrix}}_{T \times n} \underbrace{A'_2}_{n \times n} + \dots + \underbrace{\begin{pmatrix} y'_{1-p} \\ y'_{2-p} \\ \vdots \\ y'_{T-p} \end{pmatrix}}_{T \times n} \underbrace{A'_p}_{n \times n} + \underbrace{\begin{pmatrix} x'_1 \\ x'_2 \\ \vdots \\ x'_T \end{pmatrix}}_{T \times m} \underbrace{B}_{n \times m} + \underbrace{\begin{pmatrix} \varepsilon'_1 \\ \varepsilon'_2 \\ \vdots \\ \varepsilon'_T \end{pmatrix}}_{T \times n} \quad (1.31)$$

Donde,  $y'_1$  es un vector que contiene las  $T$  observaciones para la primera variable, y así sucesivamente. Si se reagrupan cada una de las matrices de regresores y se colocan en un solo vector, el modelo puede reescribirse como:

$$\underbrace{\begin{pmatrix} y'_1 \\ y'_2 \\ \vdots \\ y'_T \end{pmatrix}}_{T \times n} = \underbrace{\begin{pmatrix} 1 & y'_0 & y'_{-1} & \cdots & y'_{1-p} & x'_1 \\ 1 & y'_1 & y'_0 & \cdots & y'_{2-p} & x'_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots & \vdots \\ 1 & y'_{T-1} & y'_{T-2} & \cdots & y'_{T-p} & x'_T \end{pmatrix}}_{T \times k} \underbrace{\begin{pmatrix} \nu' \\ A'_1 \\ \vdots \\ A'_p \\ B' \end{pmatrix}}_{k \times n} + \underbrace{\begin{pmatrix} \varepsilon'_1 \\ \varepsilon'_2 \\ \vdots \\ \varepsilon'_T \end{pmatrix}}_{T \times n} \quad (1.32)$$

Esto puede resumirse en la forma compacta de su representación:

$$Y = X\beta + \varepsilon \quad (1.33)$$

Donde

$$Y = \begin{pmatrix} y'_1 \\ y'_2 \\ \vdots \\ y'_T \end{pmatrix} \quad X = \begin{pmatrix} 1 & y'_0 & y'_{-1} & \cdots & y'_{1-p} & x'_1 \\ 1 & y'_1 & y'_0 & \cdots & y'_{2-p} & x'_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots & \vdots \\ 1 & y'_{T-1} & y'_{T-2} & \cdots & y'_{T-p} & x'_T \end{pmatrix} \quad \beta = \begin{pmatrix} \nu' \\ A'_1 \\ \vdots \\ A'_p \\ B' \end{pmatrix} \quad \varepsilon = \begin{pmatrix} \varepsilon'_1 \\ \varepsilon'_2 \\ \vdots \\ \varepsilon'_T \end{pmatrix} \quad (1.34)$$

La ecuación (1.33) permite una estimación a través del método de mínimos cuadrados ordinarios tal que:

$$\hat{\beta} = (X'X)^{-1}(X'Y) \quad (1.35)$$

#### 1.4.4. Priors de Litterman o de Minnesota y estimación.

Los priors de Minnesota, sugieren que todas las ecuaciones están centradas alrededor de un camino aleatorio con drift. Lo cual contrae los elementos de la diagonal de la matriz  $A_1$  a tomar valores 1 y los otros coeficientes  $A_2, \dots, A_p$  hacia ceros.

$$y_t = \nu + A_1 y_{t-1} + A_2 y_{t-2} + \dots + A_p y_{t-p} + C x_t + \varepsilon_t \quad (1.36)$$

$$y_t = \nu + A_1 y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (1.37)$$

Los priors de Litterman también encarnan la creencia de que los rezagos más recientes proveen una mayor información que las más distantes y también que los propios rezagos explican más que los rezagos de otras variables en el modelo. Los priors son impuestos configurando los siguientes momentos previos de la distribución de coeficientes:

$$E[(A_k)_{ij}] = \begin{cases} \delta_i, j = i, k = 1 \\ 0, \text{ en otro caso} \end{cases} \quad (1.38)$$

$$V[(A_k)_{ij}] = \theta \frac{\lambda^2}{k^2} * \frac{\sigma_i^2}{\sigma_j^2}. \quad (1.39)$$

Se asume que los coeficientes  $(A_1, \dots, A_p)$  son independientes y tienen una distribución normal. La matriz de covarianza de los residuos se asume diagonal, fija y conocida ( $\Sigma = \text{diag}(\sigma_1, \dots, \sigma_n)$ ), y el prior del intercepto es difuso. Inicialmente, Litterman fija  $i = 1$  para todo  $i$ , reflejando la creencia de que todas las variables están caracterizadas por una alta persistencia. Sin embargo, este prior no es apropiado para las variables que uno cree poseen una fuerte reversión a la media, para estos se impone un prior igual a  $\delta_i = 0$ .

El hiper parámetro  $\lambda$  controla el ajuste general (overall tightness) de la distribución prior alrededor de  $\delta_i$ . Este hiper parámetro gobierna la importancia de las creencias relativas a la información contenida en los datos, cuando  $\lambda = 0$  el posterior es igual al prior, por lo tanto los datos no influyen las estimaciones.

En el otro extremo, si  $\lambda = \infty$  remueve toda influencia de los priors, siendo los coeficientes equivalentes a las estimaciones de mínimos cuadrados ordinarios (MCO). El factor  $\frac{1}{k^2}$  es la tasa a la cual el prior de la varianza decrece con el tamaño del rezado del VAR, y  $\frac{\sigma_i^2}{\sigma_j^2}$  toma en cuenta las diferencias en escala y variabilidad de los datos. El coeficiente  $\theta \in (0, 1)$  gobierna el grado en que los rezagos de las otras variables son menos importantes que los propios rezagos.

En los modelos de VAR bayesianos, la media prior para las variables deterministas en cada ecuación es no informativa. Así, no se considera una distribución para los coeficientes de las variables exógenas, o para el componente determinístico. A su vez, la distribución prior para los rezagos de las variables endógenas es normalmente independiente.

Dentro del contexto del análisis estructural debemos tomar en cuenta la posible correlación entre los residuos de las distintas variables, consecuentemente el supuesto de Litterman de matriz de covarianzas diagonal y fija es algo problemático. Para resolver este problema, seguimos a Kadiyala y Karlsson (1997) y Sims y Zha (1998) e imponemos una distribución Normal para los coeficientes y una distribución Normal inversa Wishart para la matriz de covarianzas de los residuos.

#### 1.4.4.1. Estimación Bayesiana para un modelo VAR

Una de las funciones prior más utilizada es aquella conocida como Litterman o de Minesotta siguiendo el lineamiento de la sección anterior. En lo que sigue se asume la matriz de varianzas-covarianzas  $\Sigma$  como conocida. El único objetivo es entonces estimar el parámetro  $\beta$ . Por lo tanto para esto se necesitan dos elementos: la función verosimilitud  $f(y|\beta)$  para los datos y una función posterior  $\pi(\beta)$  para  $\beta$ . Para obtener la función verosimilitud se debe ocupar las propiedades de la distribución de Minesotta, la cual es una normal multivariada centrada en 0 con una matriz de covarianza  $\bar{\Sigma}$ . Podemos establecer que  $y$  se distribuye como normal multivariada centrada en  $\bar{X}\beta$  y matriz de covarianza  $\bar{\Sigma}$ , esto es:

$$f(y|\beta, \bar{\Sigma}) = (2\pi)^{-\frac{nT}{2}} |\bar{\Sigma}|^{-\frac{1}{2}} \exp \left[ -\frac{1}{2} (y - \bar{X}\beta)' \bar{\Sigma}^{-1} (y - \bar{X}\beta) \right] \quad (1.40)$$

Para obtener la función posterior para el parámetro  $\beta$  asumimos que tiene una distribución normal multivariada centrada en  $\beta_0$  y  $\Omega_0$  los cuales son identificados según la estrategia descrita por Litterman (1986). Entonces:

$$\pi(\beta) \sim \mathbb{N}(\beta_0, \Omega_0) \quad (1.41)$$

Dado que tanto  $\beta_0$  como  $\Omega_0$  han sido identificados como se había descrito, se puede escribir la función  $\pi$  como:

$$\pi(\beta) = (2\pi)^{-\frac{nT}{2}} |\Omega_0|^{-\frac{1}{2}} \exp \left[ -\frac{1}{2} (\beta - \beta_0)' \Omega_0^{-1} (\beta - \beta_0) \right] \quad (1.42)$$

Ahora que se tienen ambos elementos se puede construir la función posterior para los  $\beta$ . Omitiendo el parámetro  $\bar{\Sigma}$  de la notación e incluyendo los términos no aleatorios en la constante, se tiene que:

$$\pi(\beta|y) \propto f(y|\beta)\pi(\beta) \quad (1.43)$$

$$\pi(\beta|y) \propto \exp \left[ -\frac{1}{2} (y - \bar{X}\beta)' \bar{\Sigma}^{-1} (y - \bar{X}\beta) \right] \exp \left[ -\frac{1}{2} (\beta - \beta_0)' \Omega_0^{-1} (\beta - \beta_0) \right] \quad (1.44)$$

Definiendo las siguientes variables con respecto a las propiedades de vectorización realizada previamente:

$$\bar{\Omega} = [\Omega_0^{-1} + \Sigma^{-1} \otimes X'X]^{-1} \quad y \quad \bar{\beta} = \Omega [\Omega_0^{-1}\beta_0 + (\Sigma^{-1} \otimes X')y] \quad (1.45)$$

Reemplazando (1.45) en (1.44) finalmente se obtiene:

$$\pi(\beta|y) \propto \exp \left[ \frac{1}{2} (\beta - \bar{\beta})' \bar{\Omega}^{-1} (\beta - \bar{\beta}) \right] \quad (1.46)$$

Donde  $\pi(\beta|y) \sim N(\bar{\beta}, \bar{\Omega})$ . Una vez obtenida esta función<sup>23</sup>, se pueden obtener las estimaciones bayesianas y los intervalos de confianza según la metodología descrita anteriormente en la sección 1.4.1.

#### 1.4.5. Prior alternativos

Se aprecia que el desarrollo de prior es variado, en general se han propuesto diferentes funciones de probabilidad como información a priori, los que se clasifican en prior informativos y prior difusos.

##### 1.4.5.1. Diferentes funciones de distribución utilizadas en estimaciones bayesianas

- a. **Distribución de Minnesota:** También es conocida como distribución Litterman, en la cual se asume la matriz de varianzas y covarianzas como conocida, por lo que se asumen diferentes estructuras:
  1. Original: Es el caso en que se asume que la matriz será igual a la varianza residual de cada modelo AR que constituye el VAR.
  2. OLS convencional: Es el caso en que se asume a la matriz de varianza covarianza como la convencional que se obtiene al estimar a través de mínimo cuadrados ordinarios, pero solamente se consideran los valores diagonales.
  3. Estimación Simultánea: No se asume una matriz diagonal y se incluyen todas las varianzas y covarianzas obtenida de la estimación por mínimos cuadrados ordinarios.
- b. **Distribución Normal Wishart:** Este tipo de distribución utiliza menos supuestos que la anterior, tanto  $\beta$  como  $\Sigma$  son tratadas como desconocidas, por lo que no pueden ser tratada como constantes proporcionales. Para lidiar con este nuevo supuesto, el parámetro  $\beta$  ahora tendrá una distribución normal multivariada que dependerá del parámetro  $\Sigma$  el cual queda ahora como único parámetro a estimar, en donde luego de aplicar reducciones matemáticas, se deduce que la distribución Normal Wishart. Esta última es un caso particular de la matriz de varianzas y covarianzas de la distribución de Minnesota, incorporando en esta matriz la información de los prior.
- c. **Distribución Normal Wishart Independiente.** Se propone utilizar el mismo método en el apartado anterior con la diferencia de que esta vez la variante  $\Sigma$  será estimada como una distribución Wishart inversa, donde se deben escoger los parámetros de ella para luego hacer los reemplazos matemáticos correspondientes.

<sup>23</sup>Ver anexo número 2, para derivación de la distribución a posteriori.

- d. **Distribución Normal Difusa.** Este tipo de prior nace como alternativa a los anteriores al momento que el investigador quiere generar supuestos sobre la función  $\Sigma$ . El principal cambio viene de que se asume que existe un  $\pi(\Sigma)$ , el cual, en combinación con la función de verosimilitud, permite obtener la distribución posterior.
- e. **Distribución Dummy.** Las distribuciones anteriores por lo general presentan varios problemas. El primero es el problema del tratamiento de datos, pues para ecuaciones muy grandes se deben invertir matrices gigantes que requieren muchas iteraciones, lo que aumenta el riesgo de que los software terminen en error. Otro problema, es que en el VAR no se está asumiendo una relación de covarianza entre sus coeficientes, lo que hace que pueda estimarse de manera sub-óptima. También se dificulta el tratamiento cuando hay cointegración o cuando se trabaja con raíz unitaria. Es por esto que se sugiere el prior con distribución dummy. Para esto, se desarrollan dos extensiones (suma de coeficientes y observación ficticia inicial), las cuales logran hacer compatibles las estimaciones con los procesos de raíz unitaria o de cointegración.

#### 1.4.6. Modelo a estimar

El modelo a utilizar en un VAR(2), con dos variables endógenas y siete variables exógenas, de modo estudiar los efectos de los desastres sobre la trayectoria de crecimiento de las economías bajo estudio. La ecuación (1.47) muestra el modelo inicial, y la ecuación (1.48) las variables a utilizar. La forma particular del modelo, dado que el interés aquí es estudiar los efectos de la perspectiva bayesiana, sigue la línea utilizada en los trabajos llevados a cabo por diferentes investigadores en este ámbito.

La estructura básica la utiliza Albuquerque P. (2019) para estimar el efecto de los desastres naturales en el sector bancario. Por su parte, Miao Q. (2018) utiliza esta misma estrategia para modelar impactos de los desastres naturales sobre el sector financiero. Raddatz (2009) elabora un trabajo con una estructura similar, salvo que estudia los costos de los desastres naturales a nivel macroeconómico. Por tanto, dado que el estudio de los modelos VAR y panel VAR como método de estimaciones se encuentra validado ya en la literatura a través de investigaciones precedentes, surge el interés hacia la perspectiva bayesiana.

$$\begin{pmatrix} y_{1,t} \\ y_{2,t} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{11,t}^1 & A_{12,t}^1 \\ A_{21,t}^1 & A_{22,t}^1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y_{1,t-1} \\ y_{2,t-1} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} A_{11,t}^2 & A_{12,t}^2 \\ A_{21,t}^2 & A_{22,t}^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y_{1,t-2} \\ y_{2,t-2} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} C_{11} & C_{12} \dots & C_{17} \\ C_{21} & C_{22} \dots & C_{27} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_{1,t} \\ \vdots \\ x_{7,t} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \varepsilon_{1,t} \\ \varepsilon_{2,t} \end{pmatrix} \quad (1.47)$$

$$\begin{pmatrix} y_{1,t} \\ y_{2,t} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \widehat{pib}_t \\ \widehat{k}_t \end{pmatrix}; \quad \begin{pmatrix} x_{1,t} \\ x_{2,t} \\ x_{3,t} \\ x_{4,t} \\ x_{5,t} \\ x_{6,t} \\ x_{7,t} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r_t^* \\ \widehat{pp}_t \\ t_i \\ \widehat{Pib}_t^* \\ dg_t \\ dh_t \\ dc_t \\ dm_t \end{pmatrix} \quad (1.48)$$

En este caso, las variables endógenas son la tasa de crecimiento del producto y del capital. En el caso de las variables exógenas se considera la tasa de interés internacional, cambios de precios del petróleo, términos de intercambio, crecimiento mundial, y las variables que dan cuenta de los shocks de los desastres.

### 1.4.6.1. Especificación del orden del modelo VAR

Para la selección de número de rezagos en la representación del VAR, se detalla a continuación los pasos, utilizados (para más información respecto al detalle del procedimiento realizado, revisar Anexos selección de modelo VAR).

- En primer lugar, testeamos la causalidad de Granger para evaluar si es que el pasado de una de las dos variables a estimar (la tasa de crecimiento del producto y la tasa de crecimiento del capital); aportan o no información para proyectar el futuro y presente de otra variable. En este caso, se evalúa causalidad bivariada de Granger. Llevando el procedimiento al modelo a estimar, lo primero que se realiza es crear matrices de rezagos de las variables de relevancia, es decir para la tasa de crecimiento del producto, que llamaremos  $y$ , y la tasa de crecimiento del capital,  $k$ , para ir realizando todas las estimaciones necesarias. Para justificar y crear las matrices de rezagos fue necesario utilizar el criterio de selección de modelos *Hannan-Quinn*, donde además se comprobó si es que los residuos del modelo coincidían con ser ruido blanco, utilizando el test  $Q$  de Ljung & Box<sup>24</sup>. Se comprueba si la variable  $y$  causa a  $k$  a la Granger y luego si la variable  $k$  causa en sentido de Granger a  $y$ . Obteniendo un  $p - value = 0,1060$  para el primer modelo, se concluye que no se rechaza la nula de que  $y$  precede estadísticamente a  $k$ , mientras que según el test de causalidad a la Granger, con un  $p$ -value muy cercano a 1, la tasa de crecimiento del capital,  $k$  no causa en sentido de Granger a  $y$ .
- En segundo lugar, para estimar el modelo VAR se utiliza, nuevamente, el criterio de información de *Hannan-Quinn* para elegir el modelo que mejor se ajuste a los datos. Luego se realiza un test de *LRT* para evaluar si es que los residuos son ruido blanco, donde se comparan distintos modelos  $VAR(x)$  contra el modelo  $VAR(0)$ , con el fin de tener buenos criterios para elección de rezagos óptimo del modelo VAR. Se necesita encontrar el número de rezagos,  $p$ , de  $y$  y de  $k$  que mejor se ajuste a las series. Para encontrar este valor se realizan estimaciones del modelo mediante OLS para distintas cantidades de rezagos. Una vez realizado el procedimiento se obtiene un  $VAR(1)$ , es decir  $p = 1$ . Con este modelo se hace la estimación con los  $(T - p)$  datos, donde  $T$  es el número de datos que tenemos en la base de datos, ya que no es necesario perder más observaciones más allá de la primera que se pierde por el modelo. Luego se calculan los residuos y se comprueba si es que los anteriores son ruido blanco en sentido vectorial mediante pruebas *LRT*. Para lo anterior se compara el modelo con  $p = 0$  con distintos valores de  $p$ , y vemos que efectivamente no incluir rezagos es la mejor opción para modelar los residuos. En otras palabras, queremos comprobar si con un rezago en nuestro modelo  $VAR$ , los residuos resultantes son ruidos blancos. Lamentablemente, al hacer esto rechazamos la nula para el primer residuo, por lo que nuestros residuos no son ruidos blancos en sentido vectorial. Entonces, se opta por la segunda mejor opción de HQC y se evalúa si es que los residuos son ruidos blancos en sentido vectorial.

Así, se trata con el siguiente valor con HQC más bajo, que es el  $p = 2$ . Una vez realizado lo anterior, se concluye que no se puede rechazar la nula de que un  $VAR(p)$  explica mejor los residuos que un  $VAR(0)$ . Sin embargo, como no se rechaza para todo el resto de  $p$  probados, se infiere que los residuos son ruidos blancos en sentido vectorial y se elige un  $VAR(2)$  para estimar nuestro modelo.

### 1.4.6.2. Criterios para selección de desastres

En el caso de los desastres, estas variables se construyen como variables dummy, donde toma cero 0, y el valor 1 en el caso de ocurrir el desastres. Para que sea considerado desastres se utilizan un criterios de clasificación más estrictos que las condiciones bajo las cuales se clasifican los eventos en las Base de Datos EM-DATA. Bajo este precepto, es necesario tomar en cuenta diferentes criterios para poder calificarlo como tal. Aquellos fueron los siguientes:

<sup>24</sup>La información respecto a los test utilizados en detalle se encuentra en Anexos.

- a. Criterio de ocurrencia: El primer criterio corresponde a verificar la ocurrencia de al menos un episodio en dicho año.

$$CO_{ij} = Desastre_{ij} > 0$$

En donde CO corresponde al “Criterio Ocurrencia” para el año “i” y el país “j”. Desastre corresponde a la variable que representa la frecuencia de un desastre para el año “i” del país “j”.

- b. Criterio según número de muertes: Se considera desastre cuando ha ocurrido el evento natural y además ha afectado a la población con un número crítico de muertes. Este se calcula como:

$$CM_{ij} = \frac{(\text{Número Muertes})_{ij}}{(\text{Población Total})_{ij}} > 0,00001$$

En donde CM es “Criterio de muertes” para el año “i” del país “j”.

- c. Criterio de personas afectadas: Se considera dentro de esta categoría a las personas que requieran asistencia inmediata durante una situación de emergencia. El indicador “afectado” a menudo se informa y es ampliamente utilizado por diferentes instituciones para transmitir el alcance, el impacto o la gravedad de un desastre en términos no espaciales. La ambigüedad en las definiciones y los diferentes criterios y métodos de estimación producen cifras muy diferentes, que rara vez son comparables.

Los informes sobre el terreno deben indicar el número de personas afectadas; si solo se informa el número de familias afectadas o casas dañadas, la cifra se multiplica por el tamaño medio de la familia de la zona afectada (x5 para los países en desarrollo, x3 para los países industrializados, según la clasificación de países del PNUD).

Por lo tanto será relevante el número de afectados cumpla con:

$$CA_{ij} = \frac{(\text{Número Afectados})_{ij}}{(\text{Población Total})_{ij}} > 0,005$$

En donde CA corresponde a “Criterio Afectados” para el año “i” del país “j”.

- d. Criterio de daños totales: Se considera que es relevante estudiar el evento natural cuando el daño provocado ha sobrepasado un nivel crítico cuando se cumple que:

$$CD_{ij} = \frac{(\text{Daños totales del desastre})_{ij}}{(\text{PIB Total})_{ij}} > 0,001$$

En donde CD corresponde a “Criterio Daños” para el año “i” del país “j”.

Dichos criterios forman el siguiente criterio general:

$$D_{uij} = \begin{cases} 1 & \text{si se cumple } CO_{ij} \text{ y se cumple } CM_{ij} \text{ ó } CA_{ij} \text{ ó } CD_{ij} \\ 0 & \text{en otros casos} \end{cases}$$

En donde  $D_{uij}$  corresponde a los diferentes desastres estudiados {Geológico, Hidrológico, Climatológico, Meteorológico} para el año “i” del país “j”. La siguiente tabla muestra el número total de desastres que cumplieron estas condiciones además de las estadística descriptiva de las variables PIB, Stock de Capital y Términos de Intercambio para 9 países seleccionados:



Tabla 1.9: Estadística descriptiva países BVAR

País	Total Desastres				Promedio Crecimiento		
	Geológicos	Hidrológicos	Meteorológicos	Climato- lógicos	PIB (%)	Stock de Capital (%)	Términos de Intercambio (%)
Australia	7	11	7	2	3,18	3,40	-0,24
Brazil	17	17	26	1	4,37	6,00	-0,32
Chile	9	23	41	10	3,66	5,35	-1,66
China	2	20	26	17	5,97	6,88	0,10
Indonesia	1	20	5	3	6,58	8,12	2,66
Japan	13	17	17	8	2,51	3,72	-0,68
Mexico	0	14	14	2	3,43	4,43	0,20
United States	10	13	13	1	2,79	2,39	-0,40

## 1.5. Resultados

En esta sección se presenta los resultados del modelo estimado para un conjunto de países, agrupados de forma par y según tipo de desastres. En particular, se muestran las trayectorias de ajuste del sistema tanto para la tasa de crecimiento per capita del producto y del capital, y sus efectos dinámicos. El foco de análisis se centra en los efectos dinámicos y la trayectoria de ajuste una vez ocurrido el desastre, y cómo reaccionan los sistemas a estos shocks.

En términos agregados es posible señalar lo siguiente:

- Se logran representaciones parsimoniosas de las funciones de impulso respuesta, una vez ocurrido el desastre, las que difieren según tipo de desastres. También, se reporta el intervalo de confianza para la función impulso respuesta en la tasas de crecimiento per cápita al 60 %.
- Los sistemas BVAR son sistemas dinámicamente estables, por tanto, shocks transitorios tienen efectos transitorios y no permanentes. Se evidencia diferentes número de años en que el shock se disipa dentro del sistema, en promedio sobre 5 años para los distinto tipo de desastres.
- Lo anterior, dentro de la literatura de desastres naturales es relevante, ya que el corto plazo se considera hasta 5 años, posterior a esto se consideran efectos de largo plazo. De esta forma, los desastres si tendrían efectos de largo plazo, tanto positivos como negativos, pero moderados. Lo anterior, es consiste con lo observado en los trabajos de Jeroen K. Kay V.(2014), Loayza et al 2012. Donde el punto de discusión en este caso es un tema empírico.
- En cuanto a las diferentes respuestas apreciadas por las economías bajo estudio, el hecho que la tasa de crecimiento per cápita converge a la tasa de crecimiento de largo plazo es algo que se cuestiona en la literatura Noy (2009), ya que depende de las capacidades institucionales, del tipo de desastres y de las imperfecciones de mercados, tal como por ejemplo, los mercados financieros (López 2009).
- Respecto de si los efectos de largo pueden más que compensar los efectos de corto plazo es un ámbito de difícil medición. Existen múltiples factores, y elementos que afectan la dinámica en la trayectoria del sistema, dentro de las cuales podemos mencionar tiempo transcurrido, la tasa de descuento, shocks diferenciados, así como también, existencia de registros económicos respecto a los procesos que pueden iniciarse al interior de los sectores productivos.
- Finalmente, se debe considerar que las distintas trayectorias estimadas, capturan en términos de magnitud un efecto cuantitativo pequeño, lo cual se encuentra acorde a lo encontrado en la literatura especializada (ver Raddatz 2007-2009, Noy 2009). Sin embargo el signo y su cuantía relativa permita ilustrar o dar contenido a procesos al interior de los sistemas.

Tabla 1.10: Efectos sobre crecimiento per cápita de Largo Plazo

País	Geológicos	Hidrológicos	Climatológicos	Metereológicos
Australia $\hat{y}_t$	-	+	+	--
Australia $\hat{k}_t$	+	-	-	-
Brasil $\hat{y}_t$	++	-	--	+
Brasil $\hat{k}_t$	+	--	-	-
EEUU $\hat{y}_t$	++	--	++	--
EEUU $\hat{k}_t$	+	-	+	-
México $\hat{y}_t$	--	+	+	-
México $\hat{k}_t$	-	++	-	+
Chile $\hat{y}_t$	++	--	+	--
Chile $\hat{k}_t$	+	-	-	-
Japón $\hat{y}_t$	--	+	--	-
Japón $\hat{k}_t$	-	-	-	+
Indonesia $\hat{y}_t$	+	++	+	-
Indonesia $\hat{k}_t$	-	+	-	-
China $\hat{y}_t$	-	+	--	+
China $\hat{k}_t$	+	-	-	+

En cuanto a los efectos en el largo plazo, entendido este por efectos por sobre 5 años o más, se aprecia que las tasas de crecimiento per cápita del producto y del capital, presentan efecto en diversas direcciones:

- Un efecto similar en la dirección positivo o negativo, pero de magnitudes diferenciadas. En general, el efecto sobre la tasa de crecimiento per cápita es mayor.
- Un efecto en direcciones opuestas, pero de mayor magnitud relativa para la tasa de crecimiento per cápita del producto.

La existencia de efectos diferenciados, pone foco en la relación existente entre acumulación de activos tangibles e intangibles, que puede darse al interior de las economías una vez ocurrido el desastre (López 2009). Y que es coherente con la mirada sobre las diferentes hipótesis existente en el largo plazo respecto de los efectos.

- **Australia-Brasil.** Un comportamiento diferente para cada evento se observa en ambos países. Mientras que para aquellos de origen geológicos y meteorológicos afectan de manera negativa las tasas de crecimiento del PIB para Australia. Ocurre lo contrario para Brasil, los efectos tienden a ser positivos luego del shocks. Al contrario, para aquellos desastres hidrológicos y climatológicos, los efectos son negativos para Brasil pero positivos para Australia.
- **Estados Unidos-México.** Ambos presentan diferencias en las respuestas ante los shocks provocados por los desastres naturales. Mientras EEUU responde con aumento de las tasas de crecimiento de PIB y stock de capital, en México esta respuesta es negativa para los desastres geológicos. El caso contrario para ambos países se observa para los desastres hidrológicos: mientras que EEUU se enfrenta a una caída en ambas tasas, México experimenta un aumento en ellas, con los efectos sobre capital y trabajo ya descritos. En torno a los desastres climatológicos, se observa que ambas tasas son positivas para el caso de EEUU, mientras que para México lo es solamente para la tasa de crecimiento del PIB, pues impacta negativamente en la tasa de crecimiento del stock de capital. Algo similar ocurre para los desastres meteorológicos, mientras que es claro que para EEUU ambas tasas caen, en México cae la tasa de crecimiento del PIB y aumenta la tasa de crecimiento del stock de capital.
- **Chile-Japón.** Comparativamente, en los desastres geológicos, Chile presenta respuestas positivas al shock en ambas tasas analizadas mientras que para Japón ambas tasas son negativas. En el caso de los eventos hidrológicos, Japón muestra un aumento en la tasa de crecimiento

del PIB y una disminución de la tasa de crecimiento del stock de capital, mientras que Chile presenta una disminución en ambas tasas, sobre todo más la de crecimiento que la segunda. El caso de los desastres climáticos es muy parecido al de los geológicos en el caso de Japón. Por otro lado, en el caso chileno, los costos ocasionados por este tipo de desastre sugieren que son intensivos en trabajo, dado que la tasa de crecimiento del PIB aumenta. Finalmente, para el caso de los eventos meteorológicos, la respuesta al shock es negativa para ambas tasas en el caso chileno, mientras que para el caso japonés es negativo solo para la tasa de crecimiento del PIB, pero positiva para el stock de capital, mostrando que la caída del factor trabajo es mucho más alta.

- **Indonesia-China.** Para el caso de estos países la respuesta frente a desastres geológicos, se alterna en signos para la tasa de crecimiento per cápita del producto y del capital. En el caso de los desastres hidrológicos, las tasas de crecimiento responden positivamente, no así para China donde se aprecia un efecto negativo sobre la tasa de crecimiento del capital. Con respecto a los desastres climáticos, tienden a presentar efectos similares. La mayor diferencia se aprecia frente a desastres meteorológicos donde Indonesia experimenta shocks iniciales negativos, a diferencia de China que ambas tasa de crecimiento presentan efectos positivos.

### 1.5.1. Australia-Brasil

**Australia.** Cada año se ve enfrentada a diversas manifestaciones naturales, sus zonas tropicales son conocidas por sus frecuentes ciclones, inundaciones, tormentas e incendios forestales, de los cuales se puede mencionar, a modo de ejemplo, que en el año 1999 fue documentada una tormenta de granizo en la ciudad de Sidney, considerada como uno de los desastres más costosos en la historia de seguros de dicho país con sumas cercanas a los 1100 millones de dólares. En términos humanos hubo 50 heridos y un muerto por el impacto de un rayo. 10 años después, en el año 2009 una tormenta de arena y polvo afectaron la región, originada por bajas presiones en el interior árido del país las cuales trajo consigo alteraciones a la temperatura y luminosidad, afectando los cultivos y la ganadería. Ese mismo año una ola de calor sacudió a la región, ocasionando 374 muertes y más de 2000 personas hospitalizadas por las extremas temperaturas, además de propiciar las condiciones para los incendios forestales cobrando la vida de 173 personas. Evidenciando por tanto, que el sistema económico se ve enfrentado a eventos inesperados, y tensionando al sistema en términos de su capacidad de respuesta.

Respecto de las condiciones bajo estudio, Australia cuenta con un total de 65 desastres naturales que cumplen las condiciones para ser analizados, siendo los hidrológicos y climatológicos aquellos que más han afectado al país como se había mencionado en el párrafo precedente.

**Brasil** es un país que sufre desastres propios de las zonas tropicales, el 85 % de estos son prácticamente inundaciones bruscas, deslizamientos de tierra y sequías prolongadas, lo que ocasiona costos importantes todos los años tanto monetarios como humanos, pues en la última década han muerto al rededor de 10.000 personas debido a estos eventos. Entre ellos se puede contar el huracán Catarina que azotó las costas de Brasil destruyendo 1500 casas y dañando otras 40.000 aparte de los daños ocasionados en la Agricultura, costos cercanos a los 475 millones de dólares. En el año 2011 hubo 916 muertes que fueron ocasionadas por inundaciones y deslizamientos que afectaron el estado de Río de Janeiro, dejando decenas de desaparecidos. Brasil presenta en total 29 desastres naturales que cumplen las condiciones contempladas para el análisis. En contraste con Australia, Brasil no muestra ese trade off observado anteriormente.

La información sobre los efectos a corto y largo plazo se pueden resumir en la figura 1.7. Para el caso de la inversión en Australia, se observa que los efectos son menores y que vuelven a su nivel original de forma suave. En el caso de Brasil los efectos son más duraderos y la amplitud es visiblemente mayor.

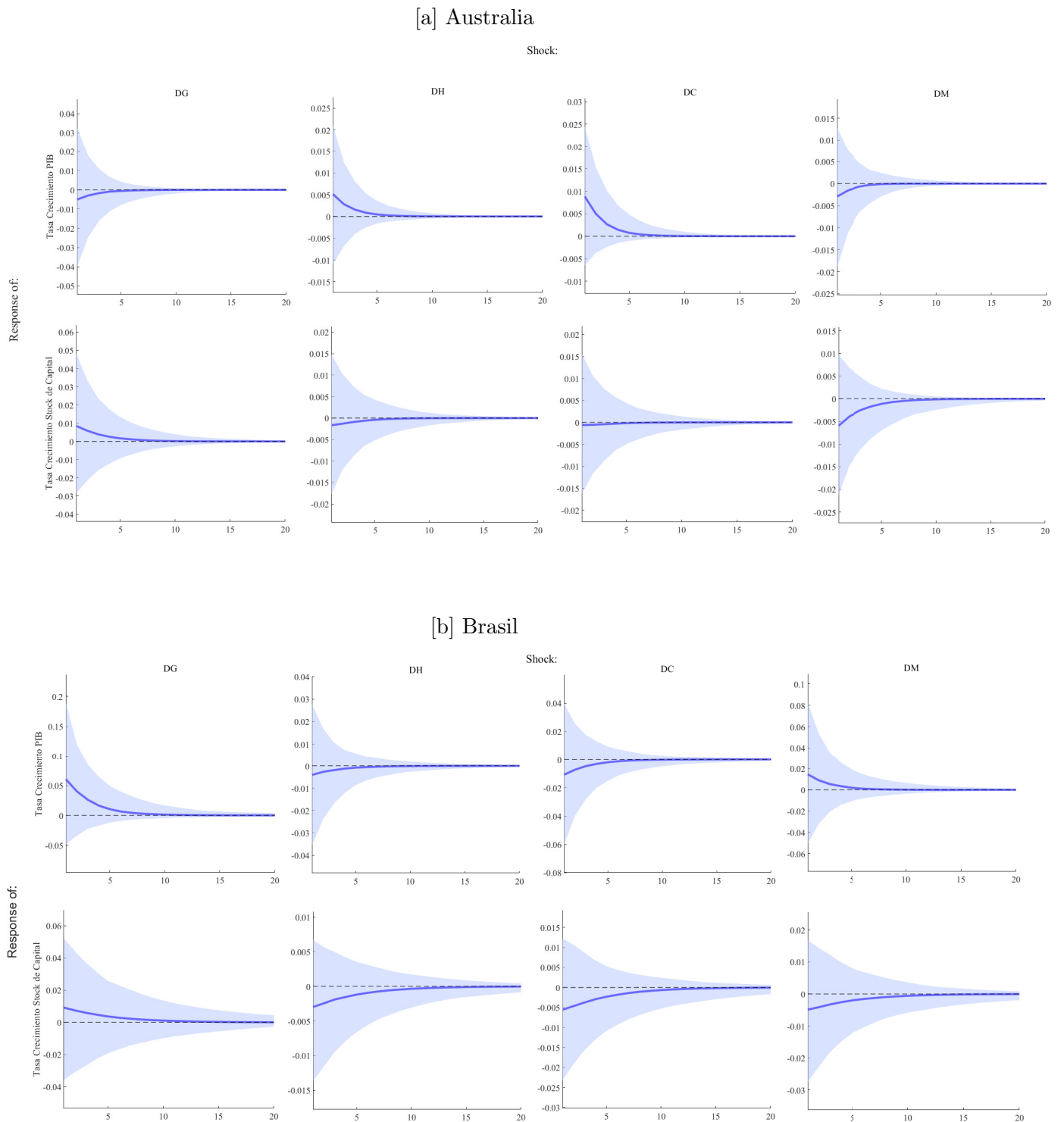


Figura 1.7: Funciones impulso respuesta Australia-Brasil

1.5.1.1. Australia

Los efectos para los diferentes desastres naturales para Australia se pueden resumir a continuación:

- Desastres geológicos. Para Australia, se tiene que los desastres geológicos presentan un periodo de afectación de 8 años en la tasa de crecimiento del PIB con un impacto acumulado de -1.3% mientras que para la tasa de crecimiento del stocks de capital presenta un periodo de resonancia de 11 años con un efecto acumulado de 2.3%.
- Desastres hidrológicos y climatológicos. El modelo muestra como resultado para Australia que el periodo de resonancia, es decir, el tiempo que demora la respuesta al shocks en volver a cero, es de 13 años para la tasa de crecimiento del PIB y 8 años para aquella que mide cambios

en la tasa de crecimiento de capital, con efectos acumulados al corto plazo de 1.1 % y -0.5 % respectivamente. En el caso de los desastres climatológicos para Australia se cuenta con un periodo de resonancia de 12 años para la tasa de crecimiento del PIB y 6 años para la tasa de crecimiento del stock de capital con efectos al corto plazo de 1.9 % y -0.2 % respectivamente.

- Desastres meteorológicos. En el caso de los eventos meteorológicos para Australia, su periodo de resonancia es de 5 años para la tasa de crecimiento del PIB y 11 años para la tasa de crecimiento del stocks de capital con efectos negativos al corto plazo de -0.6 % y -1.5 % para cada tasa respectivamente.

Tabla 1.11: Efectos sobre tasa de crec. PIB para Australia

	Tipo de desastres			
	Geológicos	Hidrológicos	Climatológicos	Meteorológicos
Tiempo en disiparse (años)	8	13	12	5
Efecto corto plazo (acumulado)	-1,126 %	1,079 %	1,864 %	-0,555 %
Efecto mediano plazo (acumulado)	-1,205 %	1,133 %	1,952 %	-0,561 %
Efecto largo plazo (acumulado)	-1,213 %	1,136 %	1,957 %	-0,560 %
Efecto Promedio	-0,061 %	0,057 %	0,098 %	-0,028 %
Desviación Estándar	0,129 %	0,128 %	0,222 %	0,072 %

Fuente: Elaborada en base a resultados de estimaciones

Tabla 1.12: Efectos sobre tasa de crec. capital para Australia

	Tipo de desastres			
	Geológicos	Hidrológicos	Climatológicos	Meteorológicos
Tiempo en disiparse (años)	11	8	6	11
Efecto corto plazo (acumulado)	2,253 %	-0,495 %	-0,206 %	-1,530 %
Efecto mediano plazo (acumulado)	2,524 %	-0,555 %	-0,231 %	-1,717 %
Efecto largo plazo (acumulado)	2,557 %	-0,561 %	-0,234 %	-1,742 %
Efecto Promedio	0,128 %	-0,028 %	-0,012 %	-0,087 %
Desviación Estándar	0,231 %	0,049 %	0,019 %	0,158 %

Fuente: Elaborada en base a resultados de estimaciones

### 1.5.1.2. Brasil

Para el caso de Brasil, los principales puntos sobre el efecto de los desastres naturales se puede resumir en los siguientes puntos:

- Desastres geológicos. En contraste, Brasil presenta 1 evento el cual cumple las condiciones de estudio propuesta, el cual tiene un efecto acumulado al corto plazo del 15 % en la tasa de crecimiento del PIB y al largo plazo un efecto del 17 %. Este efecto en el crecimiento sugiere que parte de ese aumento no va directamente relacionado en el aumento de la productividad, sino que va dedicado a costear los daños provocados por el evento.
- Desastres hidrológicos y climatológicos: Para el caso de Brasil, se muestran valores parecidos en el tiempo que demora el efecto en disiparse (11 y 13 años respectivamente para crecimiento del PIB) difieren para la tasa de crecimiento del capital del stock de capital, repercutiendo de forma negativa en esta variable por al menos 15 y 18 años respectivamente, cifras mucho más altas que en el análisis anterior.
- Desastres meteorológicos. En el caso de Brasil el efecto en la caída del stock de capital tarda en disiparse 17 años, con efectos al corto plazo de -1.7 % y al largo plazo de -2.3 %, valores muy por encima de los reportados por Australia. El aumento de la tasa de crecimiento del PIB indica que para este caso habría una sustitución de trabajo por capital, dedicando el esfuerzo a la recuperación de los costos originados por este tipo de eventos

Tanto para los desastres geológicos, hidrológicos y climatológicos se observa un trade-off entre efectos para tasas de crecimiento del PIB y del stock de capital. Para el primero los efectos sobre la tasa de crecimiento del PIB a corto plazo tiene un efecto acumulado negativo y para el stock de capital este pasa a ser positivo. Para los otros dos el efecto pasa de positivo para el acumulado de corto plazo del PIB a negativo en el corto plazo del crecimiento para el stock de capital. Los siguientes cuadros muestran los datos del análisis descrito:

Tabla 1.13: Efectos sobre tasa de crec. PIB para Brasil

	Tipo de desastres y efectos sobre tasa de crec. Pib			
	Geológicos	Hidrológicos	Climatológicos	Meteorológicos
Tiempo en disiparse (años)	17	11	13	9
Efecto corto plazo (acumulado)	15,387 %	-1,077 %	-2,822 %	3,455 %
Efecto mediano plazo (acumulado)	17,074 %	-1,228 %	-3,165 %	3,726 %
Efecto largo plazo (acumulado)	17,359 %	-1,258 %	-3,231 %	3,753 %
Efecto Promedio	0,868 %	-0,063 %	-0,162 %	0,188 %
Desviación Estándar	1,611 %	0,109 %	0,290 %	0,379 %

Fuente: Elaborada en base a resultados de estimaciones

Tabla 1.14: Efectos sobre tasa de crec. capital para Brasil

	Tipo de desastres			
	Geológicos	Hidrológicos	Climatológicos	Meteorológicos
Tiempo en disiparse (años)	19	15	18	17
Efecto corto plazo (acumulado)	3,090 %	-1,001 %	-1,925 %	-1,686 %
Efecto mediano plazo (acumulado)	4,033 %	-1,304 %	-2,509 %	-2,202 %
Efecto largo plazo (acumulado)	4,374 %	-1,416 %	-2,717 %	-2,378 %
Efecto Promedio	0,219 %	-0,071 %	-0,136 %	-0,119 %
Desviación Estándar	0,267 %	0,087 %	0,166 %	0,146 %

Fuente: Elaborada en base a resultados de estimaciones

Para el caso de Australia, a diferencia de los desastres anteriores, los desastres meteorológicos presentan un impacto negativo para ambas variables consideradas (tasa de crecimiento PIB y stock de capital). Los resultados sugieren que existe cierto control de daños para las variables de desastre geológicos, hidrológicos y climatológicos, donde se sustituye la disminución de las tasas de crecimiento de una variable con el aumento de otra, logrando de esa forma enfrentar los costos.

### 1.5.2. Estados Unidos y México

Estados Unidos es considerado el cuarto territorio más grande del mundo, el cual se encuentra en un área que ha estado expuesta a diversos desastres naturales de diferente naturaleza. En 1980 la población soportó temperaturas que variaron de 38°C durante el día a 33°C durante la noche, generando pérdidas humanas de 1700 muertes y daños económicos de 48 billones de dólares afectando principalmente a la agricultura. En 2005 el huracán Katrina azotó al país, siendo uno de los más mortíferos y perniciosos en la historia del país con pérdidas cercanas a 125 billones de dólares y la muerte de 1833 personas. Otro evento de la misma naturaleza fue el huracán Harvey en 2017.

Estados Unidos reporta un total de 83 desastres naturales que cumplen las condiciones para ser estudiados, un número bastante alto pero que es de esperar dado que es el cuarto país más grande del mundo y con estados en donde los tornados o los huracanes tienden a ser frecuentes. Los eventos geológicos responden ante shocks aumentando tanto la tasa de crecimiento del PIB como la del capital, al corto plazo tiene efectos del 2.5 % y 0.2 % respectivamente y al largo plazo un efecto acumulado de un 2.7 % y un 0.27 % con un efecto que demora 10 años en disiparse. Las mismas tendencias de shock se observan para los tipo climatológico, donde ambas tasas de crecimiento analizadas responden positivamente al shock. En este caso la respuesta a la primera variable tiene una duración de 8 años y 13 años para la segunda.

Los resultados de las estimaciones se resumen en el siguiente gráfico:

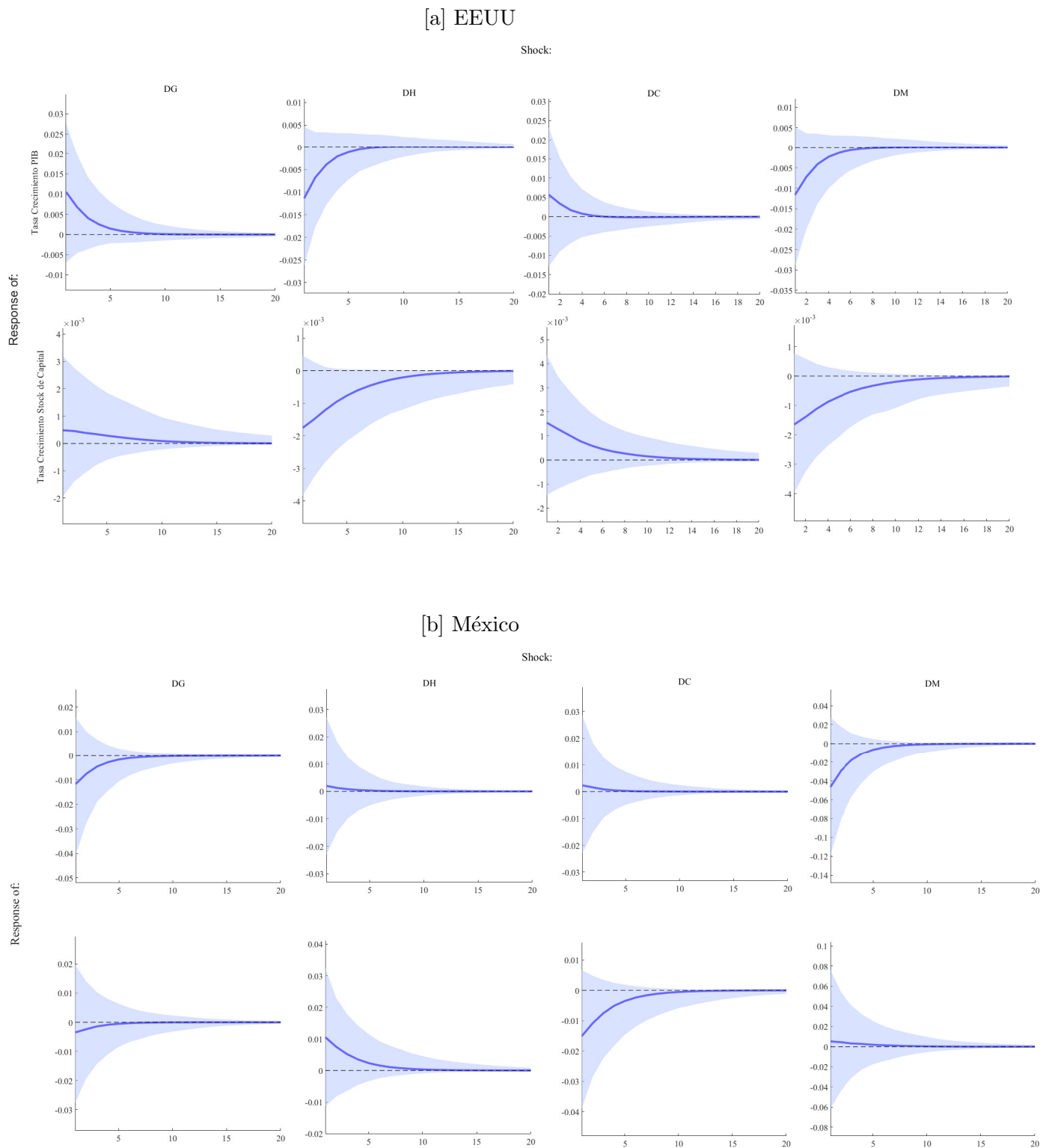


Figura 1.8: Funciones impulso respuesta EEUU-México

México es una de las naciones con más pérdidas económicas por estos fenómenos desde 1998 según la Organización de las Naciones Unidas (ONU). El territorio es frecuentemente afectado por desastres de tipo geológico y climatológico, de los cuales destacan: el terremoto de 1985, el cual tuvo una intensidad de 8.1 grados Richter cuyo epicentro se encontraba a 15 kilómetros de profundidad en el Océano Pacífico en donde se debate aún el número de muertos con cifras cercanas a los 10.000. En 2007 los estados de Tabasco y Chiapas se enfrentaron a inundaciones que afectaron a 150.000 personas, el agua alcanzó en algunos sectores hasta los 3 metros, hubo lugares donde los equipos de rescate les fue imposible acceder. En 2017 un terremoto afectó la región de Chiapas con un resultado de 102 personas muertas y 900 heridas. Otro terremoto afectó la región de Puebla 12 días después, en donde murieron 370 personas y hubo 7.289 heridos.

### 1.5.2.1. Estados Unidos

Los principales efectos sobre los desastres naturales para Estados Unidos se presentan a continuación:

- Desastres geológicos: El tiempo de resonancia para un desastre geológico es de 10 tanto para la tasa de crecimiento del PIB y para la tasa de crecimiento del capital. Los efectos promedios son positivos para ambas tasas, por lo que la evidencia sugiere que existe otro factor afectado, el cual podría ser el trabajo.
- Desastres hidrológicos y meteorológicos: Para el caso de EEUU, con respecto a los desastres de tipo hidrológico y meteorológico, estos tienen un comportamiento diferente, pues el shock golpea negativamente a ambas tasas analizadas, con un efecto de corto plazo acumulado de -2.5 % en el crecimiento del PIB y un -0.62 % para el crecimiento del stock de capital en el caso de los desastres hidrológicos y un -2.6 % y un -0.6 % respectivamente para el caso de los meteorológicos. Cada efecto tiene una duración de 7 y 13 años para cada variable analizada en el caso de los desastres hidrológicos y 8 y 13 años respectivamente para el caso de aquellos meteorológicos.
- Desastres climatológicos: En el caso de los eventos climatológicos, estos presentan efectos diferidos. Mientras que para los efectos en la tasa de crecimiento del PIB son positivos, con una resonancia por 7 años cuyo efecto al corto plazo llega a un 0.5 %, la tasa de crecimiento de stock de capital tiene un golpe negativo, una resonancia de 15 años con efectos al corto plazo de un -4.2 %. Por otro lado, los desastres meteorológicos tienen un efecto negativo para la tasa de crecimiento del PIB, con una caída al corto plazo de un -11.4 % y una resonancia que dura 14 años. Por otro lado el shocks es positivo para la tasa de crecimiento del stock de capital con una resonancia del mismo intervalo de tiempo.

Los siguientes cuadros muestran los resultados descritos anteriormente:

Tabla 1.15: Efectos sobre tasa de crec. del PIB para EEUU

	Tipo de desastres			
	Geológicos	Hidrológicos	Climatológicos	Meteorológicos
Tiempo en disiparse (años)	10	7	5	8
Efecto corto plazo (acumulado)	2,532 %	-2,523 %	1,184 %	-2,633 %
Efecto mediano plazo (acumulado)	2,731 %	-2,569 %	1,131 %	-2,727 %
Efecto largo plazo (acumulado)	2,739 %	-2,510 %	1,076 %	-2,683 %
Efecto Promedio	0,137 %	-0,125 %	0,054 %	-0,134 %
Desviación Estándar	0,277 %	0,294 %	0,149 %	0,303 %

Fuente: Elaborada en base a resultados de estimaciones

Tabla 1.16: Efectos sobre tasa de crec. capital para EEUU

	Tipo de desastres			
	Geológicos	Hidrológicos	Climatológicos	Meteorológicos
Tiempo en disiparse (años)	10	13	12	13
Efecto corto plazo (acumulado)	0,195 %	-0,621 %	0,525 %	-0,572 %
Efecto mediano plazo (acumulado)	0,273 %	-0,813 %	0,668 %	-0,744 %
Efecto largo plazo (acumulado)	0,300 %	-0,877 %	0,710 %	-0,802 %
Efecto Promedio	0,015 %	-0,044 %	0,035 %	-0,040 %
Desviación Estándar	0,016 %	0,053 %	0,046 %	0,049 %

Fuente: Elaborada en base a resultados de estimaciones

### 1.5.2.2. México

Los principales efectos sobre los desastres naturales para Estados Unidos se presentan a continuación:

- Desastres Geológicos: A diferencia de EEUU, los eventos geológicos presentan efectos negativos para ambas tasas de crecimiento estudiadas, demorando en disiparse 11 años para aquella que



corresponde al capital y 8 años al stock de capital. Al corto plazo presentan una caída de -2.8 % y un -0.9 % (tasa de crecimiento de PIB y stock de capital respectivamente).

- Desastres Hidrológicos: Otra diferencia corresponde al efecto que tienen los desastres hidrológicos, los que al contrario del caso anterior estudiado, muestran que el shock golpea de manera positiva a ambas tasas, llegando al 0.5 % y 2.9 % al corto plazo y con un efecto que prevalece por 7 y 13 años (tasa de crecimiento de PIB y stock de capital respectivamente).
- Desastres Climatológicos: Estos tipos de desastres afectan mucho más a la tasa de crecimiento del capital. No solo su resonancia es mayor, sino que también son negativos a diferencia de la tasa de crecimiento del PIB, donde es positiva y su tiempo de disipación es de 7 años, en vez de los 15 años,
- Desastres Meteorológicos: Este tipo de desastres tienen efectos resonantes de 14 años, con efectos más profundos para la tasa de crecimiento del PIB el cual cae hasta un 12 %. Para el caso de la tasa de crecimiento del capital, los efectos son mucho menores, con un efecto promedio positivo y de un 0,1 %.

Las siguientes tablas muestran los resultados descritos anteriormente:

Tabla 1.17: Efectos sobre tasa de crec. del PIB para México

	Tipo de desastres			
	Geológicos	Hidrológicos	Climatológicos	Meteorológicos
Tiempo en disiparse (años)	11	7	7	14
Efecto corto plazo (acumulado)	-2,790 %	0,489 %	0,545 %	-11,075 %
Efecto mediano plazo (acumulado)	-3,020 %	0,532 %	0,583 %	-12,039 %
Efecto largo plazo (acumulado)	-3,041 %	0,535 %	0,588 %	-12,149 %
Efecto Promedio	-0,152 %	0,027 %	0,029 %	-0,607 %
Desviación Estándar	0,305 %	0,053 %	0,061 %	1,208 %

Fuente: Elaborada en base a resultados de estimaciones

Tabla 1.18: Efectos sobre tasa de crec. capital para México

	Tipo de desastres			
	Geológicos	Hidrológicos	Climatológicos	Meteorológicos
Tiempo en disiparse (años)	8	13	15	14
Efecto corto plazo (acumulado)	-0,866 %	2,912 %	-4,217 %	1,754 %
Efecto mediano plazo (acumulado)	-0,930 %	3,330 %	-4,868 %	2,169 %
Efecto largo plazo (acumulado)	-0,934 %	3,398 %	-4,986 %	2,251 %
Efecto Promedio	-0,047 %	0,170 %	-0,249 %	0,113 %
Desviación Estándar	0,093 %	0,290 %	0,416 %	0,158 %

Fuente: Elaborada en base a resultados de estimaciones

En relación a los países analizados en esta sección, ambos presentan diferencias en las respuestas ante los shocks provocados por los desastres naturales. Mientras EEUU responde con aumento de las tasas de crecimiento de PIB y stock de capital, en México esta respuesta es negativa. En el caso de México, estos eventos destruyen tanto capital como trabajo. El caso contrario para ambos países se observa para los desastres hidrológicos, mientras que es EEUU quien se enfrenta a una caída en ambas tasas, México experimenta un aumento en ellas, con los efectos sobre capital y trabajo ya descritos.

En torno a los desastres climatológicos, se observa que ambas tasas son positivas para el caso de EEUU, mientras que para México lo es solamente para la tasa de crecimiento del PIB, pues impacta negativamente en la tasa de crecimiento del stock de capital, lo que sugiere que los daños provocados por este evento repercuten demandando una mayor parte del factor trabajo. Algo similar ocurre para los desastres meteorológicos, mientras que es claro que para EEUU ambas tasas caen, por lo que, como se ha mencionado anteriormente, cae la demanda tanto de capital y trabajo, en

México cae la tasa de crecimiento del PIB y aumenta la tasa de crecimiento del stock de capital, lo que sugiere que se ha trasladado los requerimientos del factor trabajo, reemplazándolo por demanda de capital.

### 1.5.3. Chile y Japón

Chile posee una diversidad de climas debido a la forma de su territorio, por eso que se pueden encontrar tanto al desierto más árido del mundo en el norte como enormes reservas de agua en forma de glaciación en el sur, lo que conlleva que la diversidad de desastres naturales que puede experimentar sea también muy variada como sequías, aluviones, inundaciones, erupciones volcánicas y terremotos entre otros. Algunos ejemplos corresponde al aluvión ocurrido en la región de Antofagasta, zona norte del país, en 1991 que resultó con la muerte de 91 personas.

Otro ejemplo es el terremoto de Santiago en 1985 que dejó un saldo de 177 muertos y el más reciente, el terremoto del 2010, cuya intensidad fue de 8.8 grados Richter y con una duración de casi 3 minutos, el cual generó un tsunami que terminó con la vida de más de 500 personas. Chile es un país que se encuentra en el cinturón de fuego, una región compuesta por una cadena de volcanes, los cuales impactan en la calidad del agua, suelo, aire y en los costos económicos, ejemplos de estos corresponden a la erupción del volcán Chaitén en 2008, el volcán Puyehue en 2011 y el volcán Calbuco en 2015.

Japón, al igual que Chile, se encuentra inserto en el llamado cinturón de fuego, por lo que los eventos geológicos han causado estragos en la región al igual que lo han hecho otros tipos de desastres tales como tsunamis, inundaciones, tifones, terremotos, ciclones entre otros. El ejemplo más reciente es el terremoto de 2011 el cual provocó casi 16.000 muertes y 6000 heridos, originando un consecuente tsunami que creó olas de hasta 40.5 metros de altura.

El siguiente gráfico muestra los resultados de las estimaciones realizadas:

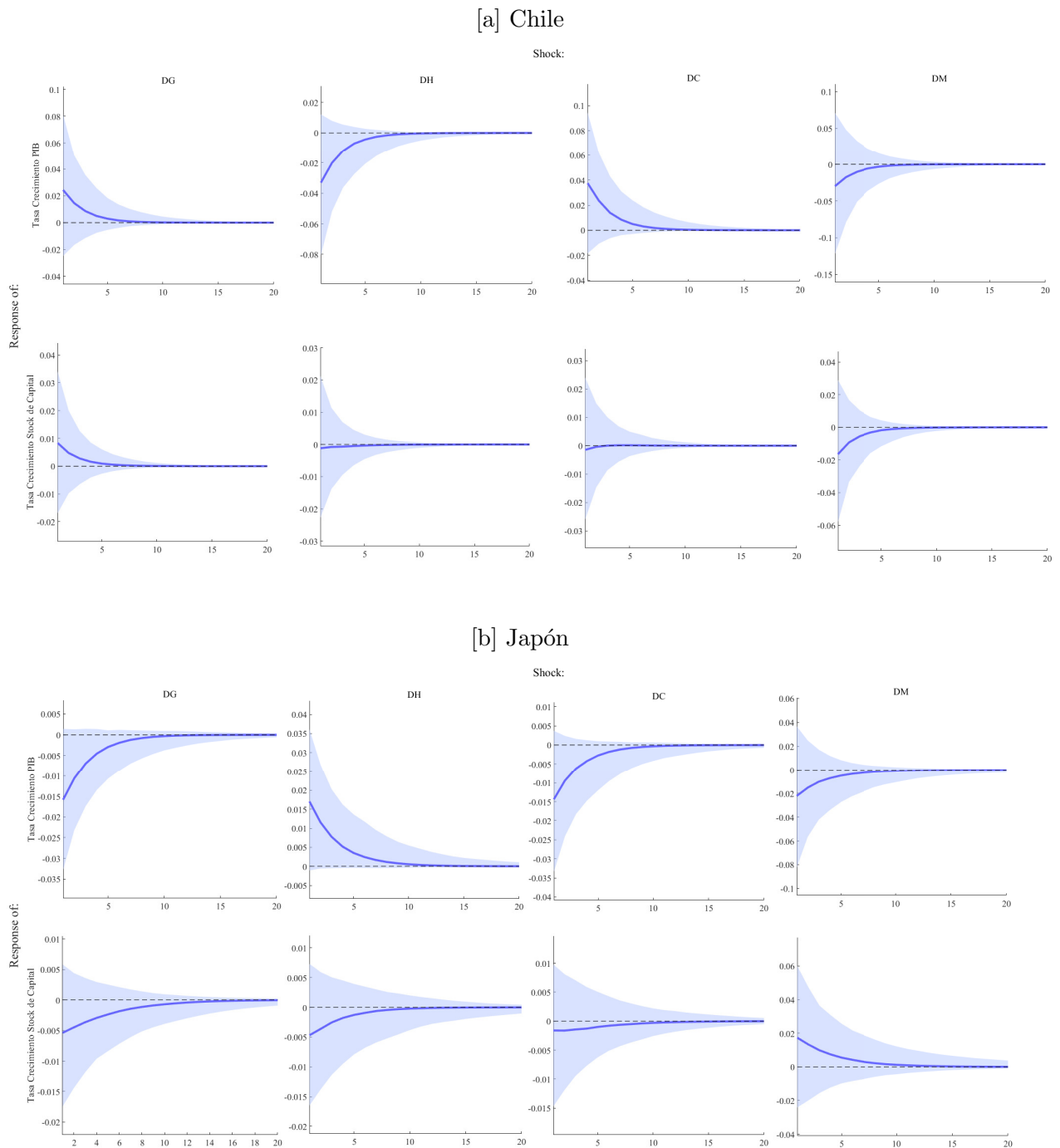


Figura 1.9: Funciones impulso respuesta Chile-Japón

### 1.5.3.1. Chile

Los principales efectos sobre los desastres naturales para Chile se presentan a continuación:

- Desastres geológicos. Chile posee un total de 27 desastres en el periodo estudiado que cumplen las condiciones para ser estudiados. Este tipo de desastres en Chile tiene un impacto positivo tanto para la tasa de crecimiento de PIB como la de capital, con efectos al corto plazo de un 5.5% que tiene una resonancia de 11 años en el primer caso y un 1.8% con una resonancia de 9 años en el segundo.
- Desastres hidrológicos y meteorológicos. Tanto los eventos de tipo hidrológicos como meteorológicos tienen efectos negativos en ambas tasas de crecimiento analizadas. Para el caso del PIB la caída es de un -7.6% al corto plazo con una resonancia de 12 años para los eventos hidrológicos y una caída de un -0.3% con una resonancia de 8 años para el stock de capital. Por su parte, los eventos meteorológicos tienen caídas de un -6.7% en el caso del PIB y un

-3.6 % para el stock de capital, con una resonancia de 11 y 10 años respectivamente.

- Desastres climatológicos. Por otra parte, los evento climatológicos y sus shocks tienen respuestas disonantes a los casos anteriores, mientras que aumenta la tasa de crecimiento del PIB en un 8.8 % con una resonancia de 13 años. Por otro lado el efecto sobre la tasa de crecimiento del stock de capital tiene una resonancia de 2 años llegando un 0.148 % al corto plazo.

Tabla 1.19: Efectos sobre tasa de crec. del PIB para Chile

	Tipo de desastres			
	Geológicos	Hidrológicos	Climatológicos	Meteorológicos
Tiempo en disiparse (años)	11	12	13	11
Efecto corto plazo (acumulado)	5,549 %	-7,642 %	8,843 %	-6,679 %
Efecto mediano plazo (acumulado)	5,910 %	-8,228 %	9,523 %	-7,081 %
Efecto largo plazo (acumulado)	5,934 %	-8,279 %	9,581 %	-7,101 %
Efecto Promedio	0,297 %	-0,414 %	0,479 %	-0,355 %
Desviación Estándar	0,624 %	0,850 %	0,976 %	0,761 %

Fuente: Elaborada en base a resultados de estimaciones

Tabla 1.20: Efectos sobre tasa de crec. capital para Chile

	Tipo de desastres			
	Geológicos	Hidrológicos	Climatológicos	Meteorológicos
Tiempo en disiparse (años)	9	8	2	10
Efecto corto plazo (acumulado)	1,839 %	-0,344 %	-0,148 %	-3,602 %
Efecto mediano plazo (acumulado)	1,965 %	-0,401 %	-0,116 %	-3,837 %
Efecto largo plazo (acumulado)	1,974 %	-0,407 %	-0,112 %	-3,855 %
Efecto Promedio	0,099 %	-0,020 %	-0,006 %	-0,193 %
Desviación Estándar	0,211 %	0,033 %	0,035 %	0,414 %

Fuente: Elaborada en base a resultados de estimaciones

### 1.5.3.2. Japón

Los principales efectos sobre los desastres naturales para Japón se presentan a continuación:

- Desastres geológicos. En el caso de aquellos de tipo geológico, la respuesta es negativa ante el shock. La resonancia que experimentan tanto para la tasa de crecimiento del PIB como la tasa de crecimiento de capital es de 12 y 17 años con un efecto acumulado de corto plazo de un -4.1 % y -1.8 % respectivamente. El otro efecto negativo como respuesta ante shocks ocurre para los de tipo climatológico, los que también tienen una resonancia llegando a 13 y 14 años para ambas tasas estudiadas respectivamente, con efecto de corto plazo que llegan a un -3.7 % para la primera tasa y a un -0.7 % para la segunda.
- Desastres hidrológicos y meteorológicos. Tanto los desastres hidrológicos como los meteorológicos son disímiles a los dos casos anteriores analizados. El primero presenta una respuesta positiva a shocks en la tasa de crecimiento del PIB, con un tiempo de resonancia de 15 años, llega a un 4.5 % al corto plazo mientras que para la tasa de crecimiento del stock de capital, por el contrario, la respuesta al shocks es negativa, la cual con una resonancia de 12 años, muestra en el corto plazo una caída de un -1.4 %. Por otro lado, los desastres meteorológicos presentan una respuesta negativa al shock en la primera tasa analizada, con una resonancia de duración total de 16 años, llegando a un -5.9 % la caída. A la vez, para el caso del stock de capital, la respuesta de la tasa al shocks es positiva, con un periodo resonante de 19 años y un efecto acumulado de corto plazo de un 5.3 %.
- Desastres climatológicos. Este tipo de desastres afectan al país con una caída de un 3,97 % en el corto plazo para la tasa de crecimiento del PIB y de un 0,697 % para el crecimiento de capital. La resonancia de estos desastres es alta comparado con los casos anteriores, entre 13 y 14 años de efectos se ha registrado.

Las siguientes tablas muestran el resumen de las estimaciones realizadas para este país:

Tabla 1.21: Efectos sobre tasa de crec. del PIB para Japón

	Tipo de desastres			
	Geológicos	Hidrológicos	Climatológicos	Meteorológicos
Tiempo en disiparse (años)	12	15	13	16
Efecto corto plazo (acumulado)	-4,081 %	4,504 %	-3,697 %	-5,947 %
Efecto mediano plazo (acumulado)	-4,549 %	5,158 %	-4,151 %	-6,910 %
Efecto largo plazo (acumulado)	-4,601 %	5,273 %	-4,216 %	-7,114 %
Efecto Promedio	-0,230 %	0,264 %	-0,211 %	-0,356 %
Desviación Estándar	0,423 %	0,456 %	0,382 %	0,593 %

Fuente: Elaborada en base a resultados de estimaciones

Tabla 1.22: Efectos sobre tasa de crec. capital para Japón

	Tipo de desastres			
	Geológicos	Hidrológicos	Climatológicos	Meteorológicos
Tiempo en disiparse (años)	17	12	14	19
Efecto corto plazo (acumulado)	-1,883 %	-1,385 %	-0,697 %	5,361 %
Efecto mediano plazo (acumulado)	-2,489 %	-1,627 %	-0,960 %	6,596 %
Efecto largo plazo (acumulado)	-2,703 %	-1,670 %	-1,050 %	6,947 %
Efecto Promedio	-0,135 %	-0,084 %	-0,052 %	0,347 %
Desviación Estándar	0,161 %	0,133 %	0,057 %	0,493 %

Fuente: Elaborada en base a resultados de estimaciones

Comparativamente, en los desastres geológicos, Chile presenta respuestas positivas al shock en ambas tasas analizadas mientras que para Japón ambas tasas son negativas, lo que sugiere que existe en el caso chileno esfuerzos que se enfocan en la destrucción de capital que ocasiona el evento natural.

En el caso de los eventos hidrológicos, Japón muestra un aumento en la tasa de crecimiento del PIB y una disminución de la tasa de crecimiento del stock de capital, lo que sugiere que los costos de desastres son intensivos en trabajo más que capital, mientras que Chile presenta una disminución en ambas tasas, sobre todo más la de crecimiento que la segunda, lo que sugiere destrucción de trabajo ocasionada por el evento.

El caso de los desastres climáticos es muy parecido al de los geológicos en el caso de Japón, sugiriendo que el factor trabajo es el más afectado. Por otro lado, en el caso chileno, los costos ocasionados por este tipo de desastre sugieren que son intensivos en trabajo, dado que la tasa de crecimiento del PIB aumenta. Finalmente, para el caso de los eventos meteorológicos, la respuesta al shocks es negativa para ambas tasas en el caso chileno, mientras que para el caso japonés es negativo solo para la tasa de crecimiento del PIB, pero positiva para el stock de capital, mostrando que la caída del factor trabajo es mucho más alta.

1.5.4. Indonesia y China

Indonesia, al igual que Japón y Chile, es un país que forma parte del cinturón de fuego, lo que conlleva a que esta área se encuentre expuesta a sufrir diversos desastres geológicos tales como actividad sísmica y volcánica. Ejemplo de esto es el terremoto de 2004, el cual provocó un tsunami devastador que causó la muerte de 230.000 personas y 2.5 millones de afectados, uno de los desastres más grandes de la historia. En 2009 otro terremoto afectó la región en la isla de Sumatra, el cual se llevó la vida al menos 1.100 personas y hubo cientos de heridos graves.

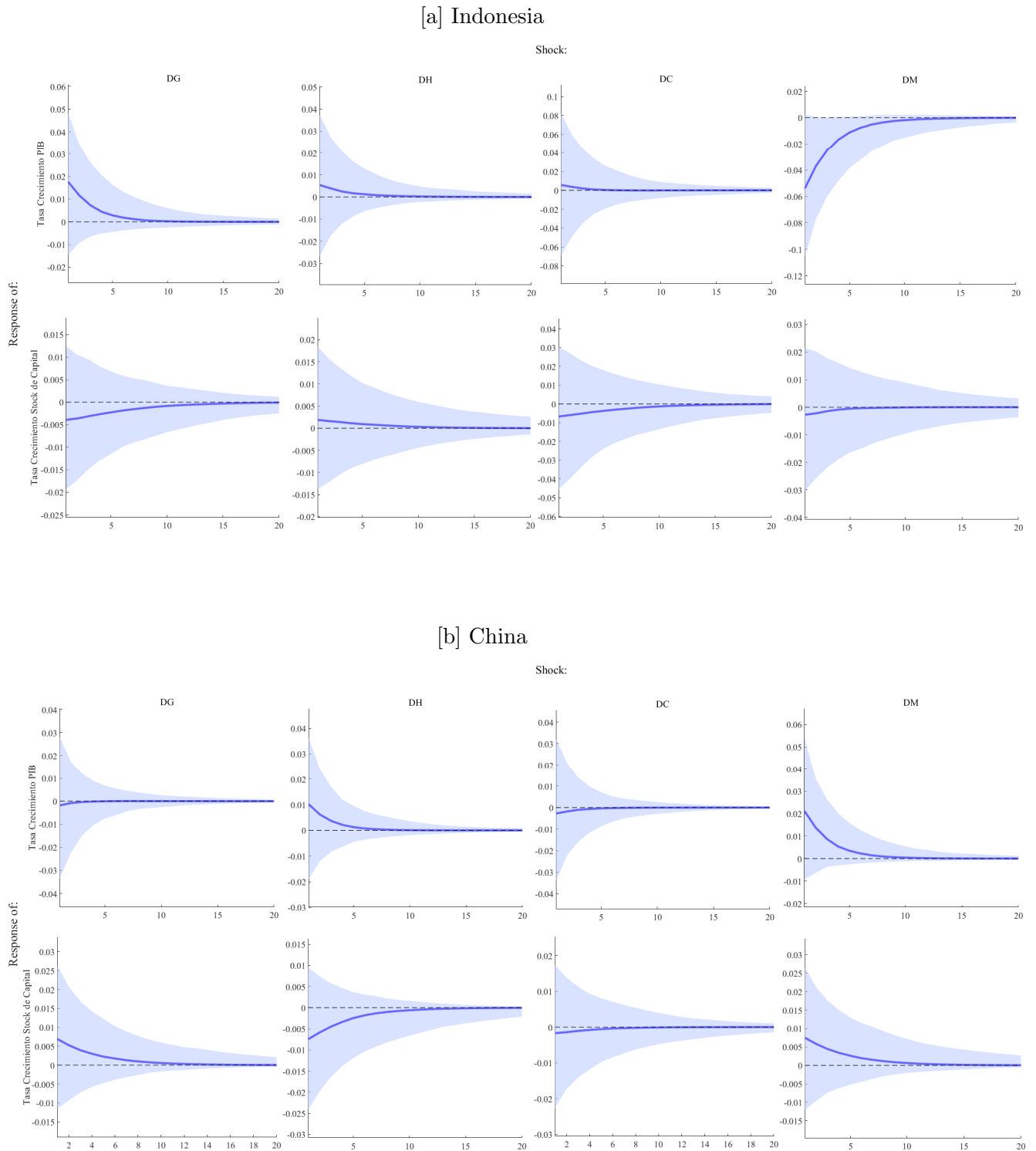


Figura 1.10: Funciones impulso respuesta Indonesia-China

China es uno de los países más grandes del mundo, por lo consiguiente, no es extraño que se encuentre afectado por diversos tipos de desastres, tales como inundaciones, sequías, terremotos, incendios,

los cuales han afectado en promedio a 200 millones de personas por año. Ejemplos de estos son el terremoto de Tangshan de 1976, el cual tuvo una magnitud de 7.5 grados Richter matando a 242.219 personas según datos oficiales. Otro terremoto, mucho más reciente, fue en 2008 en la región de Sichuan, el cual tuvo una intensidad de 7.9 grados Richter y provocó la muerte de casi 90.000 personas, entre ellos 5.000 estudiantes los cuales quedaron muchos de ellos quedaron atrapados en los escombros de sus escuelas y provocando daños por alrededor de 100 mil millones de dólares.

En 1998 China sufrió inundaciones por casi tres meses de duración en diversos ríos de la región, provocando la muerte de al menos 4000 muertos. También China ha sufrido el impacto de intensas sequías, la más reciente es la ocurrida en 2010 afectando la producción de alimentos para ocho provincias del norte de la República Popular.

#### 1.5.4.1. Indonesia

Los principales efectos sobre los desastres naturales para Indonesia se presentan a continuación:

- Desastres geológicos. Los eventos geológicos presentan una resonancia de 11 años que golpean a la tasa de crecimiento del PIB en un 4.4 % a corto plazo. En el caso de la tasa de crecimiento del stock de capital, la respuesta al shock es negativa, llegando al corto plazo a -1.2 %.
- Desastres climatológicos. La tasa de crecimiento correspondiente al PIB tiene una respuesta positiva que al corto plazo llega al 1.2 % con un periodo de resonancia de 5 años, por otro lado los efectos sobre la tasa de crecimiento del stock de capital son negativos (-2.6 %) con un periodo de resonancia de 20 años.
- Desastres hidrológicos. Los desastres hidrológicos tienen una respuesta positiva al shock tanto en la tasa de crecimiento del PIB como en la del stock de capital, llegando al 1.5 % y 0.7 % al corto plazo con un periodo de resonancia de 13 y 5 años respectivamente.
- Desastres meteorológicos. Por otro lado, los desastres meteorológicos poseen efectos mucho más profundos, que logran una resonancia de 19 años para la tasa de crecimiento del PIB la cual presenta una caída de un -14.4 %. Por su parte, la tasa de crecimiento del stock de capital tiene un periodo de 9 años de resonancia, con una caída de -0.77 %.

Tabla 1.23: Efectos sobre tasa de crec. del PIB para Indonesia

	Tipo de desastres			
	Geológicos	Hidrológicos	Climatológicos	Meteorológicos
Tiempo en disiparse (años)	11	13	5	19
Efecto corto plazo (acumulado)	4,383 %	1,471 %	1,224 %	-14,354 %
Efecto mediano plazo (acumulado)	4,795 %	1,718 %	1,156 %	-16,422 %
Efecto largo plazo (acumulado)	4,815 %	1,784 %	1,084 %	-16,845 %
Efecto Promedio	0,241 %	0,089 %	0,054 %	-0,842 %
Desviación Estándar	0,468 %	0,146 %	0,150 %	1,447 %

Fuente: Elaborada en base a resultados de estimaciones

Tabla 1.24: Efectos sobre tasa de crec. capital para Indonesia

	Tipo de desastres			
	Geológicos	Hidrológicos	Climatológicos	Meteorológicos
Tiempo en disiparse (años)	20	5	20	9
Efecto corto plazo (acumulado)	-1,565 %	0,695 %	-2,628 %	-0,769 %
Efecto mediano plazo (acumulado)	-2,231 %	0,960 %	-3,725 %	-0,866 %
Efecto largo plazo (acumulado)	-2,569 %	1,062 %	-4,225 %	-0,860 %
Efecto Promedio	-0,128 %	0,053 %	-0,211 %	-0,043 %
Desviación Estándar	0,123 %	0,058 %	0,210 %	0,078 %

Fuente: Elaborada en base a resultados de estimaciones

### 1.5.4.2. China

Los principales efectos sobre los desastres naturales para China se presentan a continuación:

- Desastres geológicos. Los de tipo geológico presentan un tiempo de resonancia de 4 años para la tasa de crecimiento del PIB, con una caída de un 0.31 % al corto plazo, mientras que la tasa de crecimiento del stock de capital tiene un periodo de resonancia de 16 años pero con una respuesta al shock positiva llegando a un 2.1 % al corto plazo.
- Desastres hidrológicos. Para el caso de los eventos hidrológicos el efecto al corto plazo es de un 2.3 % para la tasa de crecimiento del PIB con un periodo de resonancia de 10 años, mientras que para la del stock de capital la respuesta al shock es negativa, llegando al -2.4 % al corto plazo con un periodo de 17 años.
- Desastres Climatológicos: Los desastres climáticos responden negativamente al shock, tanto para la tasa de crecimiento del PIB como la del stock de capital. La primera cae en un -0.7 % y la segunda a un -0.6 % con un periodo de resonancia de 8 y 11 años respectivamente.
- Desastres meteorológicos. El efecto es totalmente contrario pues ambas tasas responden positivamente a shocks, llegando al corto plazo a un 5.3 % para la primera tasa mencionada y a un 2.4 % para la segunda, con periodos de disipación de 14 y 17 años respectivamente.

Las siguientes tablas muestran los resultados de las estimaciones realizadas:

Tabla 1.25: Efectos sobre tasa de crec. del PIB para China

	Tipo de desastres			
	Geológicos	Hidrológicos	Climatológicos	Meteorológicos
Tiempo en disiparse (años)	4	10	8	14
Efecto A acumulado 5 años	-0,318 %	2,344 %	-0,658 %	5,253 %
Efecto mediano plazo (acumulado)	-0,298 %	2,514 %	-0,718 %	5,835 %
Efecto largo plazo (acumulado)	-0,285 %	2,527 %	-0,728 %	5,927 %
Efecto Promedio	-0,014 %	0,126 %	-0,036 %	0,296 %
Desviación Estándar	0,044 %	0,262 %	0,072 %	0,557 %

Fuente: Elaborada en base a resultados de estimaciones

Tabla 1.26: Efectos sobre tasa de crec. capital para China

	Tipo de desastres			
	Geológicos	Hidrológicos	Climatológicos	Meteorológicos
Tiempo en disiparse (años)	16	17	11	17
Efecto corto plazo (acumulado)	2,145 %	-2,375 %	-0,558 %	2,365 %
Efecto mediano plazo (acumulado)	2,678 %	-2,930 %	-0,678 %	2,966 %
Efecto largo plazo (acumulado)	2,842 %	-3,101 %	-0,705 %	3,141 %
Efecto Promedio	0,142 %	-0,155 %	-0,035 %	0,157 %
Desviación Estándar	0,195 %	0,215 %	0,051 %	0,213 %

Fuente: Elaborada en base a resultados de estimaciones

## 1.5.5. Caso para Chile: ¿Porqué es tan relevante el estudio de desastres?

### 1.5.5.1. Ocurrencia de desastres naturales.

Para contextualizar, según la información disponible en la Biblioteca del Sernageomin, son cinco los aluviones mayores señalados con pérdida de vidas humanas y/o destrucción de viviendas: Santiago (1980, 1987 y 1993), Antofagasta (1991), y Atacama (2015), los cuales suman un costo de US\$1.600.000.000. El promedio para el lapso estudiado (desde 1980 hasta 2017) implica cerca de US \$46.000.000 al año (US \$45.714.285).



Si a este monto total se agregan los costos estimados para los terremotos de Tocopilla (2007) y Concepción (2010) –únicos respecto de los cuales se tiene información individualizada–, y que también son eventos considerados en la propuesta de Programa de Peligros Geológicos, el costo total por afectación de bienes materiales de todos estos eventos alcanza a casi los US\$32.000.000.000; o sea, un promedio de US\$914.285.714 al año en el período considerado<sup>25</sup>. Se excluyen el costo del terremoto de Iquique (1 de abril de 2014) y el incendio de Valparaíso (12 de abril de 2014), ya que el Ministerio de Hacienda ha publicado el costo sumado de ambos, lo que, por una parte, impide individualizar el costo del terremoto de Iquique, y por otra, al Sernageomin conciernen las remociones en masa causadas por el incendio y el costo de éstas (no individualizado), y no el incendio en sí, que tuvo causas no geológicas. También se han excluido los costos de los eventos volcánicos y aquellos cubiertos por privados.

Además, en el listado se destaca el número de fallecidos y desaparecidos, que alcanza al menos a 1.000 personas en el período (sólo respecto de la información disponible en la Biblioteca del Sernageomin); es decir, más de 28 personas por año en promedio, lo que supera con creces a los fallecidos y desaparecidos, por ejemplo, en eventos volcánicos ocurridos en el mismo lapso (1980-2015). Esto refuerza la necesidad de disponer de un Programa de Peligros Geológicos, iniciativa que por definición se orienta precisamente a salvaguardar la vida e integridad de las personas. La última edición del Reporte Mundial de Riesgo por Desastres Naturales ubica a Chile en el puesto número 27 entre 180 países, siendo catalogado como uno de los más peligrosos del planeta. (BEH-IFHV, 2019).

Si bien lo que más distingue a Chile es la actividad sísmica, debido a su ubicación geográfica en el cinturón de fuego del Pacífico, con una frontera natural, la Cordillera de los Andes, que cubre prácticamente todo el territorio, la lista de desastres naturales no se queda ahí: erupciones volcánicas, tsunamis, aluviones, incendios forestales, temporales de lluvias y sequías, por mencionar solo algunos ejemplos. La sequía es una catástrofe que se ha acentuado en el país desde el año 2010. El déficit de precipitaciones se ha agravado en los últimos cinco años superando el 60% en la zona central, afectando a los embalses, lagos y la actividad agrícola-ganadera.

Los embalses cuentan con una superficie de 3.645 hectómetros, es decir un 28% de su capacidad total, lo que representa un 46% del volumen que históricamente tenían a esta fecha. La ausencia de nieve es considerada más grave con minoraciones por sobre el 85%, tanto en el centro-norte como en el centro-sur: en Coquimbo es del 100%.

La contracara a este fenómeno es la que se vive en el norte del país. En 2015, en la región de Atacama ocurrieron 20 situaciones consideradas desastres como deslizamientos, caída y flujos de roca y suelo producto de las precipitaciones. Cuatro años más tarde, las regiones de Arica y Parinacota y Tarapacá se vieron afectadas por precipitaciones que causaron cortes de caminos, deslizamientos de rocas y otros daños, en lo que se conoce como el invierno altiplánico. La sequía también ha provocado el recrudecimiento en los últimos años, de los incendios forestales. Según la Junta Nacional de Bomberos de Chile, en 2018 se recibió un total de 44.188 llamados por incendios, siendo las regiones del centro sur, las de mayor demanda y las ciudades más afectadas Puerto Montt, Temuco, Rancagua y Valparaíso.

Entre 2018-2019 se registraron 7.219 incendios en el país, afectando 80.064 hectáreas. La región de la Araucanía fue la más afectada, con un 35% de la superficie total quemada del país (CONAF, 2020).

---

<sup>25</sup>Cabe señalar que estos datos no registran indemnizaciones, sino sólo gastos en reconstrucción. A causa de existir antecedentes publicados en medios de comunicación, se exceptúa “la tragedia del estero Minte”, ocurrida el 7 de mayo de 1995 en la región de Los Lagos.

### 1.5.5.2. Estrategia de gestión del riesgo.

Una vez expuestos los desastres naturales experimentados por Chile desde 1980-2015, se detallan los métodos más recientes para el afrontamiento de los anteriores.

El proceso que ha experimentado el país desde su más reciente y relevante punto de inflexión, terremoto y consiguiente tsunami del 27 de febrero del 2010, generó que la Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior y Seguridad Pública (ONEMI), condujera al Sistema Nacional de Protección Civil (SNPC o Sistema), por un rumbo sostenido con miras a una gestión integral para lograr la Reducción del Riesgo de Desastres (RRD), amparado en cánones internacionales y velando porque el enfoque se plasmara de manera transversal en los diversos sectores y niveles territoriales del país.

Últimamente, el SNPC ha avanzado ostensiblemente en la incorporación de metodologías, marcos conceptuales, estándares y otras diversas herramientas, formales e informales, que han sido formuladas en espacios participativos, recogiendo diversas visiones y en permanente actualización debido a múltiples experiencias que permiten avanzar mediante un proceso de mejora continua. Es por ello que, hoy es posible aseverar que el Sistema, bajo el concepto de desarrollo continuo, está mejor preparado, destacando una mayor transferencia e instalación de capacidades en todo el ciclo de Gestión del Riesgo de Desastres (GRD), como también una mayor convicción de que todos los actores nacionales son parte importante para la construcción de resiliencia y de una cultura de autoaseguramiento. Los instrumentos anteriores sirven de guía para que el país implemente diversas iniciativas con miras a un proceso continuo de instalación transversal del enfoque de RRD, convocando a los diversos sectores y actores de la sociedad a aportar desde sus quehaceres, a las metas establecidas de corto y mediano plazo.

A continuación, surge la Política Nacional para la Reducción del Riesgo de Desastres (PNRRD), la cual pretende confirmar el compromiso que el Estado de Chile manifestó con la adhesión al Marco de Sendai para la RRD el pasado 18 de marzo del 2015, el que se traduce en metas globales e indicadores que fueron informados el 01 de diciembre del 2016 a los países miembros de Naciones Unidas, iniciando formalmente con ello un proceso gradual de apropiación de este nuevo referente internacional. La PNRRD obedece a los compromisos internacionales adquiridos por el Estado de Chile y la necesidad de establecer el marco rector que fortalezca la GRD en el país al año 2030. Está compuesta por un conjunto de principios, enfoques transversales, ejes prioritarios y objetivos estratégicos, que serán implementados a través de su respectivo Plan Estratégico Nacional para la Reducción del Riesgo de Desastres (PENRRD, 2020-2030), el que recogerá brechas detectadas de procesos anteriores y considerará las particularidades territoriales y diversidades de las comunidades por medio de la ejecución de acciones estratégicas emanadas de las directrices instaladas en la presente política pública (ONEMI, 2020).

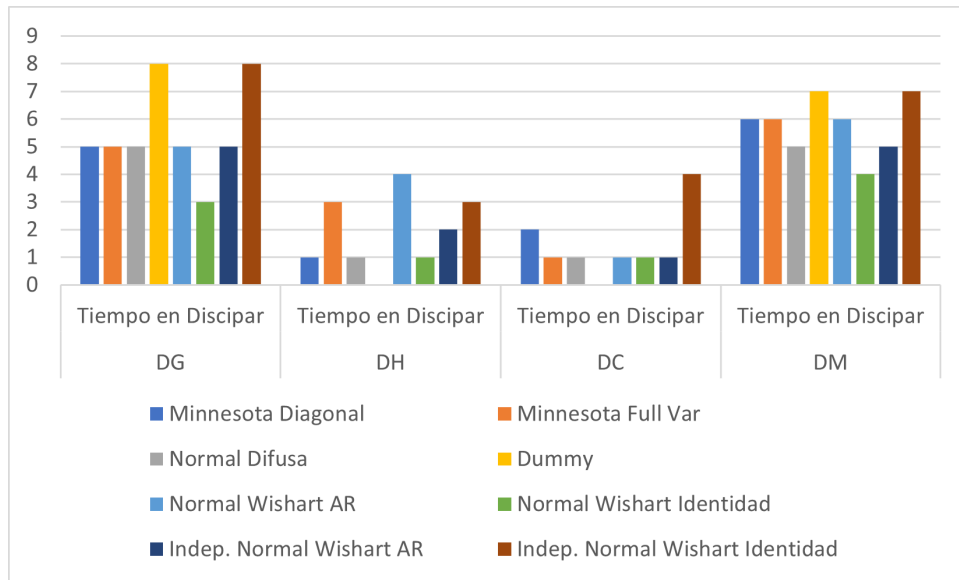
### 1.5.5.3. Efectos de largo plazo sobre el crecimiento: Aplicación de Priors

Como ya se ha nombrado en secciones anteriores, la diferencia de un VAR Bayesiano con uno tradicional radica principalmente en la función de distribución previa que se elige bajo el criterio del investigador. El propósito de este capítulo es mostrar cómo fluctúan las estimaciones al elegir diferentes funciones priors para los efectos estimados de cada uno de los desastres estudiados.

Al revisar el caso de Chile, se observa que la mayor diferencia que existe en la elección de cada prior es en el tiempo de disipación del efecto debido al desastre. En este caso, la duración del efecto depende del prior seleccionado, evidenciando diferencias en la trayectoria de disipación del efecto, debido a la información utilizada en su modelamiento. Por tanto, la disipación del efecto se ve

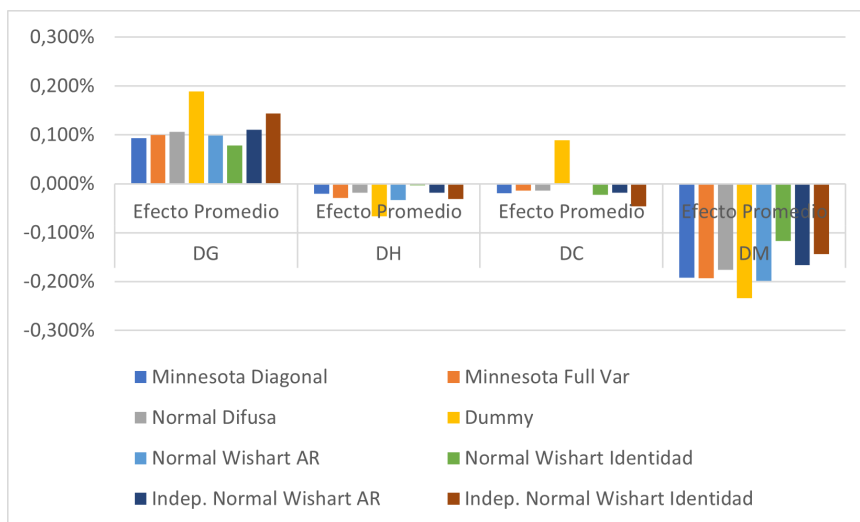
afectada por el tipo de información previa utilizada.

Figura 1.11: Tiempo en disipar por desastres para Chile



El gráfico 1.12 compara los diferentes efectos promedios para cada uno de los desastres respecto de la tasa de crecimiento del producto, en este caso a diferencia del caso anterior hay más homogeneidad de los resultados. La distribución dummy es el prior que más sobreestima los efectos, mientras que la normal Wishart los subestima. Esta situación de sobre o subestimación es similar a lo acontecido con respecto a los tiempos que demora el efecto en desaparecer tanto para los desastres geológicos como para los meteorológicos, mientras que ocurre lo contrario para los hidrológicos y climatológicos, los cuales para este tipo de variable, repercuten de manera mucho más baja.

Figura 1.12: Efectos Promedio por desastres para Chile



La pregunta natural que surge es ¿qué prior es el correcto?, la respuesta esta asociado al problema de investigación que se encuentra detrás de la utilización de dicha información. En el caso de desastres naturales, la gran cantidad de estudios muestra coeficientes y signos que varían según el tipo de desastres y de cómo se ha medido la intensidad de estos. En este caso, partir postulando la variabilidad en los parámetros es plausible, así como también, utilizar una distribución normal en torno a un valor inicial también. Posterior a esto, se puede trabajar con funciones de distribución puedan representar características específicas de éstos. En cuanto a la magnitud, la sobre o subestimación puede estar presente, por tanto, se recomienda, utilizar más de un prior para contrastar resultados.

#### 1.5.5.4. Implicancias de política

En esta subsección se busca evaluar las implicancias de política de los resultados obtenidos para Chile. Para eso se evalúan las funciones de impulso respuesta obtenidas respecto al número de desastres ocurridos y sus efectos.

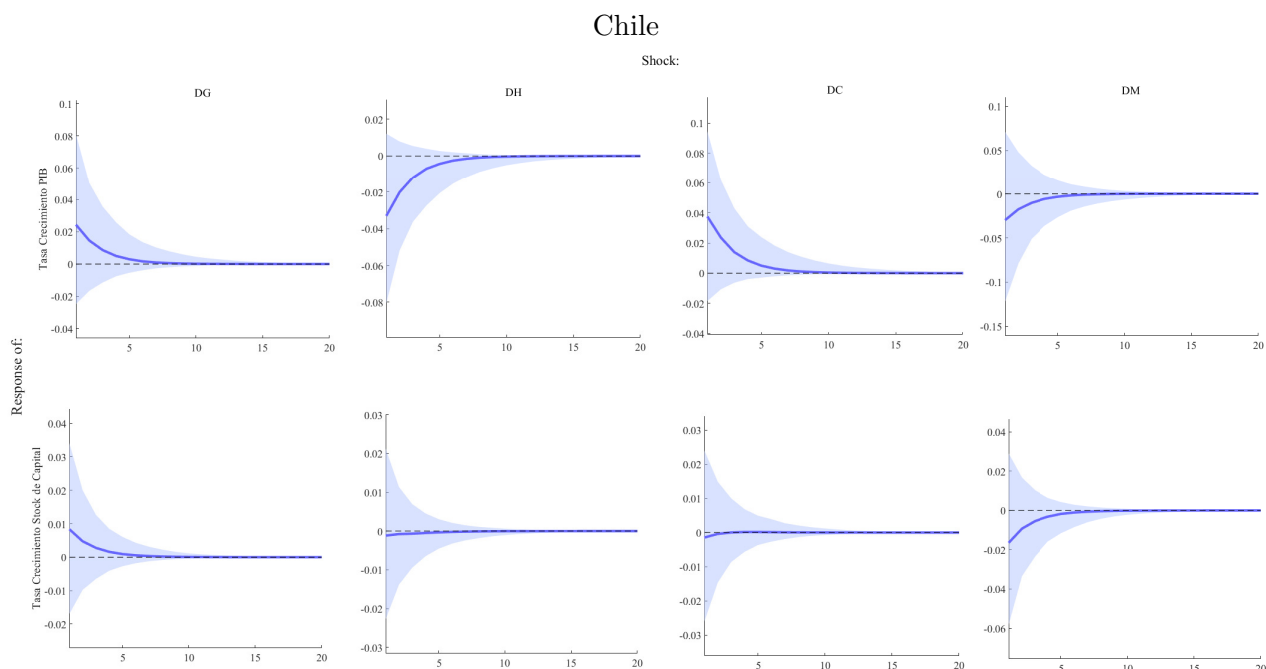
Al examinar los resultados de Chile es necesario evaluar las trayectorias que presenta para cada uno de los desastres naturales bajo estudio. Lo anterior, tiene el fin de evaluar las implicancias de política que pueden surgir de dichos resultados. En términos de la cantidad de desastres considerados y tomando los criterios de corte, los desastres geológicos y climatológicos son 9 y 10 respectivamente, en el caso de desastres hidrológicos y meteorológicos son 23 y 41. Finalmente, el período considerado o bajo estudio fue entre los años 1970 y 2019. En términos de costos, tal y como se presentó en la subsección anterior, los costos más importantes son los geológicos, donde se encuentran los terremotos y aluviones, por ejemplo, cuales son bastante frecuentes en el país y con un alto porcentaje de daño. Lo sigue los desastres climatológicos, donde el costo viene dado por los incendios forestales mayormente.

Tabla 1.27: Desastres Naturales Chile

Tipo Desastre	Total Desastres	Costo Anual en Pesos (2016)
Geológicos	9	\$20.234.419.998
Hidrológicos	23	\$9.956.990.402
Metereológicos	41	\$1.665.701.162
Climatológicos	10	\$14.484.807.060
Total	83	\$76.915.235.363

Fuente: Elaboración propia en base a datos CITRID, Universidad de Chile<sup>26</sup>.

Los resultados, muestran la trayectoria de respuesta media que da se aprecia en la tasa de crecimiento del producto per cápita y del capital per cápita. En el caso de los desastres geológicos y climatológicos, se aprecia una tasa de crecimiento del producto per cápita positiva inicial para posteriormente ajustar su tendencia de largo plazo, el efecto inicial alcanza a un 0,02% y 0,04% respectivamente, el efecto acumulado de largo plazo es de 0,4% y 0,1%. Los tiempos de duración son 11 y 13 respectivamente, pero para el caso de desastres geológicos es menos predominante el efecto que para desastres climatológicos. Este resultado significa que la existencia de shocks de desastres de este estilo, genera un efecto positivo en la trayectoria del producto aún cuando vuelve a su situación de estado estacionario.



En este contexto, dado que este tipo de desastres genera una pérdida de activos físicos en mayor medida que activos intangibles tales como capital humano, el mecanismo de respuestas del sistema requiere impulsar la inversión no sólo en términos de recuperación del capital perdido, sino que también, creando una posibilidad para que el capital que reemplaza al existente contenga nueva tecnologías permitiendo un incremento por esa vía en la productividad de este, y en otros factores relacionados.

Por tanto, políticas de ciencia y tecnología que apoyen el desarrollo de sectores relacionados a desastres naturales en estos ámbitos pueden contribuir al desarrollo de innovaciones que hagan que el nuevo capital incorpore más tecnología y por esa vía genera un incremento en productividad. Aquí el desarrollo de políticas selectivas, con incentivos claros y sujeta a resultados puede ayudar al surgimiento de nuevas empresas, y a una articulación proactiva entre actores y sectores relevantes a través de redes de cooperación de largo plazo.

A diferencia de lo anterior, los desastres hidrológicos y meteorológicos tienen impactos negativos en la tasa media de crecimiento del producto per cápita, llevando a la economía a un menor nivel de producto posterior al desastre. En este caso, una forma de aminorar los efectos es incentivar por parte del Estado el desarrollo de infraestructura sostenible y resiliente, la cuál permita la adaptabilidad al cambio climático. Este tipo de política, ha recibido un mayor impulso durante los últimos años en América Latina a través de los organismos internacionales, y por tanto, ha implicado el desarrollo de líneas de financiamiento para este tipo de infraestructuras.

Finalmente, no se nos debe olvidar que los desastres generan pérdidas de bienestar en la economía, que dichas pérdidas son difíciles de recuperar respecto de los efectos de largo plazo, y por tanto, dado que países de ingresos medios y bajos son vulnerables a estos shocks, la vinculación de políticas en esta dirección puede contribuir a aminorar dichos costos de bienestar una vez ocurrido dichos eventos.

## 1.6. Principales Conclusiones

La metodología de los modelos VAR bayesiano es factible de utilizar para el estudio del crecimiento en el largo plazo. En particular, en este capítulo se ha utilizado para medir los efectos indirectos que han tenido los desastres naturales sobre algunas variables económicas. La evidencia es varia-

da al respecto, pues no siempre la dirección del efecto es predecible, por lo que existen diferentes reacciones al shocks, tanto negativas como positivas, en particular, la hipótesis de la destrucción creativa toma fuerza ((Hsiang y Jina, 2014),(Skidmore y Toya, 2002) en especial para los países desarrollados o de altos ingresos.

En términos de los análisis realizados, se observan los efectos en las estimaciones y la representación gráfica de las funciones impulso respuesta, además de revisar los principales estadísticos de crecimiento acumulados de las variables económicas relevantes como las tasa de crecimiento per cápita del PIB y del stock de capital. El utilizar priors de información para la distribución inicial sobre los parámetros del modelo estimado permite llevar a cabo estimaciones que mejoran la calidad de las estimaciones de una estimación por MCO tradicional.

La base de datos utilizada es un cruce de información de diferentes fuentes entre ellas cabe mencionar: EM-DATA y estadísticas del banco mundial. A partir de dicha base, se identificaron cuatro tipos principales de desastres: Geológicos, Hidrológicos, Climatológicos y Meteorológicos. Los casos considerados a nivel individual fueron: a) Australia-Brasil, b) Chile-Japón, c) Estados Unidos-México e e)Indonesia-China. El interés en estás duplas inicialmente fue, respectivamente: desastres meteorológicos (a), desastres geológicos y climatológicos (b), hidrológicos y meteorológicos (c y d).Se proporcionó resultados tanto en el ámbito de efectos indirectos así como respecto de la estabilidad del sistema.

Los resultados en términos de tiempo de disipación confirman que el efecto de los desastres, cuyo aumento se debe al cambio climático, sobre todo los hidrológicos, presentan impactos más duraderos que otro tipos de desastres tal como se muestra en el gráfico presentado en la sección anterior con respecto al tiempo de disipación 1.13. Esto muestra que los desastres naturales tienen impactos que permanecen en los años posteriores a su ocurrencia y afectando de manera diferenciada a los países.

Los desastres geológicos y meteorológicos, salvo el caso de indonesia, muestran que también son resonantes, lo que también se puede entender por los grados de intensidad de daño que puede causar una mega sequía o un terremoto catastrófico, que incluso en algunos casos estos fenómenos pueden afectar la matriz productiva de un país.



Figura 1.13: Tiempo de disipación para shocks en la tasa de crecimiento del PIB

Los resultados con respecto a cómo afectan estos eventos a las tasas también son consecuentes con la evidencia encontrada en otros estudios, pues los shocks no siempre impactan de forma negativa en el crecimiento de ambas tasas, sino que estos efectos suelen ser variados en términos de sus direcciones. En el caso de considerar que el crecimiento económico se ajusta a un modelo típico de Solow, el caso más simple permite comprender algunas posibles directrices para entender este fenómeno. Si en esta simplificación se asume que el crecimiento del stock de capital es una variable

proxy de la inversión, se pueden observar los siguientes casos:

Tabla 1.28: Hipótesis y trayectorias para las tasa de crecimiento de largo Plazo

Hipótesis	Efecto sobre tasa de crecimiento del producto y capital per cápita.	$\hat{y}_t; \hat{k}_t$
Destrucción creativa (Skidmore y Toya, 2002)	En este caso el desastre puede estimular la economía, debido al aumento de la demanda de bienes y servicios y la afluencia de ayuda internacional e innovación. Así como también, un ratio favorable a la acumulación de capital humano. Lo que es compatible con tasas de crecimiento positivas, o con un tasa de crec. del producto per cápita positiva y una tasa de crec. de capital que evidencia una caída inicial	(+)(+)
Reconstruirse mejor (Hallegatte et al., 2007; Cuaresma et al., 2008; Hallegatte y Dumas, 2009)	Crecimiento económico puede reducirse en una etapa inicial debido a las pérdidas de capital humano y físico, pero la sustitución gradual de los activos perdidos con unidades modernas puede producir efectos positivos netos en el crecimiento económico a largo plazo. Podemos apreciar una caída inicial en ambas tasas y que se ajustan de manera gradual a su situación de largo plazo.	(+)(-)
Recuperación de la tendencia (Yang, 2008; Strobl, 2011)	La economía al experimentar la destrucción de capital humano y físico puede aumentar el producto marginal de estos dos insumos, lo que estimula el flujo de individuos y riqueza hacia una zona devastada hasta que la producción recupere su tendencia anterior al desastre	(-)(+)
No recuperación (Lopez 2009; Anttila-Hughes y Hsiang, 2013; Field et al., 2012)	En cuarto lugar, un desastre natural puede destruir el capital y/o los bienes duraderos (por ejemplo, las viviendas) y reducir el consumo, de modo que la inversión productiva se vuelve menos preferible en la economía que el consumo. En este caso, podemos apreciar una tasa de crecimiento negativa tanto para la producción como el capital. Implicando una senda de crecimiento a largo plazo, debajo de la anterior.	(-)(-)

Fuente: Elaboración propia en base a información de resultados.

- a. Efecto en tasa Crecimiento PIB y de stock de capital positivas: podría indicar que hubo un crecimiento donde el desastre natural actuó de forma pseudo complementaria tanto para capital como para trabajo. Otra opción es que el cambio de factor trabajo fuera negativo, pero poco relevante comparado con el fuerte aumento del crecimiento del capital. Por ejemplo, este fenómeno se da en países como Brasil para los desastres geológicos, EEUU en sus desastres geológicos y climatológicos, México para los desastres hidrológicos, Chile para los desastres geológicos, Indonesia para los desastres hidrológicos y China para los desastres meteorológicos.
- b. Efecto en tasa crecimiento PIB y de stock de capital negativas: es el caso contrario al del ítem anterior, donde el desastre afecta a ambas tasas las cuales se tornan negativas en los años siguientes. En este caso, apoyándose en el clásico modelo de crecimiento de Solow, se observa que si baja el crecimiento tanto del PIB como del stock de capital, entonces ocurre que: o el crecimiento del factor trabajo baja, o se mantiene o no logra ser lo suficientemente alto para compensar la caída del factor afectado. Este es el caso de Australia para los desastres meteorológicos, Brasil tanto para los desastres hidrológicos y climatológicos, EEUU en sus desastres hidrológicos y meteorológicos, México en el caso de sus desastres geológicos, Chile en los desastres hidrológicos y meteorológicos, Japón en los casos de los desastres geológicos y climatológicos, Indonesia en el caso de los desastres meteorológicos y China en el caso de los desastres climatológicos.
- c. Efectos dispares donde la tasa crecimiento PIB positiva y del stock de capital negativas: en este caso, existen otros factores que impulsan el crecimiento que no es el capital. En una función de crecimiento típica de Solow podría pensarse que es el factor trabajo u otro que se encuentre incluido, en el que su efecto se plasma en la tasa de crecimiento del PIB, de tal forma, que logra compensar la caída del factor. Este es el caso de los desastres hidrológicos en Australia, los desastres meteorológicos en Brasil, los desastres climatológicos en Chile y México, los desastres hidrológicos en Japón, los desastres geológicos y climatológicos en Indonesia, los desastres hidrológicos en China.
- d. Efectos dispares donde la tasa crecimiento PIB es negativa y la de stock de capital positiva: en este caso, existe un factor relevante (tecnológico, fuerza de trabajo u otro) que a pesar de que el stock de capital aumenta, reacciona de forma más fuerte afectando la tasa de crecimiento significativamente. Este caso se evidencia en: Australia en los desastres geológicos, México y Japón en los desastres meteorológicos y China en los desastres geológicos.

La pregunta natural que surge de este análisis, es cómo son las respuestas agregadas por tipos de países, en particular, es interesante caracterizar dichas respuestas a partir de clasificar las economías, en términos de variables relevantes en la literatura tales como: ingreso, capital humano, desigualdad y capital natural. Es justamente esta pregunta la que se estudia en el capítulo siguiente y donde, utilizando una metodología similar, se estudia la respuesta agregada por tipos de países.



## 1.7. Anexos

### 1.7.1. Anexo 1: Análisis de desastres

Desastres por subgrupos					
Continente	Climato..	Geophys..	Hydrolo..	Meteoro..	Total
<b>Africa</b>	343	88	1,173	301	<b>1,905</b>
	18.01	4.62	61.57	15.8	<b>100</b>
	29.32	5.96	19.53	6.36	<b>14.23</b>
<b>Americas</b>	323	336	1,371	1,403	<b>3,433</b>
	9.41	9.79	39.94	40.87	<b>100</b>
	27.61	22.75	22.83	29.66	<b>25.65</b>
<b>Asia</b>	271	807	2,594	1,912	<b>5,584</b>
	4.85	14.45	46.45	34.24	<b>100</b>
	23.16	54.64	43.2	40.41	<b>41.72</b>
<b>Europe</b>	159	167	696	794	<b>1,816</b>
	8.76	9.2	38.33	43.72	<b>100</b>
	13.59	11.31	11.59	16.78	<b>13.57</b>
<b>Oceania</b>	74	79	171	321	<b>645</b>
	11.47	12.25	26.51	49.77	<b>100</b>
	6.32	5.35	2.85	6.79	<b>4.82</b>
<b>Total</b>	<b>1,170</b>	<b>1,477</b>	<b>6,005</b>	<b>4,731</b>	<b>13,383</b>
	8.74	11.04	44.87	35.35	100
	100	100	100	100	100

### 1.7.2. Anexo 2: Derivación de distribución a posteriori

Empezamos por la ecuación

$$\pi(\beta|y) \propto \exp \left[ -\frac{1}{2} \left\{ (y - \bar{X}\beta)' \bar{\Sigma}^{-1} (y - \bar{X}\beta) + (\beta - \beta_0)' \Omega_0^{-1} (\beta - \beta_0) \right\} \right] \quad (1.49)$$

Considerando solo la parte en la exponencial y desarrollamos:

$$\begin{aligned} & (y - \bar{X}\beta)' \bar{\Sigma}^{-1} (y - \bar{X}\beta) + (\beta - \beta_0)' \Omega_0^{-1} (\beta - \beta_0) \\ &= y' \bar{\Sigma}^{-1} y + \beta' \bar{X}' \bar{\Sigma}^{-1} \bar{X} \beta - 2\beta' \bar{X}' \bar{\Sigma}^{-1} y + \beta' \Omega_0^{-1} \beta + \beta_0' \Omega_0^{-1} \beta_0 - 2\beta' (\Omega_0^{-1})' \beta_0 \\ &= y' \bar{\Sigma}^{-1} y + \beta' \left( \Omega_0^{-1} + \bar{X}' \bar{\Sigma}^{-1} \bar{X} \right) \beta - 2\beta' \left( \Omega_0^{-1} \beta_0 + \bar{X}' \bar{\Sigma}^{-1} y \right) + \beta_0' \Omega_0^{-1} \beta_0 \end{aligned} \quad (1.50)$$

Completando el cuadrado en 1.50:

$$y' \bar{\Sigma}^{-1} y + \beta' \left( \Omega_0^{-1} + \bar{X}' \bar{\Sigma}^{-1} \bar{X} \right) \beta - 2\beta' \bar{\Omega}^{-1} \bar{\Omega} \left( \Omega_0^{-1} \beta_0 + \bar{X}' \bar{\Sigma}^{-1} y \right) + \beta_0' \Omega_0^{-1} \beta_0 + \bar{\beta}' \bar{\Omega}^{-1} \bar{\beta} - \bar{\beta}' \bar{\Omega}^{-1} \bar{\beta} \quad (1.51)$$

Uno puede conseguir el cuadrado deseado desde 1.51 definiendo:

$$\bar{\Omega} = \left( \Omega_0^{-1} + \bar{X}' \bar{\Sigma}^{-1} \bar{X} \right)^{-1} \quad (1.52)$$

y

$$\bar{\beta} = \bar{\Omega} \left( \Omega_0^{-1} \beta_0 + \bar{X}' \bar{\Sigma}^{-1} y \right) \quad (1.53)$$

Desde ahí, 1.51 se reescribe como:

$$\begin{aligned} &= y' \bar{\Sigma}^{-1} y + \beta' \bar{\Omega}^{-1} \beta - 2\beta' \bar{\Omega}^{-1} \bar{\beta} + \beta_0' \Omega_0^{-1} \beta_0 + \bar{\beta}' \bar{\Omega}^{-1} \bar{\beta} - \bar{\beta}' \bar{\Omega}^{-1} \bar{\beta} \\ &= (\beta' \bar{\Omega}^{-1} \beta - 2\beta' \bar{\Omega}^{-1} \bar{\beta} + \bar{\beta}' \bar{\Omega}^{-1} \bar{\beta}) + \left( \beta_0' \Omega_0^{-1} \beta_0 - \bar{\beta}' \bar{\Omega}^{-1} \bar{\beta} + y' \bar{\Sigma}^{-1} y \right) \\ &= (\beta - \bar{\beta})' \bar{\Omega}^{-1} (\beta - \bar{\beta}) + \left( \beta_0' \Omega_0^{-1} \beta_0 - \bar{\beta}' \bar{\Omega}^{-1} \bar{\beta} + y' \bar{\Sigma}^{-1} y \right) \end{aligned} \quad (1.54)$$

Sustituyendo 1.54 devuelta en 1.49 se obtiene:

$$\begin{aligned} \pi(\beta|y) &\propto \exp \left[ -\frac{1}{2} \left\{ (\beta - \bar{\beta})' \bar{\Omega}^{-1} (\beta - \bar{\beta}) + \left( \beta_0' \Omega_0^{-1} \beta_0 - \bar{\beta}' \bar{\Omega}^{-1} \bar{\beta} + y' \bar{\Sigma}^{-1} y \right) \right\} \right] \\ &\propto \exp \left[ -\frac{1}{2} (\beta - \bar{\beta})' \bar{\Omega}^{-1} (\beta - \bar{\beta}) \right] \times \exp \left[ \left( \beta_0' \Omega_0^{-1} \beta_0 - \bar{\beta}' \bar{\Omega}^{-1} \bar{\beta} + y' \bar{\Sigma}^{-1} y \right) \right] \\ &\propto \exp \left[ -\frac{1}{2} (\beta - \bar{\beta})' \bar{\Omega}^{-1} (\beta - \bar{\beta}) \right] \end{aligned} \quad (1.55)$$

$$\pi(\beta|y) \propto \exp \left[ -\frac{1}{2} (\beta - \bar{\beta})' \bar{\Omega}^{-1} (\beta - \bar{\beta}) \right] \quad (1.56)$$

### 1.7.3. Anexo 2: Selección modelo VAR(2)

Antes de realizar y especificar el modelo BVAR, es necesario tener antecedentes respecto a las justificaciones de la utilización de este modelo. Para ello, se analizará VAR de las series, esto es, comprobar estacionariedad, revisar causalidad de Granger, estimar el modelo VAR y por último computar las IRF para cada una de las series. De lo anterior se espera obtener el número de rezagos óptimo al igual que el que se obtiene al realizar el modelo BVAR: obtener las mismas trayectorias de las funciones de impulso respuesta y que ninguna de las dos variables cause en sentido de Granger a la otra. A continuación se muestran los resultados obtenidos para el análisis anteriormente mencionado, especificando cada uno de los test utilizados y las consecuencias de los anteriores.

**Patrones Estacionales.** La estacionalidad es un comportamiento o patrón que a veces se observa en una serie de tiempo. Consiste en subidas y bajadas periódicas que se presentan en forma regular en la serie de tiempo. Al tiempo entre un “peak” y otro en una serie de datos, se le llama período estacional.

La mayoría de las series que presentan esta característica tienen periodicidad anual; en este caso, si la serie consiste de observaciones mensuales, el período será 12, en cambio, si la serie es trimestral, el período será 4 y así. Cuando una serie presenta patrones estacionales se procede a desestacionalizar a la serie, con el fin de eliminar el componente cíclico de la serie y quedarse únicamente con el componente tendencial de la serie, para así poder encontrar la estructura lineal tendencial que posee la serie de tiempo.

Como las tasas de crecimiento tienen comportamientos cíclicos, a continuación se observa de forma gráfica el tipo de conducta que tiene cada serie de tal forma de tener una noción sobre la existencia de patrones estacionales de importancia para ver si necesita incorporarlos en la serie, para luego desestacionalizarla. Enseguida se pueden observar los dos gráficos siguientes, el primero corresponde a la serie para la tasa de crecimiento del producto  $Y$  y el segundo para la tasa de crecimiento del capital  $K$ .

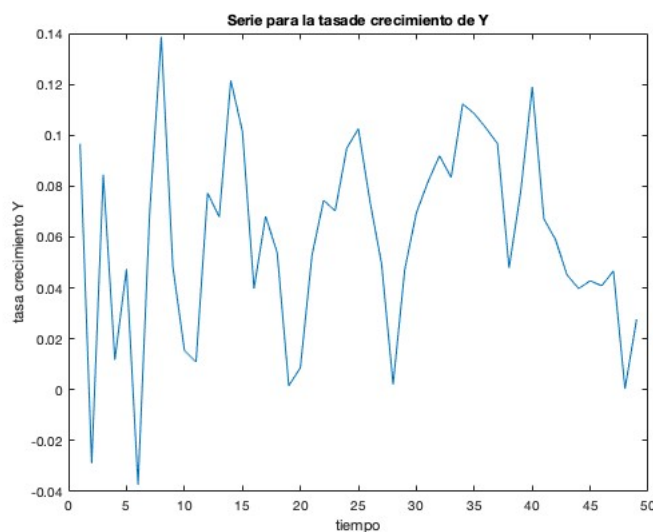


Figura 1.14: Serie Tasa Crecimiento Y

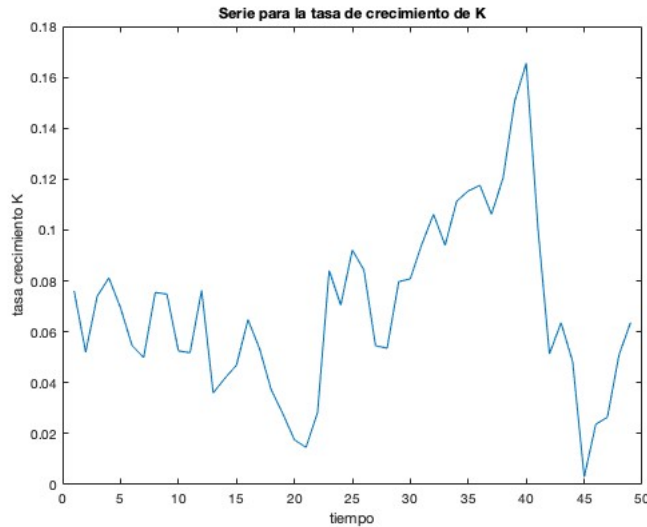


Figura 1.15: Serie Tasa Crecimiento K

### Estimación Modelo VAR

**Causalidad a la Granger.** La causalidad de Granger lo que busca es evaluar si es que el pasado de una variable, llamémosla  $Y$ , aporta o no aporta información para proyectar el futuro y presente de otra variable  $X$ . En este caso evaluamos causalidad bivariada de Granger, donde la hipótesis<sup>27</sup> corresponde a  $B(L) = 0$ , es decir que no hay nada en el pasado de  $Y$  que aporte a la proyección de  $X$ , donde

$$X_t = A(L)X_t + B(L)Y_t + \mu_{1t}$$

$$Y_t = C(L)X_t + D(L)Y_t + \mu_{2t}$$

Para evaluar la hipótesis nula anterior se requiere la utilización del siguiente estadístico<sup>28</sup>:

$$G_2 = T \frac{SSR_0 - SSR_1}{SSR_1} \sim \chi^2(p)$$

donde  $T$  es el número de observaciones que posee el modelo,  $SSR_0$  corresponde a la suma de los errores al cuadrado del modelo restringido y  $SSR_1$  corresponde a la suma de los errores al cuadrado del modelo no restringido. El test anteriormente definido tiene una distribución  $\chi^2(p)$ , lo que quiere decir que se pierden  $p$  datos. Sin embargo, para aprovechar al máximo los datos, se revisa ecuación por ecuación para ver cuál es la cantidad óptima de rezagos que hay que incluir. Para realizar lo anterior, se prueba con rezagos del 1 al 10 para lo cual utilizamos el criterio de selección de modelos Hannan-Quinn<sup>29</sup> y luego analizamos si es que los residuos resultantes son ruidos blancos, utilizando el test  $Q$  de Ljung y Box.

El criterio de Hannan-Quinn se define en base a la siguiente ecuación:

$$HQC = 2 \frac{-2l}{T} + 2 \frac{k}{T} \ln(\ln(T))$$

<sup>27</sup>Otra hipótesis posible es afirmar que  $X$  no causa en sentido de Granger a  $Y$ , evaluando  $C(L) = 0$

<sup>28</sup>En el caso de estar seguros de la normalidad de los errores, se podría utilizar el siguiente estimador:

$$G_1 = \frac{SSR_0 - SSR_1}{SSR_1} \frac{(T - 2p - 1)}{p} \sim F_{p, T-2p-1}$$

<sup>29</sup>Su elección viene de que como  $\ln(\ln(T)) > 1$  (si  $T > 15$ ), el criterio HQC impone una penalización mayor que el criterio de selección de modelos AIC (Akaike Information Criteria) al número de parámetros estimados y resulta ser más parsimonioso, además que como  $2\ln(\ln(T)) < \ln(T) (\forall T > 0)$ , el criterio de información BIC (Bayesian Information Criteria) aplica una penalización mayor que el HQC y selecciona modelos más parsimoniosos, sin embargo el criterio Hannan-Quinn es un criterio de información consistente, por lo tanto es preferido.

el cual con una log-likelihood Gaussiana, o función de verosimilitud, puede ser aproximada a:

$$HQC \simeq \ln(\hat{\sigma}^2) + 2\frac{k}{T}\ln(\ln(t))$$

El test  $Q$  de Ljung y Box se define a partir de las siguientes ecuaciones:

$$QLB = T(T+2) \sum_{s=1}^m \frac{r_s^2}{T-s} \rightarrow \chi^2(m)$$

$$r_s = \frac{\sum_{t=s+1}^T \hat{\mu}_t \hat{\mu}_{t+2}}{\sum_{t=1}^T \hat{\mu}_t^2}$$

donde  $r_s$  representa a la autocorrelación número  $s$ .

Llevando el procedimiento al modelo a estimar, lo primero que se realiza es crear matrices de rezagos de las variables de relevancia, es decir para la tasa de crecimiento del producto, que llamaremos  $y$  y la tasa de crecimiento del capital,  $k$ , para ir realizando todas las estimaciones necesarias.

Siguiendo entonces los pasos mencionados, se comprueba si la variable  $y$  causa a  $k$  a la Granger. Para lo anterior, se utiliza el criterio de información de Hannan-Quinn, como hemos mencionado anteriormente, para elegir el número de rezagos óptimos. Luego de realizar el cálculo obtenemos un número de rezagos  $p$  igual a 1, es decir el número de rezagos que minimiza el criterio de Hannan-Quinn es igual a 1. Luego, se realiza un test  $Q$  de Ljung-Box para comprobar que los rezagos sean ruidos blancos. Una vez realizados todos los pasos para construir el test  $Q$  de Ljung y Box, obtenemos un pvalue de 0.8392, por lo que no rechazamos la nula de que los residuos son ruidos blancos. Luego, hacemos el test de causalidad de Granger descrito anteriormente para verificar si  $y$  causa  $k$ . Se obtiene un p-value igual a 0.1060, por lo que podemos decir que no se rechaza la nula de que  $y$  precede estadísticamente a  $k$ .

Luego se repite el mismo proceso para ver si  $k$  causa a la Granger a  $y$ . En primer lugar, el número de rezagos que arroja, una vez realizado todos los procedimientos para el criterio HQC es 1. En segundo lugar, efectuamos el test de ruidos blancos, y obtenemos un p-value igual a 0.8664, por lo que no podemos rechazar la nula de que los residuos sean ruido blanco. Por último, observamos que según el test de causalidad a la Granger, con un p-value muy cercano a 1, la tasa de crecimiento del capital,  $k$  no causa en sentido de Granger a  $y$ .

Lo anterior es un abuso del lenguaje, pues no es que efectivamente se esté hablando de causalidad. En realidad lo que se estaría mostrando es que algunas variables preceden estadísticamente a otras, es decir, lo que ocurre en el pasado con una variable ayuda estadísticamente a ver qué pasará con la otra variable en el presente. Sin embargo eso está muy lejos de ser causalidad. Podría ser incluso que la causalidad vaya en el sentido inverso a esta precedencia estadística, o podría ser que ambas variables sean causadas por otra. En el fondo, al no tener un modelo subyacente atrás y al no tener información sobre parámetros más profundos, no podemos hablar de causalidad. Estamos hablando de causalidad a la Granger, concepto más relacionado con precedencia estadística que con causalidad propiamente tal.

**Estimación VAR.** Una vez evaluada la causalidad de Granger para ambas variables se procede a estimar y elaborar el modelo VAR. Utilizamos un modelo del tipo vector autoregresivo (VAR) cuando queremos caracterizar las interacciones simultáneas entre un grupo de variable. Un VAR es un modelo de ecuaciones simultáneas formado por un sistema de ecuaciones de forma reducida sin restringir. Que sean ecuaciones de forma reducida quiere decir que los valores contemporáneos de las variables del modelo no aparecen como variables explicativas en ninguna de las ecuaciones. Por

el contrario, el conjunto de variables explicativas de cada ecuación está constituido por un bloque de rezagos de cada una de las variables del modelo. Que sean ecuaciones no restringidas significa que aparece en cada una de ellas el mismo grupo de variables explicativas. Pueden incluirse también como variables explicativas algunas variables de naturaleza determinista, como una posible tendencia temporal, variables dummies o ficticias, estacionales, o una variable ficticia de tipo impulso o escalón, que sirve para llevar a cabo un análisis de intervención en el sistema. Por último, podría incluirse como explicativa una variable, incluso en valor contemporáneo, que pueda considerarse exógena respecto a las variables que integran el modelo VAR (Novales (2017)).

En primer lugar, se necesita encontrar el número de rezagos de  $y$  y de  $k$  que tendrá el modelo. Para la estimación del modelo se debe encontrar el valor de  $p$  que mejor se ajuste a las series. Para encontrar este valor se realizan estimaciones del modelo mediante OLS para distintas cantidades de rezagos. Los modelos a estimar tienen la siguiente estructura:

$$Y_t = C + \Phi_1 Y_{t-1} + \dots + \Phi_p Y_{t-p} + u_t$$

Lo único que cambia entre modelos es el  $p$  de estos, es decir, la cantidad de rezagos que estamos incluyendo. En total estimamos 10 modelos distintos, donde  $p$  toma valores desde el 1 hasta el 10. Luego de cada estimación calculamos sus residuos y con estos la matriz de varianzas y covarianzas  $\Omega$ . Luego de obtener cada matriz, se utiliza el criterio de Hannan-Quinn, descrito en la sección anterior, para cada estimación. Para nuestro modelo podemos definir la siguiente ecuación para el criterio:

$$HQC = \ln(\det(\hat{\Omega})) + 2 \frac{P_\theta}{T-p} \ln(\ln(T-p))$$

donde  $\hat{\Omega}$  corresponde a la matriz de varianza y covarianza estimada,  $P_\theta = n(np+1)$  y tenemos que  $n = 2$  y  $T = 39$ . Esto último se debe a que para que las estimaciones sean comparables, estas deben tener el mismo número de observaciones. Por esto, se estima sin las primeras 10 observaciones ya que el mayor  $p$  que tendremos será igual a 10. A continuación dejamos los valores del test HQC para cada estimación:

p	HQC
-14.69002	1
-14.57468	2
-14.37705	3
-14.22794	4
-14.04888	5
-13.85864	6
-13.81297	7
-13.96034	8
-13.86249	9
-13.79947	10

Dado este criterio la primera opción de modelo es un VAR(1). Con este modelo se hace la estimación con los  $(T-p)$  datos (ya no es necesario perder más observaciones que la primera que se pierde por el modelo) y se calculan los residuos. Estos residuos son testeados para ver si siguen un proceso de ruido blanco. Esto se hace mediante pruebas LRT<sup>30</sup> donde se comparan distintos modelos VAR(x) contra el modelo VAR(0). Si no se puede rechazar la hipótesis nula de que los residuos siguen un proceso VAR(0) para los distintos valores de  $x$  significa que podemos asumir que los residuos son ruido blanco. El estadístico usado es:

<sup>30</sup>Un test LRT corresponde a un Test de Razón de Verosimilitud, donde se asume normalidad de los errores. El test LRT es un test estadístico de la bondad de ajuste entre dos modelos. Se compara un modelo relativamente más complejo con otro más sencillo para ver si se ajusta significativamente mejor a un conjunto de datos concreto. Si es así, los parámetros adicionales del modelo más complejo suelen utilizarse en los análisis posteriores.

$$LRT = (T - p)(\ln(\det(\hat{\Omega}_0)) - \ln(\det(\hat{\Omega}_x)))$$

Para  $p$  tomando valores entre 1 y 10, y así seguirá una distribución  $\chi^2(n^2p)$ . Es decir, comparamos el modelo con  $p = 0$  con distintos valores de  $p$ , y vemos que efectivamente no incluir rezagos es la mejor opción para modelar los residuos. En otras palabras, queremos comprobar si con un rezago en nuestro modelo VAR, los residuos resultantes son ruidos blancos.

Lamentablemente, al hacer esto rechazamos la nula para el primer residuo, por lo que nuestros residuos no son ruidos blancos en sentido vectorial. Entonces, tenemos que optar por la segunda mejor opción de HQC y ver si estos residuos son ruidos blancos en sentido vectorial. Así, tratamos con el siguiente valor con HQC más bajo, que es el 2. Hacemos esto y no rechazamos la nula de que un VAR( $p$ ) explica mejor los residuos que un VAR(0). Sin embargo, como no se rechaza para todo el resto de  $p$  probados, concluimos que los residuos son ruidos blancos en sentido vectorial y nos quedamos con un VAR(2) para nuestro modelo. A continuación se dejan los resultados de estas estimaciones:

<b>p</b>	<b>p-value</b>
1	0.94559
2	0.99867
3	0.99999
4	0.99971
5	0.99970
6	0.99987
7	1.00000
8	0.99982
9	0.99814
10	0.99241

**IRF.** En esta sección culminaremos el proceso de estimación y caracterización del modelo VAR, graficando y analizando las funciones de impulso respuesta de las series. Para las funciones impulso respuesta, partimos por hacer la descomposición de Cholesky de la matriz de varianza y covarianza  $\Omega$ . Esto lo hacemos manualmente de tal forma que  $\Omega = ADA$ , con  $A$  una matriz triangular inferior y  $D$  una matriz diagonal, donde:

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ a_{21} & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & 1 \end{pmatrix}$$

$$D = \begin{pmatrix} d_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & d_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & d_n \end{pmatrix}$$

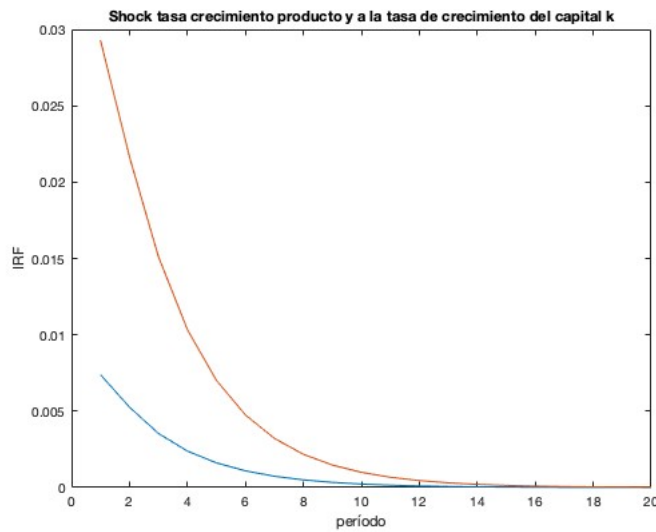
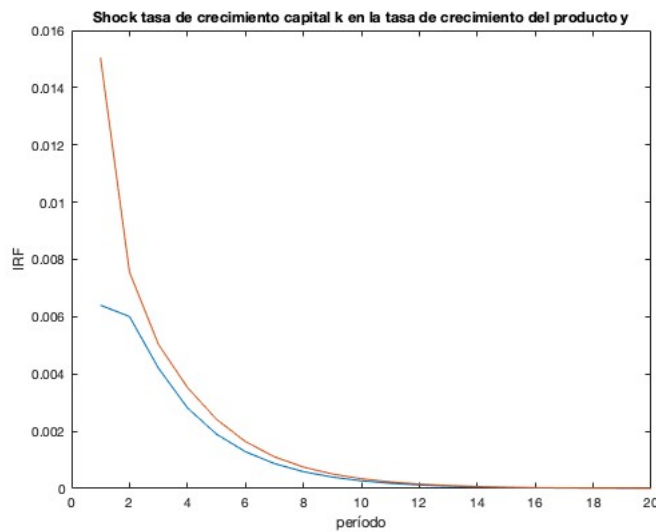
y donde  $v_t = A^{-1}\mu_t \rightarrow E(v_t v_t') = A^{-1}E(\mu_t \mu_t')A^{-1'} = D$  y las funciones de impulso respuesta ortogonalizadas son tales que:  $\mu_t = Av_t$ . Además, la respuesta de un shock de una unidad de  $v$  será:

$$\frac{\partial Y_{t+s}}{\partial v_t} = \frac{\partial Y_{t+s}}{\partial \mu_t} \frac{\partial \mu_t}{\partial v_t}, \quad \frac{\partial Y_{t+s}}{\partial v_{j,t}} = \psi_s a_j$$

donde  $a_j$  es la columna  $j$  de la matriz  $A$ .

Luego, buscamos expresiones para las matrices que acompañan a los errores rezagados en la representación  $VMA$  de nuestro  $VAR$ , dejándolas en función de las matrices que acompañan a las

variables rezagadas en la representación  $VAR$ . Realizado esto, podemos graficar la IRF hasta 20 períodos. Existen 2 combinaciones, que procedemos a mostrar a continuación, donde  $IRF_{j,k}$  es el shock en la variable  $k$  sobre la variable  $j$ :

Figura 1.16:  $IRF_{y,k}$ Figura 1.17:  $IRF_{k,y}$ 

Como estamos trabajando con modelos  $VAR$  sabemos que el orden afecta a la matriz de varianzas y covarianzas, entonces afecta a la descomposición que finalmente afecta a las  $IRF$ . Dicho esto, se muestran las IRF usando el siguiente orden:  $y$  primero y luego  $k$ , lo que ordenará la descomposición de varianzas.

Para la descomposición de la varianzas utilizamos la matriz  $P$ , donde  $\hat{\Omega} = PP' = ADA$ , utilizando las matrices  $A$  y  $D$  que se habían calculado anteriormente. Para evaluar la contribución de cada innovación  $j$ , se utiliza:

$$MSE(\hat{Y}_{t+s|t}) = \sum_{j=1}^n [p_j p_j' + \psi_1 p_j p_j' \psi_1' + \dots + \psi_{s-1} p_j p_j' \psi_{s-1}']$$

donde  $p$  son los elementos de la matriz  $P$ . Se obtienen los datos y se computan las IRF.

#### 1.7.4. Anexo 3: Resultados con priors alternativos



		Australia								
		Minnesota Diagonal	Minnesota Full Var	Normal Difusa	Dummy	Normal Wishart AR	Normal Wishart Id.	Indep. Normal Wishart AR	Indep. Normal Wishart Identidad	x
DG	Efecto Promedio	-0,05 %	-0,05 %	-0,02 %	0,06 %	-0,05 %	-0,08 %	-0,03 %	-0,11 %	-0,04 %
	DS	0,11 %	0,10 %	0,03 %	0,33 %	0,08 %	0,25 %	0,06 %	0,17 %	0,14 %
	Tiempo en Disipar	4,0	3,0	2,0	1,0	4,0	3,0	2,0	6,0	3,1
	Efecto 5 años	-0,96 %	-0,90 %	-0,33 %	1,14 %	-0,86 %	-1,60 %	-0,54 %	-1,78 %	-0,73 %
	Efecto 10 años	-1,03 %	-0,96 %	-0,36 %	1,13 %	-0,98 %	-1,60 %	-0,57 %	-2,05 %	-0,80 %
DH	Efecto Promedio	0,06 %	0,06 %	0,05 %	0,04 %	0,06 %	0,02 %	0,05 %	0,02 %	0,05 %
	DS	0,13 %	0,15 %	0,14 %	0,25 %	0,12 %	0,09 %	0,14 %	0,02 %	0,13 %
	Tiempo en Disipar	3,0	4,0	3,0	1,0	4,0	1,0	3,0	-	2,4
	Efecto 5 años	1,09 %	1,20 %	1,05 %	0,90 %	1,03 %	0,47 %	1,06 %	0,21 %	0,88 %
	Efecto 10 años	1,13 %	1,25 %	1,07 %	0,89 %	1,10 %	0,47 %	1,09 %	0,30 %	0,91 %
DC	Efecto Promedio	0,09 %	0,10 %	0,08 %	0,03 %	0,10 %	0,07 %	0,08 %	0,15 %	0,09 %
	DS	0,22 %	0,23 %	0,21 %	0,14 %	0,22 %	0,17 %	0,22 %	0,19 %	0,20 %
	Tiempo en Disipar	4,0	4,0	4,0	1,0	4,0	5,0	4,0	9,0	4,4
	Efecto 5 años	1,81 %	1,84 %	1,61 %	0,54 %	1,83 %	1,39 %	1,61 %	2,16 %	1,60 %
	Efecto 10 años	1,88 %	1,91 %	1,64 %	0,53 %	1,92 %	1,47 %	1,65 %	2,79 %	1,72 %
DM	Efecto Promedio	-0,03 %	-0,04 %	-0,04 %	-0,03 %	-0,03 %	-0,02 %	-0,03 %	-0,02 %	-0,03 %
	DS	0,08 %	0,10 %	0,10 %	0,19 %	0,09 %	0,08 %	0,10 %	0,03 %	0,10 %
	Tiempo en Disipar	2,0	3,0	2,0	1,0	2,0	1,0	2,0	1,0	1,8
	Efecto 5 años	-0,62 %	-0,71 %	-0,72 %	-0,66 %	-0,60 %	-0,41 %	-0,68 %	-0,34 %	-0,59 %
	Efecto 10 años	-0,63 %	-0,72 %	-0,72 %	-0,65 %	-0,59 %	-0,38 %	-0,68 %	-0,38 %	-0,59 %

		Chile								
		Minnesota Diagonal	Minnesota Full Var	Normal Difusa	Dummy	Normal Wishart AR	Normal Wishart Id.	Indep. Normal Wishart AR	Indep. Normal Wishart Identidad	x
DG	Efecto Promedio	0,30 %	0,26 %	0,26 %	0,25 %	0,31 %	0,27 %	0,26 %	0,30 %	0,28 %
	DS	0,70 %	0,64 %	0,68 %	0,85 %	0,66 %	0,68 %	0,69 %	0,50 %	0,67 %
	Tiempo en Disipar	6	5	5	3	7	5	5	9	5,6

Table 1.30 continued from previous page

		Chile								
	Efecto 5 años	5,68 %	5,07 %	5,08 %	4,92 %	5,81 %	5,37 %	5,15 %	5,12 %	5,27 %
	Efecto 10 años	5,89 %	5,21 %	5,17 %	4,99 %	6,15 %	5,44 %	5,25 %	5,95 %	5,51 %
DH	Efecto Promedio	-0,36 %	-0,31 %	-0,28 %	-0,20 %	-0,42 %	-0,38 %	-0,29 %	-0,67 %	-0,36 %
	DS	0,81 %	0,76 %	0,74 %	0,69 %	0,86 %	0,82 %	0,77 %	0,94 %	0,80 %
	Tiempo en Disipar	7	6	5	3	8	7	5	13	6,8
	Efecto 5 años	-6,79 %	-6,04 %	-5,50 %	-4,00 %	-7,76 %	-7,15 %	-5,77 %	-10,31 %	-6,66 %
	Efecto 10 años	-7,11 %	-6,23 %	-5,60 %	-4,03 %	-8,34 %	-7,53 %	-5,87 %	-12,70 %	-7,18 %
DC	Efecto Promedio	0,42 %	0,38 %	0,35 %	0,25 %	0,48 %	0,41 %	0,35 %	0,71 %	0,42 %
	DS	0,94 %	0,93 %	0,93 %	0,86 %	0,96 %	0,86 %	0,91 %	1,04 %	0,93 %
	Tiempo en Disipar	7	6	5	3	8	7	5	14	6,9
	Efecto 5 años	7,92 %	7,41 %	6,89 %	5,01 %	8,80 %	7,71 %	6,79 %	11,17 %	7,71 %
	Efecto 10 años	8,30 %	7,64 %	7,01 %	5,06 %	9,51 %	8,13 %	6,91 %	13,46 %	8,25 %
DM	Efecto Promedio	-0,31 %	-0,32 %	-0,28 %	-0,25 %	-0,35 %	-0,26 %	-0,29 %	-0,65 %	-0,34 %
	DS	0,73 %	0,79 %	0,74 %	0,84 %	0,77 %	0,66 %	0,77 %	0,96 %	0,78 %
	Tiempo en Disipar	6	6	5	3	6	5	5	13	6,1
	Efecto 5 años	-5,97 %	-6,23 %	-5,54 %	-4,85 %	-6,58 %	-5,12 %	-5,75 %	-10,17 %	-6,27 %
	Efecto 10 años	-6,18 %	-6,40 %	-5,63 %	-4,91 %	-6,90 %	-5,15 %	-5,84 %	-12,40 %	-6,68 %

		Estados Unidos								
		Minnesota Diagonal	Minnesota Full Var	Normal Difusa	Dummy	Normal Wishart AR	Normal Wishart Id.	Indep. Normal Wishart AR	Indep. Normal Wishart Identidad	x
DG	Efecto Promedio	0,14 %	0,04 %	0,04 %	0,05 %	0,10 %	0,65 %	0,04 %	0,21 %	0,16 %
	DS	0,29 %	0,16 %	0,15 %	0,23 %	0,24 %	0,69 %	0,16 %	0,29 %	0,28 %
	Tiempo en Disipar	6	2	1	2	5	18	2	9	5,6
	Efecto 5 años	2,68 %	0,81 %	0,76 %	1,01 %	2,08 %	3,70 %	0,81 %	3,23 %	1,89 %
	Efecto 10 años	2,89 %	0,81 %	0,75 %	0,99 %	2,09 %	5,05 %	0,80 %	3,99 %	2,17 %
DH	Efecto Promedio	-0,12 %	-0,05 %	-0,05 %	-0,04 %	-0,07 %	-0,91 %	-0,05 %	-0,17 %	-0,19 %
	DS	0,29 %	0,22 %	0,23 %	0,21 %	0,26 %	1,73 %	0,23 %	0,25 %	0,43 %

Table 1.31 continued from previous page

		Estados Unidos								
	<b>Tiempo en Disipar</b>	5	2	2	2	3	12	2	9	4,6
	<b>Efecto 5 años</b>	-2,48 %	-1,11 %	-1,10 %	-0,93 %	-1,84 %	-2,35 %	-1,15 %	-2,72 %	-1,71 %
	<b>Efecto 10 años</b>	-2,54 %	-1,08 %	-1,08 %	-0,87 %	-1,52 %	-3,76 %	-1,11 %	-3,32 %	-1,91 %
DC	<b>Efecto Promedio</b>	0,05 %	0,03 %	0,02 %	0,03 %	0,03 %	1,02 %	0,03 %	-0,03 %	0,15 %
	<b>DS</b>	0,15 %	0,13 %	0,11 %	0,15 %	0,16 %	2,24 %	0,13 %	0,05 %	0,39 %
	<b>Tiempo en Disipar</b>	3	1	1	2	3	10	1	3	3,0
	<b>Efecto 5 años</b>	1,15 %	0,63 %	0,49 %	0,68 %	1,01 %	0,76 %	0,59 %	-0,54 %	0,60 %
	<b>Efecto 10 años</b>	1,10 %	0,62 %	0,48 %	0,61 %	0,72 %	7,02 %	0,56 %	-0,62 %	1,31 %
DM	<b>Efecto Promedio</b>	-0,14 %	-0,07 %	-0,07 %	-0,07 %	-0,10 %	-1,28 %	-0,07 %	-0,13 %	-0,24 %
	<b>DS</b>	0,31 %	0,29 %	0,29 %	0,38 %	0,32 %	2,31 %	0,29 %	0,21 %	0,55 %
	<b>Tiempo en Disipar</b>	5	2	2	2	4	13	2	6	4,5
	<b>Efecto 5 años</b>	-2,68 %	-1,48 %	-1,42 %	-1,47 %	-2,49 %	-5,90 %	-1,49 %	-2,20 %	-2,39 %
	<b>Efecto 10 años</b>	-2,78 %	-1,46 %	-1,40 %	-1,45 %	-2,23 %	-16,17 %	-1,46 %	-2,49 %	-3,68 %

		México								
		Minnesota Diagonal	Minnesota Full Var	Normal Difusa	Dummy	Normal Wishart AR	Normal Wishart Id.	Indep. Normal Wishart AR	Indep. Normal Wishart Identidad	x
DG	<b>Efecto Promedio</b>	-0,14 %	-0,13 %	-0,12 %	-0,06 %	-0,15 %	-0,09 %	-0,12 %	-0,25 %	-0,13 %
	<b>DS</b>	0,30 %	0,27 %	0,27 %	0,23 %	0,31 %	0,20 %	0,27 %	0,35 %	0,28 %
	<b>Tiempo en Disipar</b>	5	5	5	2	6	6	5	10	5,5
	<b>Efecto 5 años</b>	-2,68 %	-2,44 %	-2,27 %	-1,23 %	-2,83 %	-1,63 %	-2,28 %	-3,87 %	-2,40 %
	<b>Efecto 10 años</b>	-2,85 %	-2,61 %	-2,38 %	-1,27 %	-3,07 %	-1,79 %	-2,40 %	-4,75 %	-2,64 %
DH	<b>Efecto Promedio</b>	0,01 %	0,02 %	0,01 %	-0,03 %	0,02 %	0,04 %	0,01 %	0,08 %	0,02 %
	<b>DS</b>	0,03 %	0,04 %	0,02 %	0,10 %	0,04 %	0,07 %	0,02 %	0,11 %	0,05 %
	<b>Tiempo en Disipar</b>	1	2	0	1	2	3	1	6	2,0
	<b>Efecto 5 años</b>	0,28 %	0,35 %	0,19 %	-0,56 %	0,38 %	0,62 %	0,23 %	1,25 %	0,34 %
	<b>Efecto 10 años</b>	0,29 %	0,38 %	0,21 %	-0,59 %	0,41 %	0,70 %	0,26 %	1,54 %	0,40 %
	<b>Efecto Promedio</b>	0,04 %	0,03 %	0,03 %	-0,01 %	0,02 %	0,03 %	0,02 %	-0,04 %	0,02 %

Table 1.32 continued from previous page

		México								
	DS	0,09 %	0,06 %	0,07 %	0,09 %	0,05 %	0,07 %	0,06 %	0,04 %	0,06 %
	Tiempo en Disipar	3	2	2	2	2	3	2	4	2,5
	Efecto 5 años	0,79 %	0,49 %	0,54 %	-0,16 %	0,43 %	0,61 %	0,48 %	-0,47 %	0,34 %
	Efecto 10 años	0,84 %	0,53 %	0,55 %	-0,14 %	0,47 %	0,64 %	0,49 %	-0,71 %	0,34 %
DM	Efecto Promedio	-0,62 %	-0,61 %	-0,55 %	-0,40 %	-0,64 %	-0,56 %	-0,56 %	-0,60 %	-0,57 %
	DS	1,29 %	1,29 %	1,26 %	1,38 %	1,27 %	1,29 %	1,27 %	0,84 %	1,24 %
	Tiempo en Disipar	8	8	7	4	9	7	8	13	4,5
	Efecto 5 años	-11,475 %	-11,374 %	-10,566 %	-7,837 %	-11,642 %	-10,676 %	-10,713 %	-9,284 %	-2,39 %
	Efecto 10 años	-12,251 %	-12,193 %	-11,069 %	-8,080 %	-12,665 %	-11,194 %	-11,251 %	-11,430 %	-3,68 %

		Japón								
		Minnesota Diagonal	Minnesota Full Var	Normal Difusa	Dummy	Normal Wishart AR	Normal Wishart Id.	Indep. Normal Wishart AR	Indep. Normal Wishart Identidad	x
DG	Efecto Promedio	-0,20 %	-0,18 %	-0,17 %	-0,12 %	-0,22 %	-0,18 %	-0,17 %	-0,30 %	-0,19 %
	DS	0,41 %	0,40 %	0,41 %	0,35 %	0,42 %	0,37 %	0,39 %	0,43 %	0,40 %
	Tiempo en Disipar	6	6	5	4	7	5	5	11	6,1
	Efecto 5 años	-3,70 %	-3,38 %	-3,32 %	-2,54 %	-4,02 %	-3,26 %	-3,23 %	-4,68 %	-3,52 %
	Efecto 10 años	-3,97 %	-3,56 %	-3,45 %	-2,45 %	-4,43 %	-3,46 %	-3,36 %	-5,71 %	-3,80 %
DH	Efecto Promedio	0,22 %	0,20 %	0,18 %	0,13 %	0,29 %	0,17 %	0,18 %	0,32 %	0,21 %
	DS	0,43 %	0,42 %	0,41 %	0,41 %	0,48 %	0,43 %	0,42 %	0,46 %	0,43 %
	Tiempo en Disipar	7	6	6	4	9	5	5	11	6,6
	Efecto 5 años	4,00 %	3,69 %	3,46 %	2,65 %	4,87 %	3,19 %	3,49 %	5,02 %	3,79 %
	Efecto 10 años	4,41 %	3,93 %	3,63 %	2,63 %	5,65 %	3,35 %	3,65 %	6,15 %	4,18 %
DC	Efecto Promedio	-0,18 %	-0,16 %	-0,14 %	-0,10 %	-0,23 %	-0,21 %	-0,14 %	-0,31 %	-0,18 %
	DS	0,36 %	0,34 %	0,33 %	0,28 %	0,41 %	0,42 %	0,33 %	0,41 %	0,36 %
	Tiempo en Disipar	6	5	5	4	7	7	5	11	6,3
	Efecto 5 años	-3,29 %	-2,98 %	-2,77 %	-2,09 %	-4,05 %	-3,85 %	-2,71 %	-4,56 %	-3,29 %
	Efecto 10 años	-3,56 %	-3,14 %	-2,88 %	-1,97 %	-4,52 %	-4,21 %	-2,82 %	-5,79 %	-3,61 %

Table 1.33 continued from previous page

		<b>Japón</b>								
<b>DM</b>	<b>Efecto Promedio</b>	-0,29 %	-0,24 %	-0,23 %	-0,07 %	-0,42 %	-0,24 %	-0,21 %	-0,18 %	-0,23 %
	<b>DS</b>	0,54 %	0,49 %	0,50 %	0,30 %	0,65 %	0,61 %	0,47 %	0,21 %	0,47 %
	<b>Tiempo en Disipar</b>	8	7	6	1	11	5	6	10	6,8
	<b>Efecto 5 años</b>	-5,04 %	-4,38 %	-4,26 %	-1,33 %	-6,90 %	-4,70 %	-3,93 %	-2,45 %	-4,12 %
	<b>Efecto 10 años</b>	-5,61 %	-4,73 %	-4,52 %	-1,43 %	-8,25 %	-4,81 %	-4,14 %	-3,26 %	-4,59 %

### 1.7.5. Anexo 4: Regresiones de submuestra de países

En lo que sigue se mostrarán resultados para la submuestra de países conformada por: Australia, Brasil, Chile, Japón, Estados Unidos, México, Indonesia y China. El cuadro 1.34 muestra la estimación del modelo mostrado en la ecuación 3.6 para la sub-muestra de países<sup>31</sup>. En los resultados que entrega este cuadro se observa que los desastres hidrológicos y meteorológicos tienen un efecto positivo y significativo en el crecimiento. Por otra parte, también se destaca la importancia de la apertura comercial, el desarrollo financiero y el crecimiento de capital humano para el crecimiento económico. Por último, la variable de deterioro de capital natural muestra un efecto negativo.

Tabla 1.34: Variables que afectan el crecimiento de largo plazo, submuestra de países

VARIABLES	Crecimiento <sub>t</sub>
Crecimiento <sub>t-1</sub>	0.0161 (0.0319)
Geofísico	-0.0609 (0.120)
Hidrológico	0.484*** (0.138)
Climatológico	0.0914 (0.319)
Meteorológico	0.701*** (0.201)
Crec K	21.00*** (6.020)
Crec pob	-77.22* (49.58)
Crec cons	65.36*** (2.475)
Crec gob	5.290 (6.150)
Depreciación	-148.2*** (35.81)
ln(apertura)	2.562*** (0.609)
Desarrollo Fin	1.432** (0.755)
Crec KH	56.69* (38.95)
Prop urban	-0.105*** (0.0357)
Democracia	0.00975 (0.0233)
Agotamiento RN	-0.00610 (0.0488)
Constante	14.31*** (3.314)
Observaciones	259
Número de países	7

Período de estimación: 1980-2020

Errores estándar robustos en paréntesis

\*\*\* p<0.05, \*\* p<0.10, \* p<0.15

Por otra parte, la tabla 1.35 realiza una estimación del modelo anterior pero en series de tiempo para cada país individualmente en el periodo 1980-2019, este tipo de análisis permite observar efectos

<sup>31</sup>En estas estimaciones se deja fuera la variable de Deforestación debido a que para 7 de los 8 países de la muestra esta tiene valor 0 para todo el periodo de estudio.

individuales de cada desastre y variable en el crecimiento de largo plazo de los países<sup>32</sup>.

Con respecto a los desastres geofísicos, estos se relacionan positivamente con el crecimiento en el caso de México y negativo para China. Los desastres hidrológicos poseen un efecto positivo para Australia y México. Por su parte, los desastres climatológicos muestran un efecto negativo para Australia y positivo para China. Por último, los desastres de tipo meteorológico muestran efectos positivos nuevamente para Australia y México.

Enfocándose en el resto de variables, se destacan las del crecimiento del consumo, apertura comercial y crecimiento de capital humano en sus aportes para el crecimiento. Finalmente, el agotamiento de recursos naturales muestra un efecto generalmente negativo.

Tabla 1.35: Variables que afectan el crecimiento de largo plazo, series de tiempo

VARIABLES	Australia	Brasil	Chile	Japón	EEUU	México	Indonesia	China
Crecimiento <sub>t-1</sub>	-0.174 (0.228)	-0.0876 (0.182)	-0.0645 (0.134)	-0.0255 (0.209)	-0.243*** (0.0978)	-0.298*** (0.0666)	-0.280* (0.178)	0.260* (0.161)
Geofísico	0.485 (0.984)	-0.0851 (1.928)	-0.548 (1.056)	-0.582 (0.597)	-0.218 (0.258)	0.648* (0.415)	-0.915 (1.433)	-4.119*** (1.205)
Hidrológico	0.757* (0.459)	-0.313 (1.798)	0.262 (0.607)	-0.660 (0.696)	-0.578 (0.421)	0.553** (0.309)	0.955 (0.904)	
Climatológico	-1.165*** (0.525)	0.388 (0.547)	0.478 (0.638)	-1.528 (1.114)	-0.373 (0.391)	-0.551 (0.646)	-0.245 (0.673)	1.266*** (0.505)
Meteorológico	0.831* (0.541)	0.866 (0.611)	0.804 (0.597)	-1.126 (1.015)		1.863*** (0.620)	-1.627 (1.337)	-1.150 (1.341)
Crec K	83.38 (80.94)	85.69 (84.91)	27.15 (51.35)	37.09 (47.75)	149.5** (76.68)	163.0*** (31.93)	107.0*** (45.15)	5.353 (14.13)
Crec pob	-45.54 (108.2)	568.6 (669.8)	288.8 (314.1)	-484.0 (513.2)	-295.3*** (119.7)	-460.5 (522.3)	-1,369*** (450.1)	248.0 (195.5)
Crec cons	29.44 (46.43)	53.56*** (14.18)	69.98*** (9.845)	123.9*** (39.45)	120.1*** (19.43)	70.02*** (8.054)	19.86 (21.00)	48.84*** (16.27)
Crec gob	11.90 (20.04)	15.84** (8.096)	9.706 (20.09)	-2.462 (46.40)	-37.90*** (10.79)	-16.01* (10.19)	8.599 (10.49)	-7.128 (10.32)
Depreciación	-180.8 (245.7)	-206.9 (302.2)	-36.37 (116.6)	-512.5 (412.8)	-477.9* (314.5)	-834.3*** (201.4)	-849.0* (550.0)	-945.7*** (303.2)
ln(apertura)	6.426 (4.705)	4.513 (3.850)	11.39** (6.328)	8.370** (4.502)	4.607 (3.526)	-1.445 (1.819)	-9.607** (4.656)	8.260*** (1.704)
Desarrollo Fin	1.002 (1.941)	2.677 (8.250)	-5.811 (7.312)	0.769 (3.416)	-7.798* (4.800)	8.609 (7.985)	-15.25** (8.821)	11.89*** (4.606)
Crec KH	335.8*** (128.2)	151.8 (117.9)	-213.8 (534.7)	349.9 (1,291)	-41.15 (174.1)	484.7** (258.4)	-117.9 (102.2)	173.6* (113.6)
Prop urban	-1.133 (1.006)	0.260 (0.428)	0.228 (1.018)	-0.0327 (0.408)	0.999 (0.885)	0.802 (0.688)	-0.568*** (0.267)	-0.293*** (0.120)
Democracia		0.281 (0.356)	-0.324** (0.180)		-0.266 (0.321)	-0.377** (0.198)		
Agotamiento RN	-0.122 (0.413)	1.013 (0.965)	-0.137 (0.231)	-509.5** (295.9)	-0.405 (0.328)	0.340* (0.206)	0.464 (0.343)	-0.183* (0.110)
Constante	105.2 (79.47)	-22.04 (51.45)	-11.76 (87.86)	37.46 (37.49)	-44.19 (62.77)	-36.56 (56.95)	75.65** (39.26)	69.89*** (19.86)
Observaciones	38	38	38	38	38	38	38	38
R-cuadrado	0.605	0.824	0.928	0.781	0.874	0.958	0.823	0.851

Período de estimación: 1980-2019

Errores estándar robustos en paréntesis

\*\*\* p<0.05, \*\* p<0.10, \* p<0.15

<sup>32</sup>Vale decir, para los países de Australia, Japón y China la variable de democracia fue eliminada por multicolinealidad debido a que tiene el mismo valor durante toda la muestra. Por su parte, Indonesia no tiene datos para la variable de democracia por lo que se muestra su estimación sin incluir esta variable.

## Capítulo 2

# Modelos Panel VAR Bayesianos y Efectos Indirectos en Desastres Naturales

### 2.1. Introducción

El interés del presente capítulo es analizar las características conjuntas que presentan los sistemas económicos y cómo estas se relacionan a su respuesta a los shocks de desastres naturales. En particular, en qué medida se aprecian diferencias en las trayectorias de respuesta de los países con altos ingresos versus países con bajos ingresos, entendiendo que el nivel de ingreso también se relaciona con el conjunto de características que estos presentan y pueden estar afectando la capacidad de respuesta y sus trayectorias de ajuste.

Metodológicamente, se sigue trabajando con la clasificación de desastres y los criterios para el estudio de sus efectos -que dependen de su naturaleza geológica, meteorológica, hidrológica o climatológica- utilizada en el capítulo 1. El periodo considerado será entre las fechas 1970-2019 y las variables empleadas afectarán al panel de dos formas: un grupo de ellas serán propias de cada país y el otro grupo considerará variables transversales entre ellos.

En cuanto al análisis empírico, se emplea un modelo de Panel VAR Bayesiano que incorpora un conjunto de variables exógenas (PBVARX, por sus siglas en inglés), que permite apreciar las características comunes que existen entre los diferentes grupos de países. La utilización de este tipo de modelos se fundamenta de su tendencia a capturar la dinámica de la interdependencia de datos, sin necesidad de imponer una gran cantidad de restricciones sobre los parámetros del modelo. En este sentido, se quiere capturar la heterogeneidad presente en este tipo de economías. Además, el enfoque bayesiano permite una representación más parsimoniosa para las funciones impulso respuesta, así como también, estudiar la contribución del uso de *priors* en este ámbito de análisis y las características de las respuestas de las economías.

El análisis de los efectos directos e indirectos de los desastres exige un enfoque más matizado. Los efectos directos incluyen los daños relacionados a la vida y las estructuras humanas, mientras los efectos indirectos se cuantifican en términos de la producción económica que se pierde tras un desastre. Esto último puede ser producto tanto de la pérdida directa de activos productivos, como a que la reconstrucción priva de recursos a sus usuarios anteriores, o a una menor eficiencia de los procesos establecidos de producción y distribución (e.g. el desplome de un puente que causa una costosa desviación de los cargamentos). Bien podría ser que las economías más desarrolladas acusan más los efectos directos —tienen activos físicos más valiosos que perder en un desastre— y que las economías en desarrollo acusan más los indirectos, tanto por los motivos anteriormente expuestos, como debido a que muchas de ellas se encontraban en una senda de crecimiento de la



producción más empujada antes del desastre, por lo que experimentan una baja más pronunciada del crecimiento.

El capítulo se ordena como sigue. En primer lugar, se hace un repaso de la literatura en torno a las características de este tipo de modelos, su aplicación en el ámbito de desastres naturales, y cómo al análisis bayesiano contribuye a este estudio. Luego, se expone el marco conceptual de este tipo de modelos, la forma de estimación y el modelo a estimar. Finalmente se presentan los resultados y las conclusiones en torno a los aportes y limitaciones metodológicas.

## 2.2. Literatura en torno a los Modelos PBVAR

### 2.2.1. Modelos PVAR y PBVAR

El campo de la macroeconomía estudia las variables agregadas que afectan a cada uno de los países que participan en esta (ahora globalizada) red de comercio, utilizando modelos que se han debido validar con diferentes herramientas matemáticas y estadísticas. Hoy es difícil entender que un país funcione de manera aislada y, por lo mismo, cada evento que sucede en un territorio afecta también a sus vecinos y/o socios comerciales. A esto nos referimos con “economía global”. Es en este contexto que se desenvuelven los modelos de tipo Panel de Vectores Autorregresivos (PVAR) y su especificación particular que se estudia en los párrafos siguientes, a través de la metodología bayesiana (PBVAR).

La metodología de los PVAR nace en respuesta a la rigurosidad y difíciles especificaciones exigidas por los modelos de equilibrio general dinámicos estocásticos (DGSE, por sus siglas en inglés), tal como expone Canova y Ciccarelli (2013). Este tipo de modelos han sido estudiados en una variedad de temas aplicados a la macroeconomía y el desarrollo de políticas públicas, así como para medir la transmisión de un shock a través del tiempo. En un modelo PVAR, cada una de las variables son de tipo endógena (aunque existen variaciones que admiten variables exógenas) y se encuentran interrelacionadas entre sí, lo que es denominado “interdependencia dinámica”. Por lo tanto, un shock va generando efectos en el tiempo subsiguiente, en cada una de las variables. Por ejemplo, se han estudiado los efectos y generado indicadores de shocks inflacionarios en países pertenecientes al G7 o del mediterráneo (Canova y Ciccarelli, 2012), y se han elaborado modelos dada la disponibilidad de datos y registros estadísticos de oficinas, Bancos Centrales e instituciones dedicadas a la recolección de información (Long y Plosser, 1983).

Al compartir el mismo desarrollo teórico tanto en su estructura como en sus fundamentos, es que los PVAR han heredado también las críticas que han sugerido la literatura de los modelos VAR, los que se enfocan en discutir las restricciones asociadas a los modelos, la significancia de los coeficientes a nivel conjunto en vez de nivel individual, la identificación de los parámetros, entre otros (Cooley y Le Roy, 1983; Chari et al, 2008). Esto hace necesario que su utilización sea trabajada con cuidado y de forma conjunta a otras metodologías, como los modelos DGSE mencionados anteriormente los cuales siguen teniendo aceptación en la comunidad científica en este último tiempo.

### 2.2.2. Su aplicación en el estudio de desastres naturales

Se aprecia una amplia investigación y aplicación de modelos PVAR en torno a desastres naturales, particularmente en el análisis de su efecto en el crecimiento, y la relevancia del gasto público. Estudios anteriores aplican estos modelos diferenciando los efectos entre países de altos y bajos ingresos, o bien, entre países con alto y bajo nivel de desigualdad. A continuación, se mencionan algunos estudios relevantes en este ámbito.

- **Raddatz (2007):** Utilizando un modelo PVAR, Raddatz (2007) estima el efecto de las per-

turbaciones exógenas en el PIB de 40 países de bajos ingresos según la clasificación del Banco Mundial, durante el periodo 1965-1997. Las perturbaciones exógenas consideradas, además de los desastres, son fluctuaciones en el precio de productos básicos, en las tasas financieras internacionales y en el nivel de actividad económica de los países desarrollados. Los resultados muestran que, a pesar de que estas perturbaciones externas tienen un pequeño pero significativo impacto en el PIB per cápita en estos países, solo permiten explicar una pequeña parte de la varianza total del PIB per cápita de esos países. Incluso en el largo plazo no permiten explicar más de un 1 %.

- **Melecky y Raddatz (2011):** Utilizó un enfoque PVAR y amplió la muestra a 112 países durante el periodo 1975-2006. Los resultados mostraron que los países más pobres son más vulnerables a los fenómenos climáticos. El estudio también indicó que los flujos de ayuda exterior han contribuido ligeramente a mitigar los efectos adversos de las catástrofes naturales.
- **Noy y Nualsri (2011):** Empleando datos de panel para el periodo 1970-2003, Noy (2011) demostró que los países en vías del desarrollo se han enfrentado a un impacto mucho mayor en sus macroeconomías después de un desastre natural que los países desarrollados.
- **Cunado y Ferreira (2014):** Utilizando un modelo PVAR para analizar el impacto económico de las inundaciones en 118 países entre 1985 y 2008, encontraron que los shocks por inundaciones tienden a tener un impacto positivo en el crecimiento económico.
- **Berlemann y Wenzel (2014):** Emplean datos tipo panel para 153 países durante el periodo 1960-2002, concluyen que la sequía tiene un impacto negativo en el crecimiento económico a largo plazo, tanto en países desarrollados como en vías de desarrollo.
- **Borda, Manioc y Montauban (2000):** Utilizan un modelo PVAR para estudiar la trayectoria del PIB, el tipo de cambio real, el índice de precios al consumo y el tipo de interés real mundial en 12 países del Caribe, con el objetivo de comprender el impacto de la política monetaria estadounidense en sus economías. Al igual que **Hoffmaister (1998)**, dividieron el estudio en dos grupos de países para ver los efectos de los diferentes regímenes de tipo de cambio. Sus resultados muestran que, para ambos grupos, los shocks estudiados tienen efectos importantes a largo plazo.
- **Uribe y Yue (2006):** Estudian la relación entre los tipos de interés en el mundo y sus diferenciales entre países a través de un sistema VAR de primer orden. Explican los movimientos de las variables agregadas bajo diferentes shocks identificados. Su conclusión sugiere que los diferenciales de los países desempeñan un importante papel en la propagación de las perturbaciones en los ciclos económicos de los mercados emergentes.
- **Noy y Nualsri (2011):** Vinculan el impacto fiscal al comportamiento político de los gobiernos. Constatan que, tras una catástrofe, los países desarrollados adoptan políticas contracíclicas mientras que los países en desarrollo adoptan una postura más procíclica.
- **Scott-Joseph (2010):** Explora empíricamente los efectos de los desastres naturales sobre la ciclicidad de la política fiscal, utilizando un panel de los miembros de la Unión Monetaria del Caribe Oriental (ECCU, por sus siglas en inglés) para el período comprendido entre 1980 a 2008. Sus conclusiones indican que las catástrofes naturales ejercen presión sobre los gobiernos para aplicar políticas fiscales procíclicas, e identifica la deuda externa del sector público como el canal más importante a través del cual el gasto por desastres naturales afecta a la ciclicidad fiscal. En la que quizá sea la única investigación empírica que se centra explícitamente en el impacto de los desastres naturales sobre la deuda.
- **Acevedo (2014):** Utiliza datos de panel y un modelo Autorregresivo Vectorial con desastres naturales como variable exógena para examinar sus efectos en el PIB per cápita y su relación con la deuda. Encuentra que tanto las tormentas como las inundaciones tienen un efecto

negativo sobre el crecimiento, y que, a pesar de su insignificancia estadística, la deuda aumenta con las inundaciones pero no con las tormentas. Sus datos sugieren, además, que el papel de la deuda en la reducción de los efectos negativos de las tormentas es bajo.

- **Ouattara y Strobl (2013):** También emplearon un modelo PVAR para estimar el impacto de los huracanes en un grupo de 18 países del Caribe, durante el período comprendido entre 1970 y 2006. Encontraron que los huracanes provocaron un aumento a corto plazo del gasto público lo que empeoró el déficit presupuestario nacional en los países estudiados.
- **Miao, Hou y Abrigo (2018):** Examinan las implicaciones fiscales de los daños causados por los desastres naturales a nivel estatal en Estados Unidos. En concreto, encontraron que los desastres naturales aumentaron el gasto total de los gobiernos estatales y también las transferencias, mientras que tienen poco impacto en los ingresos totales de origen propio de los estados. Este hallazgo sugiere que los gastos adicionales inducidos por los desastres a nivel estatal se financian principalmente a través del gobierno federal, el cual asume la mayor parte de los costes fiscales ex-post de las catástrofes naturales.
- **Vu y Noy (2015):** Estudiaron los impactos económicos de los desastres naturales en la renta y la inversión en China, descubriendo que las catástrofes naturales se asocian a una menor renta per cápita y a una mayor inversión en activos fijos (debido a la reconstrucción de las infraestructuras dañadas) en las provincias afectadas a corto plazo.
- **Guo et al. (2015):** Encuentran que los desastres naturales no tienen efectos significativos en la tasa de crecimiento del PIB a nivel provincial, mientras que los desastres meteorológicos conducen a un mayor crecimiento económico al aumentar la inversión en capital humano.
- **Chen, Luo y Pan (2013):** Investigaron la relación entre el desarrollo económico y los daños causados por las catástrofes en China, demostrando que el crecimiento de los ingresos conduce a una reducción significativa de las víctimas mortales de las catástrofes.
- **Love y Zicchino (2006):** Realizan un PVAR para examinar el efecto del gasto público en el crecimiento, incluyendo el comportamiento endógeno entre el crecimiento, la desigualdad de ingresos y el gasto público. Tal como se ha mencionado anteriormente, la especificidad del PVAR es que combina dos cosas: (1) utiliza un enfoque VAR tradicional, tratando a cada variables del sistema como endógenas; (2) utiliza el método de datos de panel, que permite controlar la heterogeneidad individual no observada mediante la introducción de efectos fijos, lo que da lugar a una mayor coherencia de la estimación.
- **Martínez et al. (2012):** Concluyen que el gasto público es probablemente endógeno, debido a la causalidad inversa entre la desigualdad de ingresos y la selección de los instrumentos de la política de gasto. En concreto, los países con una distribución de ingresos más desigual pueden decidir depender relativamente más del gasto público, y viceversa.
- **Canova y Ciccarelli (2013):** Presentan una metodología que permite tener en cuenta las interdependencias estáticas y dinámicas. Es definitivamente una herramienta útil para dar una buena interpretación de los impactos inclusivos del gasto fiscal del gobierno sin modelar la economía global. Esta configuración también permite estudiar las funciones de respuesta al impulso (IRF) de diferentes choques y cómo éstos afectan a otros desequilibrios.

El enfoque PVAR es especialmente interesante porque supera las limitaciones econométricas habituales. En resumen, se utiliza un PVAR para identificar la posible relación causal entre las variables. Este enfoque supera las limitaciones econométricas habituales y su principal ventaja radica en que permite explotar las series temporales individuales y las variaciones transversales de los datos, además de evitar el sesgo asociado a las regresiones transversales al considerar el efecto fijo específico del país.

## 2.3. Metodología de PBVAR

### 2.3.1. Elementos básicos de los Modelos Panel VAR Bayesiano

Como se mencionó anteriormente, los modelos VAR sirven para estudiar variables económicas que interactúan entre sí de forma dinámica. Sin embargo, también se puede estar interesado en modelar estas mismas interacciones para un grupo de entidades y su comportamiento en el tiempo. En este caso el objeto de estudio es un modelo VAR de panel o Panel VAR (PVAR). Estos modelos tienen una riqueza que el VAR por sí solo no tiene, puesto que incluyen interacciones entre las diferentes entidades, lo que permite analizar elementos propios de una entidad (componente endógeno) y elementos comunes entre todas las entidades elegidas (exógenos).

El enfoque en el que se describe el modelo es el utilizado en Canova y Ciccarelli (2013) y Dieppe, Legrand, y van Roye (2015) y se consideran solamente paneles de tipo balanceado. Definimos  $N$  entidades con  $n$  variables endógenas cada una y  $m$  variables exógenas (comunes para las distintas entidades). Considerando  $p$  rezagos y un periodo de tiempo  $t = 0, \dots, T$ , la forma matricial del modelo Panel VAR se escribe:

$$\begin{aligned}
 y_{i,t} &= \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^p A_{ij,t}^k y_{j,t-k} + C_{i,t} x_t + \varepsilon_{i,t} \\
 &= A_{i1,t}^1 y_{1,t-1} + \dots + A_{i1,t}^p y_{1,t-p} \\
 &+ A_{i2,t}^1 y_{2,t-1} + \dots + A_{i2,t}^p y_{2,t-p} \\
 &+ \dots \\
 &+ A_{iN,t}^1 y_{N,t-1} + \dots + A_{iN,t}^p y_{N,t-p} \\
 &+ C_{i,t} x_t + \varepsilon_{i,t} \quad \forall i \in 1, \dots, N \quad t = 0, \dots, T
 \end{aligned} \tag{2.1}$$

Donde cada uno de los elementos corresponden a:

$$\begin{aligned}
 y_{i,t} &= \begin{pmatrix} y_{i1,t} \\ y_{i2,t} \\ \vdots \\ y_{in,t} \end{pmatrix} ; \quad A_{ij,t}^k = \begin{pmatrix} a_{ij,11,t}^k & a_{ij,12,t}^k & \dots & a_{ij,1n,t}^k \\ a_{ij,21,t}^k & a_{ij,22,t}^k & \dots & a_{ij,2n,t}^k \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{ij,n1,t}^k & a_{ij,n2,t}^k & \dots & a_{ij,nn,t}^k \end{pmatrix} \\
 C_{i,t} &= \begin{pmatrix} c_{i,1,1,t} & c_{i,1,2,t} & \dots & c_{i,1,m,t} \\ c_{i,2,1,t} & c_{i,2,2,t} & \dots & c_{i,2,m,t} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{i,n,1,t} & c_{i,n,2,t} & \dots & c_{i,n,m,t} \end{pmatrix} \quad x_t = \begin{pmatrix} x_{1,t} \\ x_{2,t} \\ \vdots \\ x_{m,t} \end{pmatrix} \quad \varepsilon_{i,t} = \begin{pmatrix} \varepsilon_{i1,t} \\ \varepsilon_{i2,t} \\ \vdots \\ \varepsilon_{in,t} \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

Donde  $y_{i,t}$  es un vector de  $n$  variables endógenas y  $x_t$  un vector de variables exógenas de dimensión  $m \times 1$ . La matriz  $A_{ij,t}^k$ , de dimensión  $n \times n$ , corresponde a la respuesta de la unidad  $i$  al rezago  $k$  de una unidad  $j$  para el periodo  $t$ , donde cada una de sus componentes es la respuesta del elemento exógeno  $l$  de la variable  $i$  en los  $k$  rezagos. La matriz  $C_{i,t}$ , de dimensión  $n \times m$ , es quien relaciona las variables endógenas y exógenas del modelo, siendo que cada uno de sus elementos entrega la respuesta de una variable endógena  $j$  de la unidad  $i$  ante la  $l$ -ésima variable exógena. Finalmente, el vector de residuos  $\varepsilon_{i,t}$  tiene dimensión  $n \times 1$  y cumple con la siguiente propiedad:

$$\varepsilon_{i,t} \sim \mathcal{N}(0, \Sigma_{ii,t}) \tag{2.2}$$

Donde  $\Sigma_{ii,t}$  representa la matriz de varianza-covarianza, definida de la forma:

$$\Sigma_{ii,t} = \mathbb{E}(\varepsilon_{i,t}\varepsilon'_{i,t}) = \mathbb{E} \begin{pmatrix} \varepsilon_{i,1,t} \\ \varepsilon_{i,2,t} \\ \vdots \\ \varepsilon_{i,n,t} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \varepsilon'_{i,1,t} & \varepsilon'_{i,2,t} & \cdots & \varepsilon'_{i,n,t} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sigma_{i,11,t} & \sigma_{i,12,t} & \cdots & \sigma_{i,1n,t} \\ \sigma_{i,21,t} & \sigma_{i,22,t} & \cdots & \sigma_{i,2n,t} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{i,n1,t} & \sigma_{i,n2,t} & \cdots & \sigma_{i,nn,t} \end{pmatrix} \quad (2.3)$$

Al igual que en el modelo VAR, presentado en el capítulo anterior, se asume que  $\varepsilon_{i,t}$  no está autocorrelacionado, es decir,  $\mathbb{E}(\varepsilon_{i,t}\varepsilon'_{i,t}) = \Sigma_{ii,t}$  y  $\mathbb{E}(\varepsilon_{i,t}\varepsilon'_{i,s}) = 0 \forall s \neq t$ . Debido a que es un modelo de panel, cada uno de los periodos  $t$  posee una matriz de varianza-covarianza respectivas, por lo que nos encontramos en presencia de heterocedasticidad.

Otra forma de escribir este modelo se puede hacer agrupando las  $N$  entidades, por lo que (2.1) se puede reescribir como sigue:

$$y_t = \sum_{k=1}^p A_t^k y_{t-k} + C_t x_t + \varepsilon_t \quad (2.4)$$

O en su forma matricial:

$$\begin{pmatrix} y_{1,t} \\ y_{2,t} \\ \vdots \\ y_{N,t} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{11,t}^1 & A_{12,t}^1 & \cdots & A_{1N,t}^1 \\ A_{21,t}^1 & A_{22,t}^1 & \cdots & A_{2N,t}^1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{N1,t}^1 & A_{N2,t}^1 & \cdots & A_{NN,t}^1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y_{1,t-1} \\ y_{2,t-1} \\ \vdots \\ y_{N,t-1} \end{pmatrix} + \cdots + \begin{pmatrix} A_{11,t}^p & A_{12,t}^p & \cdots & A_{1N,t}^p \\ A_{21,t}^p & A_{22,t}^p & \cdots & A_{2N,t}^p \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{N1,t}^p & A_{N2,t}^p & \cdots & A_{NN,t}^p \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y_{1,t-p} \\ y_{2,t-p} \\ \vdots \\ y_{N,t-p} \end{pmatrix} \\ + \begin{pmatrix} C_{1,t} \\ C_{2,t} \\ \vdots \\ C_{N,t} \end{pmatrix} x_t + \begin{pmatrix} \varepsilon_{1,t} \\ \varepsilon_{2,t} \\ \vdots \\ \varepsilon_{N,t} \end{pmatrix} \quad (2.5)$$

De (2.5) se tiene que  $y_{i,t-k}$  es un vector de  $Nn \times 1$ ;  $A_t^k$  es una matriz de  $Nn \times Nn$ ,  $C_t$  es una matriz de  $Nn \times m$  y  $\varepsilon_t$  un vector de  $Nn \times 1$ . Esto se cumple  $\forall i \in \{1, \dots, N\}$ ,  $\forall k \in \{1, \dots, p\}$  y  $\forall t \in \{0, \dots, T\}$ .

El vector de residuos tiene una distribución normal multivariada centrada en 0 con matriz de varianzas-covarianzas  $\Sigma_t$  de dimensiones  $Nn \times Nn$  y cumple con:

$$\Sigma_t = \mathbb{E}(\varepsilon_t \varepsilon'_t) = \mathbb{E} \begin{pmatrix} \varepsilon_{1,t} \\ \varepsilon_{2,t} \\ \vdots \\ \varepsilon_{N,t} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \varepsilon'_{1,t} & \varepsilon'_{2,t} & \cdots & \varepsilon'_{N,t} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Sigma_{11,t} & \Sigma_{12,t} & \cdots & \Sigma_{1n,t} \\ \Sigma_{21,t} & \Sigma_{22,t} & \cdots & \Sigma_{2n,t} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \Sigma_{N1,t} & \Sigma_{N2,t} & \cdots & \Sigma_{NN,t} \end{pmatrix} \quad (2.6)$$

Donde se asume que hay ausencia de autocorrelación, es decir,  $\mathbb{E}(\varepsilon_t \varepsilon'_t) = \Sigma_t$  y  $\mathbb{E}(\varepsilon_t \varepsilon'_s) = 0 \forall s \neq t$ .

Para completar la forma tradicional de un modelo Panel VAR, se debe asumir los siguientes supuestos de modelo:

1. **Interdependencias dinámicas:** existe un comportamiento dinámico de cada una de las  $N$  entidades determinado no solo por el rezago de sus variables endógenas, sino que también por aquellas de las otras consideradas.
2. **Interdependencias estáticas:** se encuentra permitido que los términos de error no solo afecten a la entidad que le corresponde, sino que también afecte a las otras consideradas.
3. **Heterogeneidad por unidad:** se permite que existan elementos del modelo VAR que son propios de cada unidad.

4. **Heterogeneidad dinámica:** se permite que existan elementos del modelo VAR que sean propios a cada periodo  $t$  de tiempo.

### 2.3.1.1. Estimación Pooled - Bayesiana para un modelo Panel VAR

Existen diversas formas de estimar los coeficientes de un modelo de panel, este trabajo utiliza específicamente el método conocido como *pooled* o agrupado. En este caso, se relajan los 4 supuestos vistos del modelo VAR, por lo que se considera el caso especial donde (2.5) es:

$$\begin{pmatrix} y_{1,t} \\ y_{2,t} \\ \vdots \\ y_{N,t} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & A_1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & \cdots & A_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y_{1,t-1} \\ y_{2,t-1} \\ \vdots \\ y_{N,t-1} \end{pmatrix} + \cdots + \begin{pmatrix} A_1^p & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & A_2^p & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & A_N^p \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y_{1,t-p} \\ y_{2,t-p} \\ \vdots \\ y_{N,t-p} \end{pmatrix} \\ + \begin{pmatrix} C \\ C \\ \vdots \\ C \end{pmatrix} x_t + \begin{pmatrix} \varepsilon_{1,t} \\ \varepsilon_{2,t} \\ \vdots \\ \varepsilon_{N,t} \end{pmatrix} \quad (2.7)$$

Es decir que (2.7) puede escribirse como un conjunto de  $N$  ecuaciones:

$$\begin{aligned} y_{1,t} &= A^1 y_{1,t-1} + \cdots + A^1 y_{1,t-p} + \varepsilon_{1,t} \\ y_{2,t} &= A^2 y_{2,t-1} + \cdots + A^2 y_{2,t-p} + \varepsilon_{2,t} \\ &\vdots \\ y_{N,t} &= A^P y_{N,t-1} + \cdots + A^P y_{N,t-p} + \varepsilon_{N,t} \end{aligned} \quad (2.8)$$

Tomando la traspuesta y reagrupando se obtiene:

$$\underbrace{\begin{pmatrix} y'_{1,t} \\ y'_{2,t} \\ \vdots \\ y'_{N,t} \end{pmatrix}}_{N \times n} = \underbrace{\begin{pmatrix} y'_{1,t-1} & y'_{1,t-2} & \cdots & y'_{1,t-p} & x'_t \\ y'_{2,t-1} & y'_{2,t-2} & \cdots & y'_{2,t-p} & x'_t \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots & \vdots \\ y'_{N,t-1} & y'_{N,t-2} & \cdots & y'_{N,t-p} & x'_t \end{pmatrix}}_{N \times (np+m)} \underbrace{\begin{pmatrix} A^{1'} \\ \vdots \\ A_p' \\ C' \end{pmatrix}}_{(np+m) \times n} + \underbrace{\begin{pmatrix} \varepsilon'_{1,t} \\ \varepsilon'_{2,t} \\ \vdots \\ \varepsilon'_{N,t} \end{pmatrix}}_{N \times n} \quad (2.9)$$

Lo que se puede representar en su forma reducida como:

$$Y_t = X_t B + \bar{\varepsilon} \quad (2.10)$$

Donde cada variable corresponde a:

$$Y_t = \begin{pmatrix} y'_{1,t} \\ y'_{2,t} \\ \vdots \\ y'_{N,t} \end{pmatrix} \quad X_t = \begin{pmatrix} y'_{1,t-1} & y'_{1,t-2} & \cdots & y'_{1,t-p} & x'_t \\ y'_{2,t-1} & y'_{2,t-2} & \cdots & y'_{2,t-p} & x'_t \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots & \vdots \\ y'_{N,t-1} & y'_{N,t-2} & \cdots & y'_{N,t-p} & x'_t \end{pmatrix} \quad B = \begin{pmatrix} A^{1'} \\ \vdots \\ A_p' \\ C' \end{pmatrix} \quad \bar{\varepsilon} = \begin{pmatrix} \varepsilon'_{1,t} \\ \varepsilon'_{2,t} \\ \vdots \\ \varepsilon'_{N,t} \end{pmatrix}$$

Agrupando (2.10) en sus  $T$  periodos:

$$\underbrace{\begin{pmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_T \end{pmatrix}}_{NT \times n} = \underbrace{\begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_T \end{pmatrix}}_{NT \times (np+m)} \underbrace{B}_{(np+m) \times NT} + \underbrace{\begin{pmatrix} \bar{\varepsilon}_1 \\ \bar{\varepsilon}_2 \\ \vdots \\ \bar{\varepsilon}_T \end{pmatrix}}_{NT \times n} \quad (2.11)$$

Lo cual puede ser representado como:

$$Y = BX + \epsilon \quad (2.12)$$

Utilizando las propiedades de vectorización

$$\begin{aligned} \text{vec}(Y) &= \text{vec}(BX) + \text{vec}(\epsilon) \\ y &= \bar{X}\beta + \bar{\epsilon} \end{aligned} \quad (2.13)$$

Los componentes de la última ecuación corresponden a  $y = \text{vec}(Y)$ ,  $\bar{X} = I_n \otimes X$  y  $\text{vec}(\epsilon) = \bar{\epsilon}$ , donde  $I_n$  es una matriz bloque con una diagonal compuesta por  $I_{T \times k}$ . En tanto,  $\bar{\epsilon}$  sigue una distribución  $\mathbb{N}(0, \bar{\Sigma})$  donde  $\bar{\Sigma} = \Sigma_c \otimes I_{NT}$

Aplicando la metodología bayesiana para encontrar los estimadores para  $\beta$  se escribe la función de verosimilitud:

$$f(y|\bar{\Sigma}) \propto |\bar{\Sigma}|^{-1/2} \exp\left[-\frac{1}{2}(y - \bar{X}\beta)' \bar{\Sigma}^{-1}(y - \bar{X}\beta)\right] \quad (2.14)$$

En la ecuación (2.14) se han omitido los términos constantes no aleatorios dado que son incluidos en la constante. La estrategia bayesiana especificada en Karlsson (2013) es la cual se asume que los valores *prior*  $\beta$  se distribuyen de forma normal, llamada Normal-Wishart

$$\beta \sim \mathbb{N}(\beta_0, \Sigma_c \otimes \Phi_0) \quad (2.15)$$

Donde  $\Phi_0$  es una matriz diagonal estimada por los términos de varianzas de la muestra siguiendo la metodología de Karlsson (2013), y  $\beta_0$  es identificada según la estrategia de Litterman (1986). Dada la identificación de la distribución de  $\beta$ , es posible entonces establecer que la función densidad de los *prior* distribuye de la misma manera, lo que implica la siguiente función de verosimilitud:

$$\pi(\beta) \propto |\Sigma_c|^{-k/2} \exp\left[-\frac{1}{2}(\beta - \beta_0)'(\Sigma_c \otimes \Phi_0)^{-1}(\beta - \beta_0)\right] \quad (2.16)$$

En cuanto a  $\Sigma_c$ , la metodología descrita por Karlsson (2013) establece que sigue la inversa de la distribución de Wishart, lo que permite identificar sus parámetros, quedando de la forma:

$$\Sigma_c \sim \mathbb{IW}(S_0, \alpha_0) \quad (2.17)$$

Donde  $S_0$  se estima a través de la varianza residual de la muestra, lo que permite escribir la siguiente función de verosimilitud para  $\Sigma_c$ :

$$\pi(\Sigma_c) \propto |\Sigma_c|^{-(\alpha_0+n+1)/2} \exp\left[-\frac{1}{2}\text{tr}\{\Sigma_c^{-1}S_0\}\right] \quad (2.18)$$

Una vez identificadas las funciones de verosimilitud necesarias, se aplica la regla de Bayes, y reordenando los factores se obtiene:

$$\pi(\beta, \Sigma_c|y) \propto |\Sigma_c|^{-k/2} \exp\left[-\frac{1}{2}\text{tr}\{\Sigma_c^{-1}[(B - \bar{B})'\bar{\Phi}^{-1}(B - \bar{B})]\}\right] |\Sigma_c|^{-(\bar{\alpha}_0+n+1)/2} \exp\left[-\frac{1}{2}\text{tr}\{\Sigma_c^{-1}\bar{S}\}\right] \quad (2.19)$$

Donde se han redefinido los siguientes elementos:

$$\begin{aligned} \bar{\Phi} &= [\Phi_0^{-1} + X'X]^{-1} \\ \bar{B} &= \bar{\Phi}[\Phi_0^{-1}B_0 + X'Y] \\ \bar{\alpha}_0 &= NT + \alpha_0 \\ \bar{S} &= Y'Y + S_0 + B_0'\Phi_0^{-1}B_0 - \bar{B}_0'\bar{\Phi}_0^{-1}\bar{B}_0 \end{aligned} \quad (2.20)$$

Una vez descrita esta función se puede encontrar las estimaciones con los métodos descritos en secciones anteriores.

### 2.3.2. Modelo Panel VAR Bayesiano a estimar.

#### 2.3.2.1. Datos

Se construye el panel de datos basándose en tres fuentes diferentes. Los eventos naturales fueron extraídos de la Base de Datos Internacional sobre Desastres (EM-DAT), proyecto integrado por el gobierno belga que posee registros desde el 1900 hasta hoy. Los datos de desarrollo económico comprenden la tasa de crecimiento del PIB (per-cápita y mundial), tasa de crecimiento del capital.

La cantidad de países trabajados suman un total de 88, los cuales irán variando al aplicar diferentes filtros para revisar el análisis. Los desastres naturales tanto climáticos como geológicos se identifican en base a la cantidad de la población afectada, considerándose si ha afectado al 0,001 % de la población.

#### 2.3.3. Modelo a estimar

El modelo a utilizar es un *Panel - VAR*<sub>2</sub>(2), con dos variables endógenas y siete variables exógenas para cada país representado por el subíndice  $i$ , con el fin de estudiar los efectos de los desastres sobre la trayectoria de crecimiento de las economías bajo estudio. La ecuación (2.21) muestra el modelo inicial, y la ecuación (2.22) las variables a utilizar.

$$\begin{pmatrix} y_{i1,t} \\ y_{i2,t} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{11,t}^1 & A_{12,t}^1 \\ A_{21,t}^1 & A_{22,t}^1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y_{i1,t-1} \\ y_{i2,t-1} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} A_{11,t}^2 & A_{12,t}^2 \\ A_{21,t}^2 & A_{22,t}^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y_{i1,t-2} \\ y_{i2,t-2} \end{pmatrix} \\ + \begin{pmatrix} C_{11} & C_{12} \dots & C_{17} \\ C_{21} & C_{22} \dots & C_{27} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_{i1,t} \\ \vdots \\ x_{i7,t} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \varepsilon_{i1,t} \\ \varepsilon_{i2,t} \end{pmatrix} \quad (2.21)$$

$$\begin{pmatrix} y_{i1,t} \\ y_{i2,t} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \widehat{pib}_t \\ \widehat{k}_t \end{pmatrix}; \quad \begin{pmatrix} x_{i1,t} \\ x_{i2,t} \\ x_{i3,t} \\ x_{i4,t} \\ x_{i5,t} \\ x_{i6,t} \\ x_{i7,t} \\ x_{i7,t} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r_t^* \\ \widehat{pp}_t \\ ti_t \\ \widehat{Pib}_t^* \\ dg_{i,t} \\ dh_{i,t} \\ dc_{i,t} \\ dm_{i,t} \end{pmatrix} \quad (2.22)$$



## 2.4. Resultados

La metodología descrita anteriormente permite estudiar la respuesta a shocks para un conjunto de países, los cuales son determinados por ciertas características. Para el presente estudio se agrupan los países con respecto a dos categorías, típicamente trabajadas en la literatura: (a) países con alto desarrollo niveles de ingreso y capital humano versus (b) países con niveles de ingreso bajo y nivel de capital humano bajo (ver tabla 2.1 ). Al examinar las trayectorias de ajuste de los países, puede ser conveniente por simplicidad, tener presente el modelo de crecimiento económico de Solow, ya que permite de forma simple considerar un conjunto de factores productivos, de forma amplia, tales como capital físico y trabajo, así como también otros factores como capital humano, tecnología, y recursos naturales. De esta forma, la dinámica puede deberse a cambios en los mecanismos y procesos que se generan a partir de los desastres naturales y que tienen relación con las hipótesis planteadas al inicio de la investigación.

Tabla 2.1: Casos analizados respecto de los efectos de Largo Plazo

Países	Subcasos de análisis
a) Altos ingresos y alto capital humano	Se diferencia además por los siguientes casos <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ a.1 Baja desigualdad.               <ul style="list-style-type: none"> <li>• a.1.1 Alto capital natural.</li> <li>• a.1.2 Bajo capital natural.</li> </ul> </li> </ul>
b) Ingresos medios y bajos y bajo capital humano	Se diferencia además por los siguientes casos <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ b.1 Alta desigualdad.               <ul style="list-style-type: none"> <li>• b.1.1 Alto capital natural.</li> <li>• b.1.2 Bajo capital natural.</li> </ul> </li> </ul>

Adicionalmente se incorporan dos subcategorías para las estimaciones diferenciando el nivel de desigualdad y la dotación de capital natural. Esto porque el foco está en analizar las repuesta de sistemas que presentan características diferenciadas, y que la literatura ha encontrado respaldo para estos elementos. De lo anterior, se desprende del análisis los siguientes elementos:

- Las representaciones más parsimoniosas se dan para el primer caso, es decir, economías de altos ingresos relativos, y alto capital humano. En este caso se aprecia, con más fuerza la hipótesis de destrucción creativa. Donde el desastre genera un efecto positivo en el largo plazo sobre la tasa de crecimiento del producto per cápita aunque muy moderado. Evidenciando, que las condiciones iniciales económicas sí importan respecto de las capacidades que están presentas en su dinámica da ajuste.
  - Al apreciar el efecto de la desigualdad en las trayectorias, para el caso de desastres hidrológicos, es el caso donde el efecto en la tasa de crecimiento de largo plazo se revierte, respecto de los demás tipos de desastres.
  - En el caso de considerar además capital natural, en general los efectos son positivos de largo plazo, reforzando la hipótesis de creación destructiva, o reconstruirse mejor.
- En el caso de las económicas de ingresos bajo y capital humano bajo, el efecto sobre el crecimiento de largo plazo en el producto es negativo para el conjunto de desastres salvo el caso de los desastres hidrológicos. Lo cual constituye evidencia asociada a la hipótesis de recuperación de la tendencia, o bien de no recuperación.
- En países dentro de esta categoría, se mantiene la tendencia, salvo para los desastres meteorológicos. De modo que la hipótesis predominante es de no recuperación.

- Al profundizar el análisis dentro de la categoría anterior considerando el capital natural, no se aprecia un cambio relevante, confirmando más bien la hipótesis de no recuperación. En este caso es posible incluso caer en lo que denomina la literatura como “trampa de pobreza”.
- Se aprecian para el conjunto de desastres efectos de largo plazo sobre la tasa de crecimiento de la economía, por sobre cinco años.

De esta forma se busca analizar la capacidad de respuesta de las economías cuando se agrupan según características diferentes en función de los factores ingreso, capital humano, desigualdad y capital natural.

#### 2.4.1. Países de ingreso alto y alto capital humano.

Las estimaciones muestran que el periodo de resonancia de la respuesta al shocks en la tasa de crecimiento del PIB es sustancialmente mayor que los efectos sobre el stock de capital. Por un lado, para la tasa de crecimiento del PIB tiene tiempos de 7, 12, 11 y 10 años para los desastres geológicos, hidrológicos, climatológicos y meteorológicos respectivamente. Por otro lado, en el mismo orden mencionado, el periodo de resonancia para la tasa de crecimiento del stock de capital es 2, 7, 7 y 6 años, demostrando que su recuperación es más rápida.

Tanto para el caso de los desastres climatológicos como meteorológicos, se observa que la respuesta de la tasa de crecimiento del PIB tiene una tendencia positiva y pronunciada hasta su máximo, para luego volver a cero en el largo plazo. En cambio, para el caso de los desastres hidrológicos, hay una baja en la tasa de crecimiento en los primeros 2 años y luego aumenta hasta el quinto año, que es cuando empieza a disminuir el efecto hasta llegar a cero en el largo plazo. Finalmente, respecto a los desastres geológicos el shock aumenta paulatinamente hasta antes del quinto año, para después volver al origen en el largo plazo. Cabe destacar que los eventos geológicos tienen el menor efecto sobre la tasa de crecimiento de entre los distintos tipos de desastres.

Tabla 2.2: Efectos en la Tasa Crecimiento PIB  
Países Alto Ingreso y Alto Capital Humano

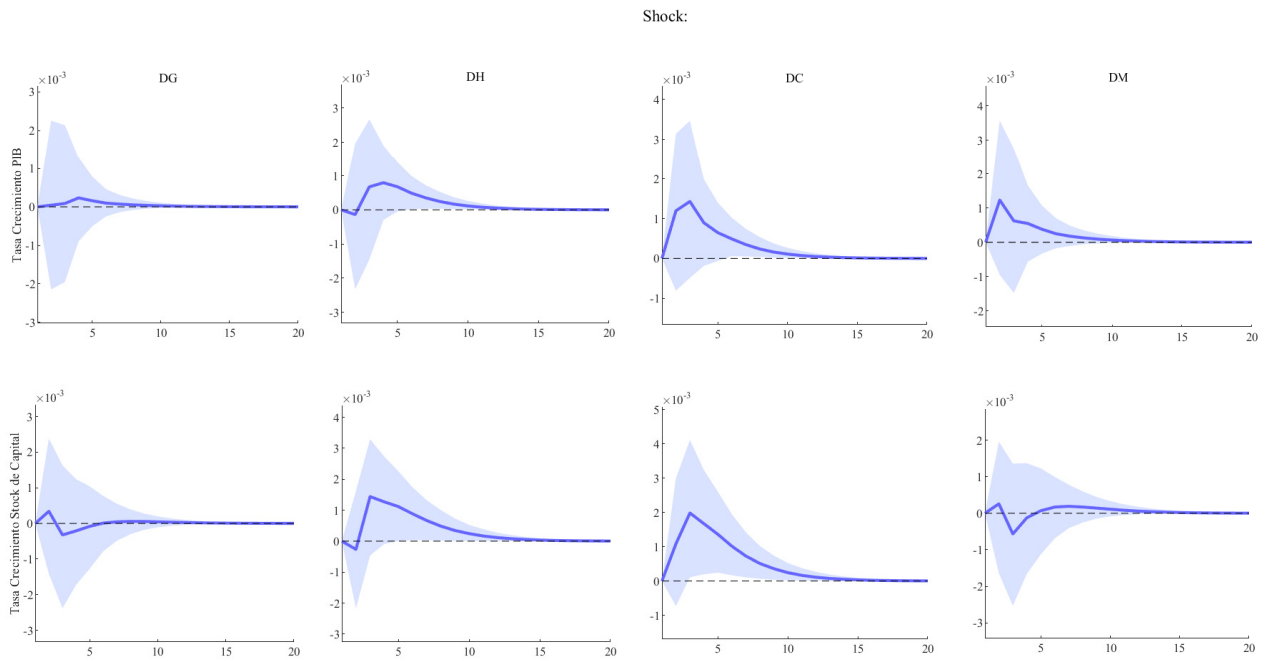
	Tipo de Desastre			
	Geológico	Hidrológico	Climatológico	Meteorológico
<b>Tiempo en disipar</b>	7	12	11	10
<b>Efecto Ac. Corto Plazo</b>	0,046 %	0,189 %	0,404 %	0,273 %
<b>Efecto Ac. Largo Plazo</b>	0,064 %	0,335 %	0,545 %	0,342 %
<b>Cantidad Países</b>	36			
<b>Promedio KH</b>	10			

Tabla 2.3: Efectos en la Tasa Crecimiento Stock de Capital  
Países Alto Ingreso y Alto Capital Humano

	Tipo de Desastre			
	Geológico	Hidrológico	Climatológico	Meteorológico
<b>Tiempo en disipar</b>	2	7	7	6
<b>Efecto Ac. Corto Plazo</b>	0,034 %	0,335 %	0,625 %	-0,024 %
<b>Efecto Ac. Largo Plazo</b>	-	0,488 %	0,797 %	0,012 %
<b>Cantidad Países</b>	36			
<b>Promedio KH</b>	10			

Los efectos acumulados para la tasa de crecimiento del PIB es 0.05 %, 0.19 %, 0.40 % y 0.27 % para los desastres geológicos, hidrológicos, climatológicos y meteorológicos, respectivamente. Para el caso de la tasa de crecimiento del stock de capital se observan efectos acumulados de 0.03 %, 0.34 %, 0.625 % y -0.024 %, en el mismo orden mencionado.

Figura 2.1: Países Altos ingresos y alto capital humano.



**2.4.2. Países ingreso bajo y bajo capital humano.**

Para el caso de los países de bajo ingreso y capital humano, el efecto es el contrario al observado en la sección anterior. La recuperación de la tasa de crecimiento del PIB es considerablemente más rápida que la del stock de capital, y, a excepción del shock hidrológicos, los efectos de los desastres naturales son negativos al corto plazo, llegando a un total acumulado de -0.28 %, -0.151 % y -0.172 % para los desastres geológicos, climatológicos y meteorológicos respectivamente. El caso del desastre hidrológico, muestra que el efecto al corto plazo acumulado es de 0.41 %. Los periodos de resonancia para los desastres son 6,6 y 5 años para los tres primeros mencionados y 5 años para el último.

En cuanto a la tasa de crecimiento del capital, los efectos son positivos, es decir, se experimentan aumentos de las tasas de capital con un periodo de resonancia de 11, 14, 14 y 6 años para los desastres geológicos, hidrológicos, climatológicos y meteorológicos respectivamente. Los efectos acumulados son 0.08 %, 0.17 %, 0.18 % y 0.09 % en el mismo orden mencionado.

Los efectos se pueden resumir en las siguientes tablas y gráficos.

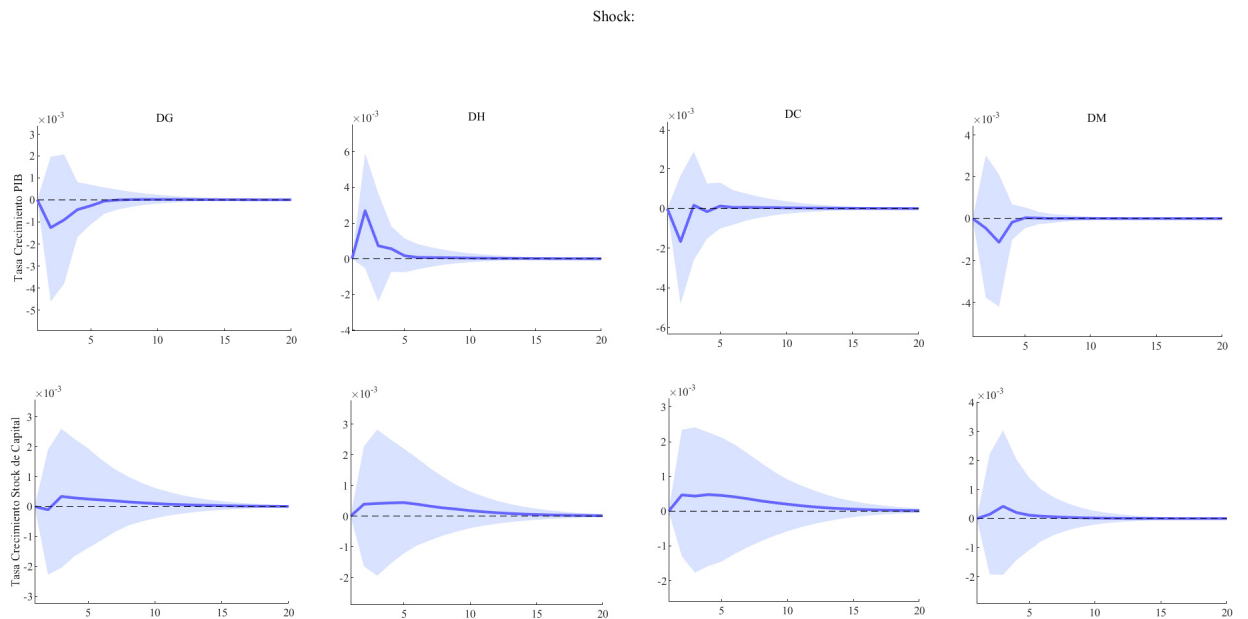
Tabla 2.4: Efectos en la Tasa Crecimiento PIB  
Países Bajo Ingreso y Bajo Capital Humano

	Tipo de Desastre			
	Geológico	Hidrológico	Climatológico	Meteorológico
<b>Tiempo en disipar</b>	6	5	6	5
<b>Efecto Ac. Corto Plazo</b>	-0,287 %	0,414 %	-0,151 %	-0,172 %
<b>Efecto Ac. Largo Plazo</b>	-0,293 %	-	-0,145 %	-
<b>Cantidad Países</b>	52			
<b>Promedio KH</b>	5			

Tabla 2.5: Efectos en la Tasa Crecimiento Stock de Capital  
Países bajos ingreso y bajo capital humano

	Tipo de Desastre			
	Geológico	Hidrológico	Climatológico	Meteorológico
<b>Tiempo en disipar</b>	11	14	14	6
<b>Efecto Ac. Corto Plazo</b>	0,078 %	0,167 %	0,184 %	0,089 %
<b>Efecto Ac. Largo Plazo</b>	0,167 %	0,345 %	0,380 %	0,098 %
<b>Cantidad Países</b>	52			
<b>Promedio KH</b>	5			

Figura 2.2: Países Bajo capital Humano y bajo Ingreso



### 2.4.3. Países de ingreso alto, alto capital humano y baja desigualdad.

Volvemos al caso de los países de alto ingreso y alto capital humano, pero en este apartado se agrega una condición más: se consideran países de baja desigualdad. Se observa que tanto para los desastres geológicos, climatológicos y meteorológicos tanto la tasa de crecimiento del PIB como la del stock de capital es positiva. Esto indica que en estos países el capital es el factor productivo dominante, siendo clave para la reconstrucción del país, lo que podría ser evidencia del efecto de “destrucción creativa” según apunta la literatura.

La única excepción son los desastres hidrológicos, en los cuales se evidencia que ambas tasas son negativas en un principio y antes del año 5 se vuelven positivas. Esto podría indicar que en un principio existe destrucción de capital, pero efectos externos logran incentivar la acumulación de este, aumentando la inversión y revirtiendo la tendencia negativa que tenía su trayectoria desde el momento que ocurre el shock.

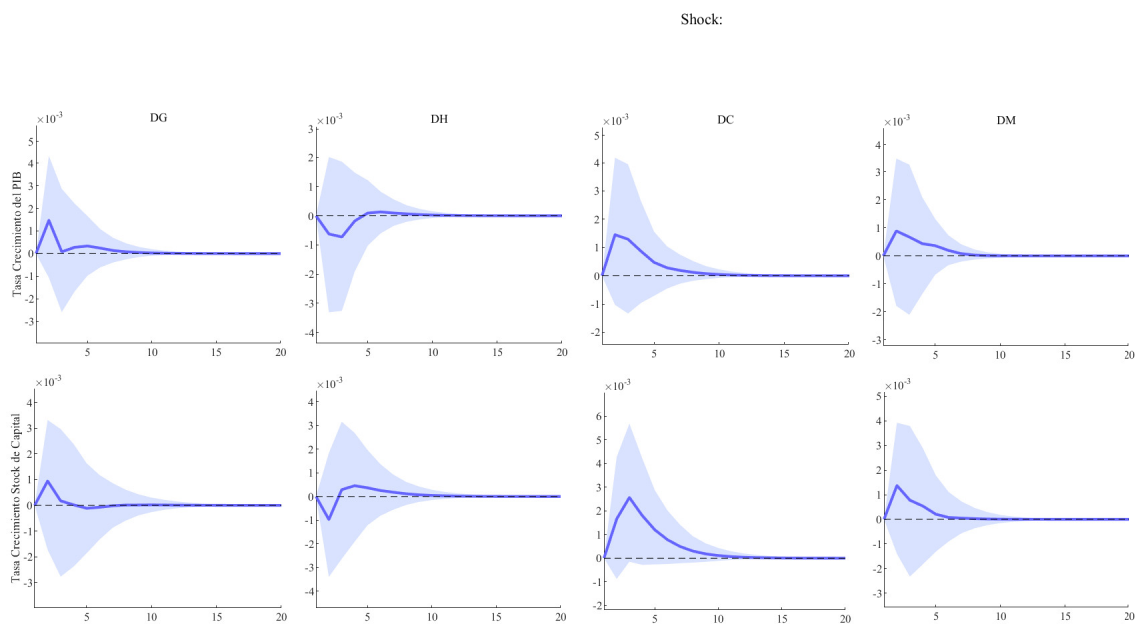
Tabla 2.6: Efectos en la Tasa Crecimiento PIB  
Países de alto ingresos y alto capital humano: caso baja desigualdad

	Tipo de Desastre			
	Geológico	Hidrológico	Climatológico	Meteorológico
<b>Tiempo en disipar</b>	8	8	9	8
<b>Efecto Ac. Corto Plazo</b>	0,048 %	-0,026 %	0,087 %	0,051 %
<b>Efecto Ac. Largo Plazo</b>	0,014 %	-0,006 %	0,026 %	0,014 %
<b>Cantidad Países</b>	7			
<b>Promedio KH</b>				

Tabla 2.7: Efectos en la Tasa Crecimiento Stock de Capital  
Países de alto ingresos y alto capital humano: caso baja desigualdad

	Tipo de Desastre			
	Geológico	Hidrológico	Climatológico	Meteorológico
<b>Tiempo en disipar</b>	6	9	11	6
<b>Efecto Ac. Corto Plazo</b>	0,019 %	0,008 %	0,160 %	0,059 %
<b>Efecto Ac. Largo Plazo</b>	0,005 %	0,005 %	0,049 %	0,016 %
<b>Cantidad Países</b>	7			
<b>Promedio KH</b>				

Figura 2.3: Países de alto ingresos y capital humano: caso baja desigualdad



#### 2.4.4. Países de ingreso bajo, bajo capital humano y alta desigualdad.

Al aplicar la condición de alta desigualdad a los países de bajo ingreso y capital humano, en primer lugar, se observa por un lado que el efecto de los desastres geológicos es el contrario al revisado en la sección anterior. Tanto la tasa de crecimiento del PIB como la del stock de capital caen de manera más brusca, que dura 8 años, y el efecto acumulado llega a los -0.26 % al corto plazo. Así, se evidencia que la destrucción de capital impacta de manera directa el crecimiento, de tal forma que el efecto de otros factores productivos (e.g. tierra, trabajo, tecnología, etc) o caen en la misma proporción, se quedan constantes, o bien el aumento es tan bajo que no logra revertir el efecto sobre el crecimiento.

El caso de los desastres hidrológicos tiene cierta similitud con los analizados en la sección ante-

rior para la tasa de crecimiento del PIB, con la diferencia que en este caso los efectos de corto y largo plazo son más elevados (-0.26 % versus el -0.029 % en el caso actual). No obstante, el tiempo que demora en disipar es más corto (6 en vez de 9 años), lo que podría interpretarse como que el shock es mucho más violento en este tipo de países y, aunque la recuperación es más corta, el daño es mucho más severo. Para la tasa de crecimiento del stock de capital, si bien ambos tipos de países responden al principio de manera negativa, aquellos que corresponden al caso de alta desigualdad no logran revertir el efecto negativo del shock.

En tanto, el shock causado por los desastres climatológicos para estos países tiene un efecto parecido al de los hidrológicos: el evento deteriora el crecimiento del PIB en un principio, luego la situación se revierte hasta lograr que el efecto acumulado sea positivo en el corto y largo plazo, aunque con números muy cercanos a cero. En el caso del stock de capital, la respuesta al shock es negativa, al contrario del caso para los países de alto ingreso y baja desigualdad.

En el caso de los desastres meteorológicos el efecto sigue siendo mucho más acelerado que en el caso de países de alto ingreso y baja desigualdad, presentando una recuperación en 4 años y un efecto acumulado mucho mayor. Mientras que en el caso anterior el efecto sigue siendo positivo, en este caso es negativo y el efecto acumulado para la tasa de crecimiento del stock de capital sigue siendo cercano a cero.

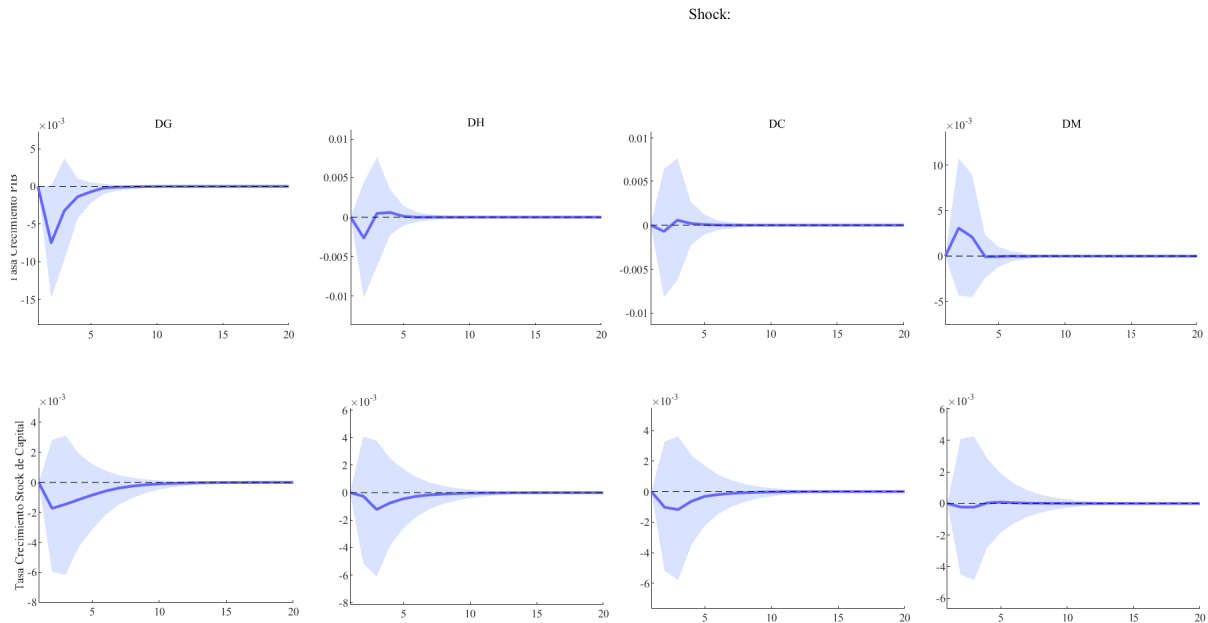
Tabla 2.8: Efectos en la Tasa Crecimiento PIB  
Países de bajo ingreso y bajo capital humano: caso alta desigualdad

	Tipo de Desastre			
	Geológico	Hidrológico	Climatológico	Meteorológico
<b>Tiempo en disipar</b>	8	6	5	4
<b>Efecto Ac. Corto Plazo</b>	-0,260 %	-0,029 %	0,003 %	0,102 %
<b>Efecto Ac. Largo Plazo</b>	-0,070 %	-0,008 %	0,001 %	0,027 %
<b>Cantidad Países</b>	7			
<b>Promedio KH</b>				

Tabla 2.9: Efectos en la Tasa Crecimiento Stock de Capital  
Países de bajo ingreso y bajo capital humano: caso alta desigualdad

	Tipo de Desastre			
	Geológico	Hidrológico	Climatológico	Meteorológico
<b>Tiempo en disipar</b>	11	9	8	5
<b>Efecto Ac. Corto Plazo</b>	-0,115 %	-0,059 %	-0,067 %	-0,006 %
<b>Efecto Ac. Largo Plazo</b>	-0,036 %	-0,018 %	-0,019 %	-0,001 %
<b>Cantidad Países</b>	7			
<b>Promedio KH</b>				

Figura 2.4: Países de bajo ingreso y capital humano: caso alta desigualdad



#### 2.4.5. Países de alto ingreso, alto capital humano, baja desigualdad y alto capital natural.

Los desastres climáticos parecen ser los que más profundizan sus efectos en la economía de los países de alto capital natural. El efecto del shock es más pronunciado por la naturaleza de este tipo de shock y su relación con el impacto a los recursos naturales. La gráfica muestra que el efecto porcentual es mucho más alto para este tipo de desastres. Estos desastres también tienen un tiempo de disipación alto, superior a los 10 años. Por otro lado, los desastres hidrológicos también generan efectos sobre países con alto capital natural, con tiempos en disipar superiores a 9 años para estos desastres.

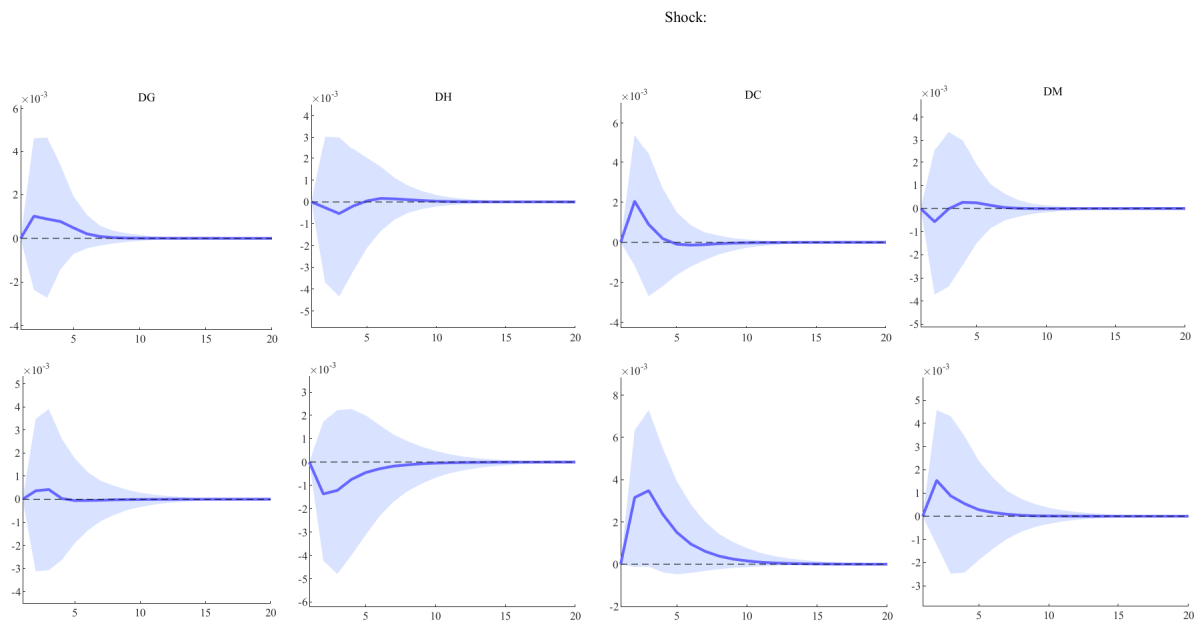
Tabla 2.10: Efectos en la Tasa Crecimiento PIB  
Países de alto ingreso y capital humano, baja desigualdad y alto capital natural

	Tipo de Desastre			
	Geológico	Hidrológico	Climatológico	Meteorológico
<b>Tiempo en disipar</b>	4	9	12	8
<b>Efecto Ac. Corto Plazo</b>	0,014 %	-0,081 %	0,229 %	0,068 %
<b>Efecto Ac. Largo Plazo</b>	0,003 %	-0,024 %	0,069 %	0,019 %
<b>Cantidad Países</b>	7			
<b>Promedio KH</b>	10			

Tabla 2.11: Efectos en la Tasa Crecimiento Stock de Capital  
Países de alto ingreso y capital humano, baja desigualdad y alto capital natural

	Tipo de Desastre			
	Geológico	Hidrológico	Climatológico	Meteorológico
<b>Tiempo en disipar</b>	9	10	11	6
<b>Efecto Ac. Corto Plazo</b>	0,063 %	0,063 %	0,094 %	0,042 %
<b>Efecto Ac. Largo Plazo</b>	0,019 %	0,020 %	0,032 %	0,012 %
<b>Cantidad Países</b>	7			
<b>Promedio KH</b>	10			

Figura 2.5: Países de alto ingreso y capital humano, baja desigualdad y alto capital natural



#### 2.4.6. Países de alto ingreso, alto capital humano, baja desigualdad y bajo capital natural.

La diferencia con respecto al caso anterior es notoria. El tiempo de disipación sigue siendo alto, pero el efecto es mucho menor, mostrando que la destrucción derivada por los desastres climáticos tienen efectos mucho menos intensos, debido a que estos países no son dependientes de estos recursos, por lo tanto, tiene sentido que los efectos de los desastres climáticos no afecten a este tipo de economía como en el caso visto anteriormente.

A continuación se muestran los resultados de las estimaciones para este caso:

Tabla 2.12: Efectos en la Tasa Crecimiento PIB  
Países de alto ingreso y capital humano, baja desigualdad y bajo capital natural

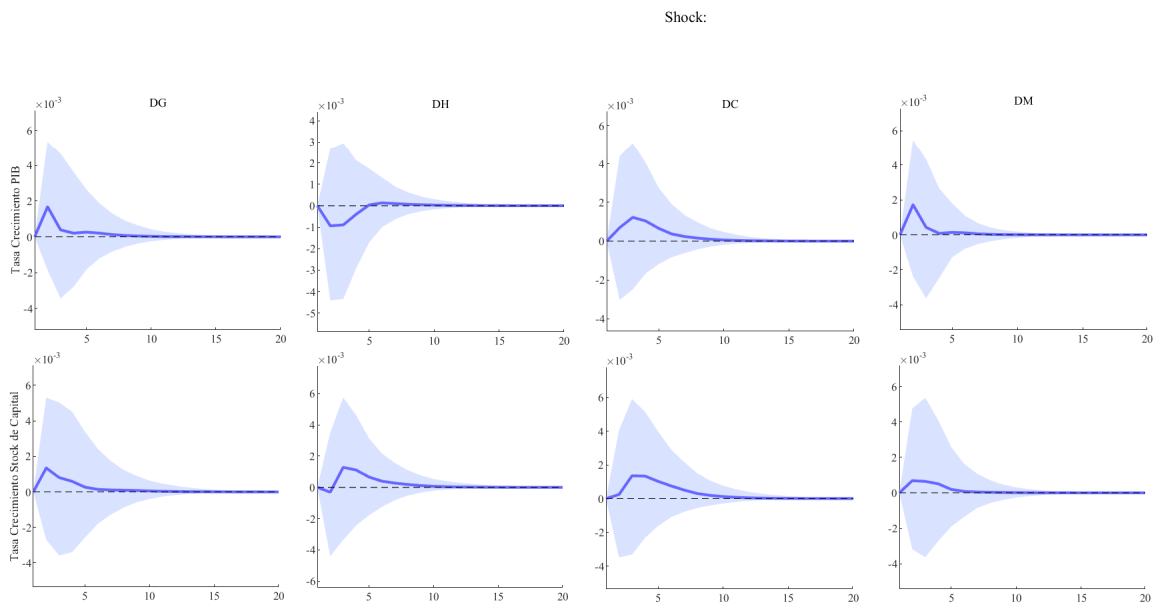
	Tipo de Desastre			
	Geológico	Hidrológico	Climatológico	Meteorológico
<b>Tiempo en disipar</b>	8	8	9	7
<b>Efecto Ac. Corto Plazo</b>	0,055 %	-0,041 %	0,080 %	0,050 %
<b>Efecto Ac. Largo Plazo</b>	0,016 %	-0,009 %	0,024 %	0,014 %
<b>Cantidad Países</b>	7			
<b>Promedio KH</b>	10			

Tabla 2.13: Efectos en la Tasa Crecimiento Stock de Capital  
Países de alto ingreso y capital humano, baja desigualdad y bajo capital natural

	Tipo de Desastre			
	Geológico	Hidrológico	Climatológico	Meteorológico
<b>Tiempo en disipar</b>	9	10	11	6
<b>Efecto Ac. Corto Plazo</b>	0,063 %	0,063 %	0,094 %	0,042 %
<b>Efecto Ac. Largo Plazo</b>	0,019 %	0,020 %	0,032 %	0,012 %
<b>Cantidad Países</b>	7			
<b>Promedio KH</b>	10			



Figura 2.6: Países de alto ingreso y capital humano, baja desigualdad y bajo Capital Natural



#### 2.4.7. Países de bajo ingreso, bajo capital humano, alta desigualdad y alto capital natural

En este caso, el efecto más severo se encuentra para los desastres geológicos, los cuales tienen efectos duraderos debido a la destrucción de capital. Sin embargo, no ocurre el efecto que se había observado anteriormente en los desastres climáticos. Esto podría sugerir que no se está aprovechando este tipo de recursos, por lo tanto sin importar el daño efectuado por este tipo de desastres, los efectos en la economía no son duraderos ni intensos.

Tabla 2.14: Efectos en la Tasa Crecimiento PIB  
Países de bajo ingreso y capital humano, alta desigualdad y alto capital natural

	Tipo de Desastre			
	Geológico	Hidrológico	Climatológico	Meteorológico
<b>Tiempo en disipar</b>	10	6	7	6
<b>Efecto Ac. Corto Plazo</b>	-0,448 %	-0,132 %	0,102 %	0,082 %
<b>Efecto Ac. Largo Plazo</b>	-0,122 %	-0,034 %	0,028 %	0,021 %
<b>Cantidad Países</b>	7			
<b>Promedio KH</b>				

Tabla 2.15: Efectos en la Tasa Crecimiento Stock de Capital  
Países de bajo ingreso y capital humano, alta desigualdad y alto capital natural

	Tipo de Desastre			
	Geológico	Hidrológico	Climatológico	Meteorológico
<b>Tiempo en disipar</b>	9	6	10	9
<b>Efecto Ac. Corto Plazo</b>	-0,142 %	-0,139 %	-0,037 %	-0,002 %
<b>Efecto Ac. Largo Plazo</b>	-0,043 %	-0,040 %	-0,010 %	0,000 %
<b>Cantidad Países</b>	7			
<b>Promedio KH</b>				

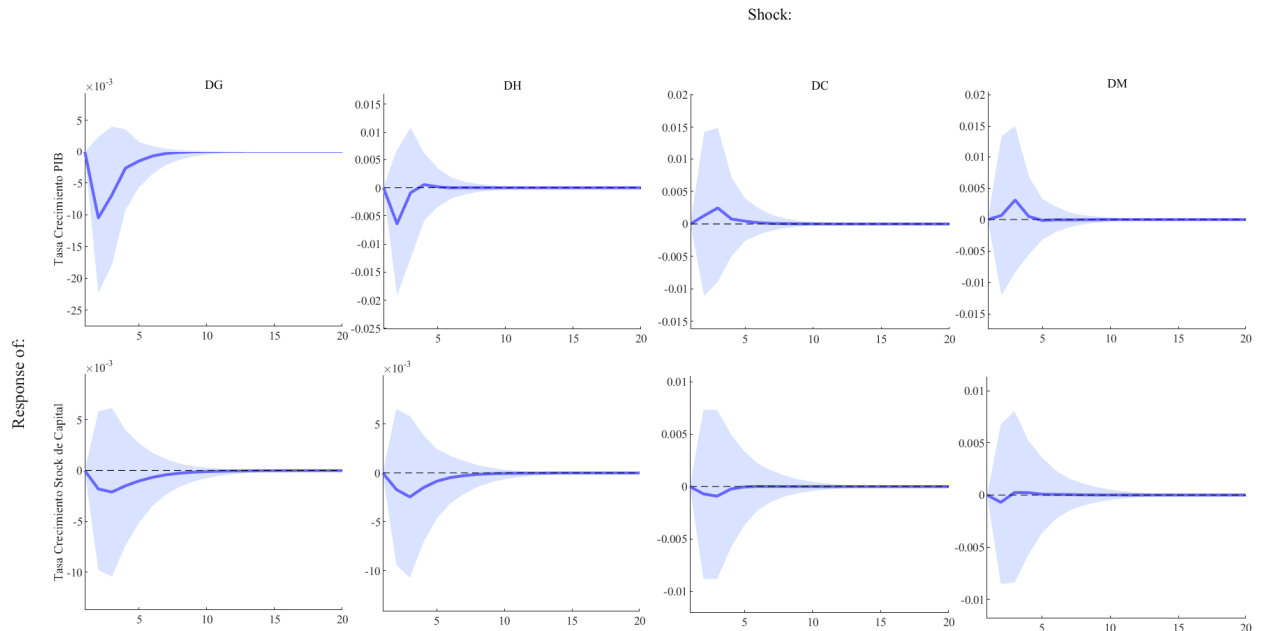


Figura 2.7: Países de bajo ingreso y capital humano, alta desigualdad y alto capital natural

**2.4.8. Países de bajo ingreso, bajo capital humano, alta desigualdad y bajo capital natural**

Un caso parecido ocurre con este conjunto de países, debido a que se puede observar en los gráficos de impulso-respuesta los efectos son bajos y cercanos a cero. Es por eso que la evidencia respalda que si bien existe un efecto importante en el daño generado por los diferentes desastres, estos no se reflejan de manera notoria en la economía de estos países.

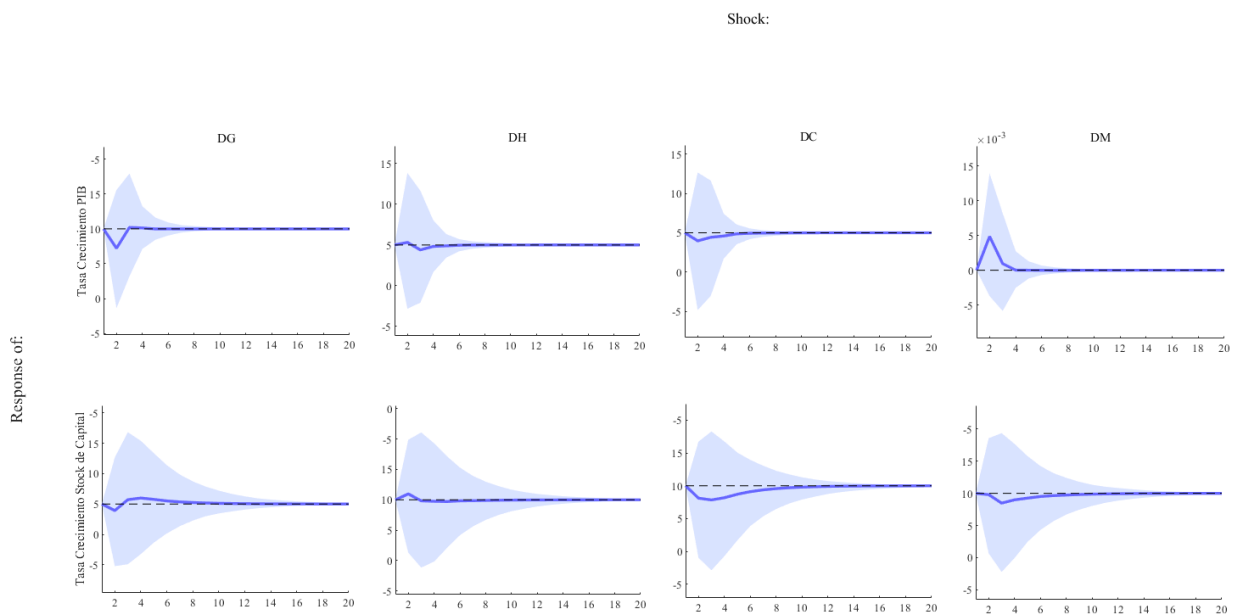
Tabla 2.16: Efectos en la Tasa Crecimiento PIB  
Países de bajo ingreso y capital humano, alta desigualdad y bajo capital natural

	Tipo de Desastre			
	Geológico	Hidrológico	Climatológico	Meteorológico
<b>Tiempo en disipar</b>	4	6	6	4
<b>Efecto Ac. Corto Plazo</b>	-0,049 %	-0,012 %	-0,044 %	0,116 %
<b>Efecto Ac. Largo Plazo</b>	-0,013 %	-0,003 %	-0,012 %	0,030 %
<b>Cantidad Países</b>	7			
<b>Promedio KH</b>	5			

Tabla 2.17: Efectos en la Tasa Crecimiento Stock de Capital  
Países de bajo ingreso y capital humano, alta desigualdad y bajo capital natural

	Tipo de Desastre			
	Geológico	Hidrológico	Climatológico	Meteorológico
<b>Tiempo en disipar</b>	9	6	10	9
<b>Efecto Ac. Corto Plazo</b>	0,015 %	0,001 %	-0,065 %	-0,032 %
<b>Efecto Ac. Largo Plazo</b>	0,006 %	-0,001 %	-0,021 %	-0,011 %
<b>Cantidad Países</b>	7			
<b>Promedio KH</b>	5			

Figura 2.8: Países de bajo ingreso y capital humano, alta desigualdad y bajo capital natural



## 2.5. Principales Conclusiones.

En el presente capítulo se utilizó la metodología bayesiana en estudios de tipo Panel VAR para explicar las diferentes trayectorias de respuestas a los shocks ocasionados por los cuatro diferentes tipos de desastres naturales (geológico, meteorológico, hidrológico y climatológicos), entre los años 1970-2019. Los desastres naturales generan dos tipos de daños: directos e indirectos. En el primer grupo se encuentran todas las consecuencias que se perciben a escala humana, tales como pérdidas humanas y de sus estructuras sociales. Un ejemplo de esto sería la erupción del volcán Chaitén en el sur de Chile en 2008 borró las formas de vida de una ciudad entera. En el segundo grupo se encuentra los efectos provocados en términos de producción económica, tanto por pérdidas de activos productivos como por la desorganización que vuelve ineficientes la utilización de los recursos.

Para estudiar estos tipos de efectos u otros temas de desarrollo de políticas públicas, generalmente se utilizan los modelos de equilibrio general dinámicos estocásticos (DGSE), sin embargo, estos modelos requieren de una alta rigurosidad debido a las difíciles especificaciones exigidas. La metodología PVAR nace en respuesta a esta dificultad, en la cual los shocks generan efectos tanto en el ámbito intertemporal como en el momento de su ocurrencia. Por otro lado, al fundamentarse en la metodología VAR, estos modelos heredan también sus críticas asociadas, lo cual también presenta limitaciones tales como restricciones asociadas a los modelos, la significancia de las parámetros tanto en conjunto como a nivel individual. Por este motivo, es que se deben trabajar con cuidado y contrastándola con otro tipo de metodologías. La metodología bayesiana permite que el modelo posea dos distribuciones: una *a priori* y otra *a posteriori*, lo que permite el uso iterativo de la información para cada estimación, logrando trayectorias más suaves y mejor definidas.

Existen bastantes ejemplos de la utilización de la metodología de PVAR. Por ejemplo, Raddatz (2007) lo utilizó para medir perturbaciones exógenas (e.g. desastres naturales, cambios de precio de productos básicos, tasas financieras internacionales, entre otras) en el PIB de 40 países clasificados como de bajos ingresos. Luego, el año 2011 el mismo autor utilizó un modelo PVAR en 112 países para estudiar los efectos del cambio climático donde concluyó que la ayuda exterior contribuía

ligeramente a mitigar sus efectos. Otro estudio fue realizado por Noy (2008) quien concluye que los países menos desarrollados tienen impactos mucho mayores en sus macroeconomías. Ferreira y Cunado utilizan esta metodología para investigar el impacto de las inundaciones, concluyendo que estas generan presiones positivas al crecimiento. Esto último se ha medido en otros estudios, Guo (2015) encuentra evidencia de que los desastres meteorológicos conducen a un mayor crecimiento económico al aumentar la inversión en capital humano. Luo y Pan (2013) encontraron evidencia de que el crecimiento de los ingresos conduce a una reducción de víctimas mortales en las catástrofes.

Los resultados obtenidos tras las estimaciones PBVAR confirman lo descrito en párrafos anteriores. Se encuentra evidencia sobre las diferentes trayectorias de las tasas de crecimiento del PIB y del stock de capital. El análisis se realizó aplicando diferentes filtros al conjunto de países trabajados. El primero de ellos tiene como objetivo contrastar países de alto capital humano y alto ingreso con los de bajo capital humano y bajo ingreso. La primera diferencia se observa en los gráficos de crecimiento del PIB: en el primer grupo se observa que tanto en los desastres geológicos, climatológicos y meteorológicos el shock tiende a tener máximos mientras que en el segundo grupo tiene valores mínimos supremos en valor absoluto. Coinciden solamente en el caso de los desastres hidrológicos, que si bien ambos eventos van en la misma dirección *in crescendo*, su trayectoria es completamente diferente, mostrando efectos más graves en los países de mayor ingreso.

El siguiente filtro aplicado corresponde a la desigualdad social. Al contrastar los 7 países de más baja desigualdad con aquellos que tienen la más alta, se encuentra que en los del primer grupo el shock es negativo en el crecimiento del PIB solo en los desastres hidrológicos, mientras que para los del segundo grupo, el shock afecta mayoritariamente de forma negativa a la tasa de crecimiento del stock de capital y de forma mixta en la tasa de crecimiento del PIB.

El último filtro aplicado fue con respecto a los efectos diferentes para países con distinto capital natural. En los países de alto ingreso, baja desigualdad y alto capital natural, salvo en el caso de los desastres meteorológicos, las trayectorias no son muy diferentes, impulsando de manera positiva el crecimiento del PIB y la inversión para los desastres geológicos y climáticos. En los países con alto ingreso, baja desigualdad y bajo capital natural los shocks afectan de manera positiva a la inversión y en el caso de los países de bajo ingreso, alta desigualdad y alto capital natural el efecto sobre la inversión es el contrario.

Estos efectos muestran lo disímiles que pueden ser los desastres naturales al afectar a un país o a un conjunto de países que presentan determinada estructura económica. La evidencia estadística, a través de la metodología bayesiana, muestra que las trayectorias del efecto sobre el crecimiento del stock de capital y el PIB dependen de las características económicas de cada uno de los países, mostrando que las trayectorias y la recuperación dependerán de la actividad predominante de la región, diferenciando si su tejido económico es intensivo en capital, en trabajo o en recursos naturales, dejando la puerta abierta al estudio de estos factores para encontrar mejores alternativas para lidiar con los desastres naturales, los cuales debido al cambio climático son cada vez más frecuentes, como se ha revisado anteriormente.

## Capítulo 3

# Modelos BVAR, PBVAR: Aportes metodológicos y discusión de resultados

### 3.1. Introducción

Este capítulo se orienta a discutir y revisar los elementos metodológicos, así como también, los principales resultados obtenidos, con el objeto de dilucidar el aporte que el enfoque bayesiano puede proporcionar para el estudio de los efectos de los desastres naturales sobre el crecimiento económico en el largo plazo, en un contexto donde no existe consenso respecto a la dirección ni magnitud de los efectos en la literatura revisada.

La discusión inicia analizando las limitaciones presentes para el estudio de los desastres y el crecimiento. En particular, se analizan aspectos que surgen como resultados de la reflexión y análisis llevados a cabo en el proceso de investigación. Posteriormente se expone los principales resultados y conclusiones de los capítulos 1, y 2, donde se lleva a cabo la discusión teórica y empírica de éstos.

A partir del modelo de crecimiento tradicional, se discute un marco para la comprensión e interpretación de los resultados obtenidos en la presente investigación. Con el objetivo de discutir las hipótesis respecto a los procesos que enfrentan las economías una vez ocurridos los desastres.

Finalmente, en la última sección se obtienen algunas recomendaciones de política y extensiones para futuras investigaciones, en términos de identificar qué elementos deben considerarse en el estudio sobre los desastres. Esto se presenta con el fin de contribuir a las políticas de desastres naturales en los países en desarrollo, dado el nivel de vulnerabilidad en el que se encuentran bajo estos fenómenos.

### 3.2. Limitaciones en torno al estudio de desastres naturales y crecimiento

A continuación, se exponen un conjunto de elementos que surge del trabajo en esta línea de investigación, y que si bien parecieran ser elementos de uso estándar en el estudio, tienen una alta importancia respecto a los resultados y conclusiones que son factibles de obtener. Estos elementos corresponden a la discusión en torno a la clasificación, agregación, transición y *priors*<sup>1</sup> de información.

---

<sup>1</sup>Información a priori de las variables utilizadas para la estimación de los modelos utilizados en el capítulo, las cuales generalmente se establecen a través de una función de distribución de probabilidad.

### 3.2.1. Clasificación de los desastres naturales y bases de datos

Una primera limitación se refiere a la clasificación respecto de su ocurrencia. En las bases utilizadas generalmente se cuenta con una definición de desastre, que responde a un fenómeno natural y no necesariamente constituye un desastre económico per se. Este evento, se transforma en desastre cuando impacta fuertemente a las personas, a sus bienes, a la infraestructura o al medio ambiente. Y donde su intensidad está en directa relación con la vulnerabilidad, es decir, con sus condiciones sociales, económicas y ambientales, las cuales pueden acentuar el daño producido inicialmente. Este hecho destaca la importancia de la gestión de reducción de riesgos de desastres o cómo dicha gestión ha contribuido a evitar efectos. Pero desde la perspectiva del estudio económico, implica considerar criterios más exigentes para estudiar los efectos indirectos de los desastres naturales, ya que el sólo hecho de su declaración no necesariamente se transmite hacia una perspectiva más propia de nuestra área de estudio.

En particular, en términos del estudio de los efectos económicos, la clasificación debiese tender a considerar este elemento como una perturbación o irrupción en el funcionamiento del sistema económico que puede generar efectos de diversa índole tanto en el corto como en el largo plazo, siendo estos efectos tanto directos como indirectos. Y que, si bien dichos efectos en el corto plazo, tales como los efectos macroeconómicos, pueden ser negativos, los efectos de largo plazo son heterogéneos al existir un conjunto de factores que pueden estar condicionando la capacidad de respuesta de los sistemas en esta materia. Desafortunadamente, no contamos con bases de datos que respondan a este tipo definición económica y menos que se lleven registros detallados al respecto, dificultando la estimación de dichos efectos.

Tampoco se cuenta con mayor información respecto a la capacidad de respuesta de los sistemas económicos, lo que también ayudaría a poder determinar los efectos. Desde una perspectiva temporal del sistema, debieran estar modificándose favorablemente a través del tiempo dichas capacidades. Sin embargo, no necesariamente se posee evidencia de esto ni de cuáles deberían ser este conjunto de variables, de modo que se dificulta su seguimiento. A modo de ejemplo, recién se ha incorporado el concepto de infraestructura resiliente o sostenibilidad en metodologías de evaluación de inversiones a nivel internacional, pero no aún a nivel de sistema de inversión pública al menos en América Latina, de modo que la evaluación de proyectos, en términos de infraestructuras críticas que potencialmente cambiarían la resiliencia, es lejano aún.

Junto con lo anterior, se aprecia una cierta precariedad en términos de las bases de datos existentes con las cuales se trabaja. En general, una de las críticas que ha surgido es que muchos de los registros es una autodeclaración de los efectos una vez ocurrido los shocks, pero no existe seguimiento de los efectos posteriores que estos pueden tener y, por tanto, en general sólo tenemos registro de cuándo fue el DN, pero no tenemos sistemas información que den continuidad a su observación, generando problemas para su estudio de forma dinámica.

Lo anterior, nos lleva a la búsqueda de criterios más ad-doc para que el evento sea considerado un desastre. En general, estos criterios se refieren a umbrales en torno a la población afectada y estimación de pérdidas en infraestructura, pero no contamos con otras variables de estado del sistema que permitan una mejor observación de la intensidad ni de su duración. Lo anterior, resalta la importancia de contar con estudios de casos documentados como parte del corpus de esta área de investigación, y no necesariamente centrar el análisis en efectos macro agregados, que pueden verse afectados por dichos elementos.

### 3.2.2. Efectos indirectos y los problemas de agregación

Dada las características de los desastres y sus efectos en el sistema económico, nos lleva a poner énfasis en su medición. En particular, la medición de efectos indirectos expresados en variables macroeconómicas. En el trabajo empírico, una de las principales variables macroeconómicas que se aprecia en la literatura utilizada para su estudio es el PIB, y a partir de este, la tasa de crecimiento per cápita.

Si bien, lo anterior muestra interesantes resultados, existen elementos que limitan los descubrimientos que pudiesen encontrarse al respecto. Esta limitación sucede a partir de la agregación y el período de medición del PIB. El hecho de agregar la producción del conjunto de trimestres puede estar subestimando los efectos, debido a que cualquier caída en un período de forma transitoria puede compensarse por el efecto de crecimiento en cualquier otro período posterior o anterior, o bien por otros shocks que este sucediendo y que respecto de los efectos puede haber generado una caída en producción de forma inicial, y luego una senda de recuperación. Esta es una limitación, al menos a nivel macro del conjunto de estudios que en general se llevan a cabo, lo cual en ningún caso lo invalida, sino que debemos tener precaución respecto a los resultados y estimaciones encontradas. En síntesis, la utilización de fuentes anuales hace que sea más difícil su estudio.

Otro elemento a nivel macro en este ámbito, y que ha recibido una mayor atención para el estudio de los efectos indirectos, es el gasto público y la capacidad de endeudamiento de las economías. Sin embargo, para países en desarrollo, se aprecia escasa literatura respecto de los efectos sobre el consumo y las asimetrías existentes en los mercados financieros. Pareciera ser que este elemento no ha recibido suficiente atención. Junto a lo anterior, las capacidades de resiliencia latentes en los sistemas económicos pueden estar modificándose y, por tanto, afectando esa intensidad de respuesta. Sin embargo, con la información existente no es posible identificar aún esos efectos. En términos gruesos, nos aproximamos a la medición del fenómeno bajo estudio, aun cuando puede ser que todavía no estemos cerca de poder medirlo realmente.

### 3.2.3. Canales de transición de los efectos

Uno de los aspectos que dificulta el estudio de los efectos se refiere a los canales de transmisión que poseen. La atención se ha centrado fundamentalmente a nivel de respuestas agregadas, pero falta información sectorial que nos pudiese contribuir a comprender de forma más precisa dichos mecanismos y los efectos de largo plazo que puedan tener tanto en signo como en magnitud. Los efectos sobre el crecimiento de largo plazo distan, al menos a partir de los modelos estimados en esta investigación, dan una respuesta única sobre la dirección de los efectos de cada shock en el largo plazo. Evidenciando trayectorias de ajuste diferenciadas según tipo de desastres, tipo de países y sus características.

El punto central aquí es que las condiciones bajo las cuales los sistemas económicos responden a los desastres cambian a través del tiempo, y la investigación respecto a los mecanismos de transmisión internos que estos presentan en el sistema aún está al debe. Lo anterior se debe a que la complejidad dentro del sistema económico se hace patente en los tipos de interrelaciones que se establecen y los grados de maduración de diferentes aspectos, como por ejemplo, del mercado de capitales, del mercado de seguros y sus asimetrías existentes, de la capacidad sectorial para absorber los shocks, así como también, de la capacidad institucional y dotación de factores que naturalmente implicarán respuestas diferenciadas.

Como parte del análisis a nivel agregado, al menos en cuanto a efectos se refiere, cobra relevancia respecto de la respuesta de los sistemas, aspectos como el tamaño o nivel de ingreso de las economías, el capital humano, el nivel de desigualdad y el capital natural. Estos son elementos que se

encuentran hoy día presentes en la discusión en torno a DN, y que afectan la capacidad de respuesta de los sistemas, no pudiéndose descartar a priori ninguna de las hipótesis existentes. Incluso, aquella asociada a la trampa de la pobreza.

#### 3.2.4. Enfoque bayesiano para el estudio DN y crecimiento

En términos del enfoque bayesiano, su incorporación en términos de estimar y modelar la respuesta de los sistemas económicos permite una representación más parsimoniosa. Lo cual se fundamenta en dos elementos, la utilización de información a priori y el hecho que se modela con parámetros del sistema que se comportan como variables aleatorias. Lo anterior es particularmente relevante en el ámbito de los desastres naturales, dado que la situación actual y la crisis ambiental existente nos lleva a pensar que las estructuras para la representación de los fenómenos en la realidad no necesariamente requieren que los parámetros del modelo se comporten como una constante.

Es posible por tanto, incorporar información existente la cual puede ir actualizándose o modificándose de modo de caracterizar de mejor forma dichos fenómenos a través de los modelos desarrollados. Un punto metodológico que surge en torno a la pregunta sobre qué prior es el correcto, requiere considerar que el aporte del enfoque bayesiano es que permite mejorar la calidad de las estimaciones, debido a que las restricciones que se imponen dentro del modelo, por tanto, más allá del priors, es la creencia a priori existente. Donde el origen de este método representa un progreso de los métodos de regresión cresta y mixta, y de las características inherentes a las series de tiempo.

Finalmente, los priors utilizados implican utilizar distribuciones de probabilidad, y el conjunto de parámetros que la caracterizan. Esto puede ser algo simple si el número de parámetros relevantes es reducido. En caso contrario, podemos utilizar hiper parámetros de modo de abordar de forma jerárquica la solución al problema. Lo cual requiere de un mayor trabajo computacional, pero actualmente están los software disponibles para esto.

### 3.3. Marco analítico sobre efectos indirectos de los D.N.

El análisis de los efectos indirectos sobre el crecimiento económico de largo plazo, se sustenta en la exploración que los modelos tradicionales nos proveen respecto de explicar trayectorias de ajuste de los sistemas económicos frente a los distintos tipos de desastres que enfrentan.

El modelo de Solow permite una primera representación sobre la tasa de crecimiento de largo plazo de la economía. En este caso en particular, el efecto del desastre reduce la relación capital producto, debido al deterioro de los activos tangibles, por lo cual para volver al estado estacionario, la economía experimentará una tasa de crecimiento per cápita positiva hasta llegar nuevamente a la situación de estado estacionario. Una vez se reinicia el proceso de acumulación y reconstrucción, la tasa de crecimiento del PIB per cápita se recupera, pudiendo tener niveles mayores respecto de los observados previo a que sucediera el desastre, para lo cual, en este caso, se ha asumido que dos factores fundamentales no han cambiado, el ahorro y el cambio técnico. La ecuación 3.1 muestra la ecuación de crecimiento del capital per cápita. Aquí el proceso de acumulación se mantiene, durante el período de transición hacia el estado estable con tasas de crecimiento positivas.

$$\frac{\hat{k}_t}{k_t} = \frac{s * f(k_t)}{k_t} - (n + g) \quad (3.1)$$

$$\frac{\hat{k}_t}{k_t} = \frac{s * y_t}{k_t} - (n + g) \quad (3.2)$$

Una extensión al modelo anterior, de modo que permita representar tanto la acumulación de activos tangibles como intangibles, es el propuesto por Islam (1995) y Loayza et al (2009). Donde a la función de producción se le incorpora el factor de capital físico, y capital humano, y las proporciones de



ahorro para invertir en dichos activos, las que son una proporción constante  $s_k$  y  $s_h$ .

$$Y = K_t^\alpha H_t^\beta (A_t L_t)^{(1-\alpha-\beta)} \quad (3.3)$$

$$\frac{\hat{k}_t}{k_t} = \frac{s_k y_t}{k_t} - (n + g + \delta) \quad (3.4)$$

$$\frac{\hat{h}_t}{h_t} = \frac{s_h y_t}{h_t} - (n + g + \delta) \quad (3.5)$$

Estas ecuaciones muestran la acumulación de factores y, por tanto, en este caso el desastre afecta directamente a la variable  $A$  del modelo que representa la eficiencia económica. El supuesto aquí presente es que el cambio tecnológico es neutral en sentido de Harrod, por tanto, cualquier mejora de eficiencia está correlacionada con el factor trabajo. En este caso, la ocurrencia del desastre afecta los ratios de capital físico y humano y, por tanto, la economía puede mostrar trayectorias diferenciadas según el efecto que genera el desastre. Es interesante en este caso, que el modelo permite vislumbrar los efectos en el deterioro de los activos tangibles e intangibles, y cómo la recuperación de estos ratios en el tiempo permite diferentes trayectorias.

Es interesante observar que, tal como se menciona en la literatura (Noy 2009, Lopez 2009), puede que el desastre afecte más relativamente a la pérdida de un activo tangible que un activo no tangible, reduciendo el sesgo inicial existente en términos de acumulación de activos tangibles, como es el caso de las economías de ingresos medios y bajos y, por tanto, contribuir a recuperar una senda de crecimiento en la economía, con efectos positivos en el largo plazo debido al desastre.

Sin embargo, estos modelos asumen dos supuestos que son difíciles de sostener en la literatura de los desastres naturales, el primero es la tasa de ahorro exógena y el progreso técnico constante. Respecto al primero, el efecto de los desastres tiene efectos sobre el consumo, la pérdida de activos se da a nivel agregado, y a nivel de unidades de consumo, cambiando las decisiones intertemporales de ahorro. En ese contexto, para este caso, un modelo más adecuado es el modelo de Ramsey-Koopmans, el cual endogeniza la decisión de ahorro.

$$\frac{\dot{k}_t}{k_t} = \frac{AK_t^\alpha - c_t}{k_t} - (n + \rho)$$

El modelo se desarrolla en términos del planificador central, y acá se exponen las ecuaciones fundamentales que caracterizan el modelo de crecimiento en el largo plazo. En términos del tipo de desastre bajo estudio, los parámetros que pueden verse afectados incorporan el hecho fundamental que los agentes optimizan sus decisiones de ahorro, y por tanto, una pérdida de activos tangibles en el presente, por ejemplo, puede llevar a encarecer el consumo futuro y cambiar las decisiones de óptimas de ahorro, lo que generaría efectos negativos en el crecimiento de largo plazo.

Finalmente, en la progresión natural para considerar respuestas diferentes entre economías se debiese considerar dos elementos adicionales a los expuestos anteriormente: que el crecimiento sea endógeno y que el modelo permita la acumulación de dos factores simultáneamente, capital físico y humano (Uzawa 1956 y Lucas 1988), de modo que las funciones de producción sean diferenciadas. En el caso del capital humano, la función de producción expresa la idea que es intensiva en capital humano y, por lo tanto, no se utiliza capital físico para su producción.

En este caso, se genera crecimiento de largo plazo en la economía debido a la acumulación tanto de activos tangibles como intangibles. Lo relevante aquí, es la proporción en la cual se invierte en ambos factores, ese ratio entre tipos de activos es un resultado fundamental. Por tanto, los efectos de crecimiento de largo plazo dependerán de en qué medida dicho ratio es afectado, o en qué tipo de activo se da la mayor pérdida relativa. Es interesante que, en la medida que la economía muestra mayores niveles de securitización de activos frente a desastres (López 2009), la posibilidad

de generar una trayectoria con tasas de crecimiento positivas para el capital y producto per cápita en el largo plazo es mayor.

Lo mismo ocurre en el caso de tener mayores niveles de capital humano inicial y menores niveles de desigualdad. Esto es justamente lo que sucede en las economías más desarrolladas, donde se aprecia evidencia favorable a la hipótesis de destrucción creativa, en cambio, situaciones contrarias a lo anterior, se aprecia en economía con altos niveles de desigualdad, bajo nivel de ingreso relativo y escaso capital humano.

Finalmente, si consideramos que el sistema acumula activos tangibles e intangibles en sentido amplio, es evidente que los efectos de los desastres naturales en el largo plazo sean diferencias aun cuando sean moderados. Esto porque, la destrucción de activos cambia los ratios óptimos en los que se sustenta el crecimiento de largo plazo y, por tanto, el sistema puede responder con trayectorias diferenciadas, incluso en este escenario la trampa de pobreza se vuelve completamente factible. Se debe considerar que en términos de intangibles no sólo se encuentra el capital humano, sino que también, elementos como capacidades institucionales, bienes públicos de segunda generación, activos tecnológicos, etc., los cuales pueden ser afectados en mayor o menor medida por los diferentes tipos de desastres naturales.

### 3.4. Discusión de resultados.

#### 3.4.1. Discusión en torno a los resultados modelos BVAR y PBVAR.

En términos de la discusión de resultados y a modo de iniciar la reflexión, traemos una cita textual de Jaramillo (2009), que sostiene tres elementos centrales: "... i) el primero dice relación con respecto a que los desastres sólo tienen efectos negativos sobre el crecimiento económico contemporáneo si ellos son económicamente significativos; ii) un segundo elemento, los desastres tienen un efecto negativo sobre el crecimiento en el año que suceden o ocurren, pero en los siguientes años existen una tendencia hacia un mayor crecimiento en general. Pero no garantiza que esto finalmente implique un efecto positivo en la tasa de crecimiento en el largo plazo, y iii) los efectos de largo plazo, si existe alguno, depende de la calidad del proceso de reconstrucción, y de la manera en la cual la reconstrucción afecta la vulnerabilidad de futuros desastres...".

El primer punto planteado posiciona la discusión en torno al concepto de desastre. En este sentido el tema tratado en el presente estudio hizo alusión a la importancia de contar con una definición más cercana al área de estudio de la economía. Desde esta perspectiva, una contribución relevante es la que hace Hallegatte y Dumas (2009) y Hallegatte y Przulski (2010), donde un desastre natural puede entenderse como un evento natural que causa una perturbación en el funcionamiento del sistema económico con un impacto sobre activos, factores de producción, producto, empleo, consumo e inversión. En este sentido, la presente investigación considera un conjunto de criterios para clasificar como desastres económicos los eventos naturales ocurridos. Y, por tanto, respecto de este punto existe acuerdo al respecto, aún cuando sea un elemento que requiere una profundización en la literatura.

En cuanto al segundo punto planteado, este centra la discusión con respecto a las hipótesis que pueden existir respecto al efecto sobre el crecimiento de largo plazo. Tal como señala Cavallo et al. (2013), el punto en cuestión termina siendo empírico. Por tanto, en la presente investigación se aborda el tema de la medición utilizando modelos BVAR y Panel VAR bayesiano, de modo de buscar una representación más parsimoniosa de las respuestas de la trayectoria o función impulso respuesta de las tasas de crecimiento del producto per cápita y del capital per cápita a través de la utilización de prior informativo para la distribución de probabilidad de los parámetros asociados al sistema, en particular respecto a la matriz de varianzas y covarianzas.

Se debe considerar al momento de analizar los resultados los siguientes aspectos respecto de la estimación de modelos utilizados:

- Un primer elemento es que los modelos BVAR, y PBVAR son una representación estocástica a partir de la data utilizada y, por tanto, su estimación implica garantizar condiciones de estabilidad. En este sentido, las estimaciones se llevan a cabo en el contexto de un modelo estable, donde la función impulso respuesta muestra la respuesta del sistema ante shocks bajo estudio. Si bien el modelo considera un conjunto más amplio de shocks, el análisis se concentra para el conjunto de desastres.
- Un segundo elemento es que los shocks como resultados de la ocurrencia de los desastres naturales tienen efectos transitorios dentro del sistema y, por tanto, los resultados muestran que se vuelve a su tendencia de largo plazo, después de determinados períodos de años. En este caso, se aprecian trayectorias de crecimiento positivas o negativas según tipos de desastres y tipos de países, las cuales en el largo plazo vuelven a su tendencia antes del shock. Pero donde los niveles del producto per cápita y del capital han experimentado cambios.
- Tercero, en la literatura de desastres se considera el corto plazo como un plazo inferior o igual a 5 años, y plazos superiores en general se consideran efectos de largo plazo. En este sentido, el modelo estimado efectivamente arroja resultados de largo plazo desde la perspectiva de cómo se ha estudiado el tema dentro de la literatura.
- Y cuarto, se debe considerar que cuando se obtienen las funciones impulso respuesta, detrás de estas trayectorias está la reacción del sistema respecto de un conjunto de variables y shocks limitados. Lo cual no agota las características de las respuestas de las economías, por el contrario, permite interpretar dichas respuestas conjuntamente en función de las características de las economías como tamaño, niveles de capital humano, desigualdad y otras variables.

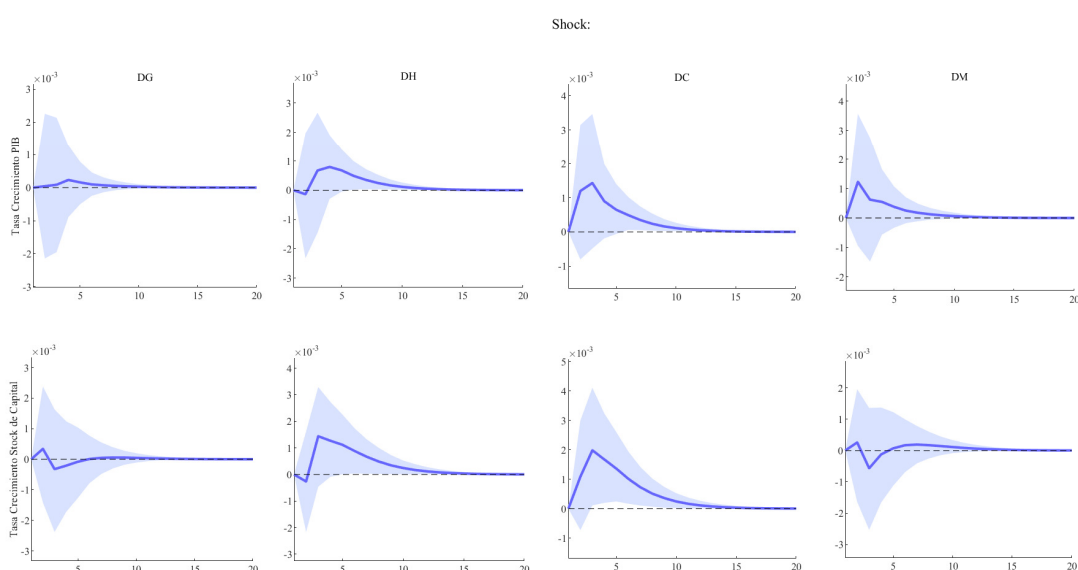
Los resultados, se muestran en las figuras 3.1 y 3.2 tanto para el caso de países de altos ingresos y capital humano, como para países de bajos ingresos y bajo capital humano. En ambos casos, las respuestas en torno al crecimiento del producto frente a los shocks son heterogéneas, lo cual es consistente con lo que encuentran otros autores en esta materia tales como Noy (2009), Loayza et al. (2012), Raddatz (2007-2009), Skidmore, M., y Toya, H. (2002).

Respecto a la estimación de los intervalos de confianza desde la perspectiva bayesiana, se construyen dichos intervalos para la función de impulso respuesta de las tasas de crecimiento una vez estimada la función a posteriori de los parámetros del modelo. Los intervalos calculados fueron del 95 % para dichas trayectorias, de lo cual se desprende que el verdadero valor del parámetro estará dentro del límite superior e inferior con una probabilidad del 95 %. Esto difiere de la interpretación frecuentista según la cual para un nivel de confianza de este valor, en muestreo repetido y si se aplicará el mismo procedimiento y se calcula respectivos intervalos de confianza, 95 de cada 100 intervalos incluirían al verdadero parámetro que está siendo estimado.

En el caso de estos intervalos se aprecia que, con mayor nitidez para el caso de los países de bajos ingresos y bajo capital humano, existen porciones de área, asociadas a la respuesta promedio del sistema, con una mayor proporción bajo signo negativo, reflejando que la distribución de probabilidad existente para dicho proceso presenta una masa de probabilidad con mayor concentración en valores menores que cero. Reforzando el hecho que, en general los efectos son pequeños, y que el ancho de banda de estos intervalos está influenciado también por la distribución de probabilidad que se obtiene de la estimación a posteriori, lo cual depende de los priors utilizados y la función de máxima verosimilitud respectiva. Por tanto, esta interpretación es una diferencia fundamental con respecto a generar dichos intervalos desde la perspectiva frecuentista.

En términos de la trayectoria a partir del modelo estimado, se aprecia para el caso de países de altos ingresos una trayectoria positiva de crecimiento posterior al shock, para luego retornar a su nivel de crecimiento de largo plazo. Los resultados están en línea con el hallazgo de otros estudios, tales como, Skidmore y Toya (2002) encuentran que mayor frecuencia de desastres climáticos tienen correlación positiva con el crecimiento económico, mientras que los desastres geológicos tienen una correlación negativa. Crespo, Cuaresma, Hlouskova y Obersteiner (2008) mencionan en su investigación que el efecto positivo se da en países de alto nivel de desarrollo cuando pueden beneficiarse con las mejoras de capital, en particular, a través de los flujos de comercio en las economías. Jaramillo (2009) por su parte, analiza la incidencia de desastres y sostiene que en países con baja incidencia de desastres el efecto de estos es positivo, con mediana incidencia negativa, en países con prevalencia de fenómenos climáticos el efecto es positivo, y para aquellos con prevalencia de fenómenos geológicos también es positivo fundamentalmente en países de altos ingresos.

Figura 3.1: Países Altos ingresos y alto capital humano.



En términos de los principales resultados para países de altos ingresos podemos señalar:

- a. **Países alto ingreso y alto capital humano:** para la tasa de crecimiento del PIB se observan respuestas positivas al shock en el corto plazo, volviendo el sistema a su tendencia de largo plazo. El efecto tiene una duración entre 7 y 12 años según el tipo de desastre, siendo el desastre climático el que más destaca entre todos con un efecto acumulado de 0.545 %.
- b. Para la tasa de crecimiento del stock de capital los tiempos de recuperación son mucho menores que el caso anterior, oscilando entre los 2 y 7 años, siendo el desastre climatológico el que destaca entre los demás con un efecto acumulado máximo de 0.797 %. Llama la atención el efecto de los desastres meteorológicos, el que es negativo al corto plazo, pero al largo plazo el efecto acumulado llega a ser positivo, debido a la naturaleza zigzagueante de la respuesta al impulso.

Dado que la trayectoria retratada corresponde más bien a países efectivamente de altos ingresos y de alto nivel de capital humano, lo anterior, evidencia que existen un conjunto de capacidades institucionales que también pueden estar detrás de este comportamiento, y podrían explicar en este caso, desde una perspectiva diferente el crecimiento de largo plazo. Ya que, para el sistema estimado, los efectos transitorios tienen efectos transitorios, lo cual podría parecer contradictorio a lo que señala la literatura. Debemos recordar que esta tiende a considerar el efecto de largo plazo, como un

período menor al que se demora en sistema en volver a su nivel de tendencia de largo plazo, y por tanto, tener crecimiento positivo o un efecto positivo en la tasa de crecimiento de largo plazo, junto con la anterior, la existencia de características de resiliencia diferente entre países de altos ingresos y bajos ingresos, permiten sostener este resultado. Esto sería coherente con respecto a los modelos basados en destrucción creativa, por tanto, los que pueden predecir mayores tasa de crecimiento, dado que esos shocks pueden ser un acelerador para la reinversión y un mejoramiento del stock de capital (Loayza et al. 2012, Popp 2006, Hallegatte and Dunes 2009).

Distinta es la situación cuando examinamos a países de bajos ingresos relativos y bajo nivel de capital humano, en este caso, las trayectorias evidencian la hipótesis de recuperación de la tendencia, o bien de no recuperación. Frankhauser and Tol (2005), sostienen que la senda de los países relativamente más vulnerables tienden a mostrar efectos negativos en el largo plazo, esto se debe a que el efecto en salud es desproporcionadamente alto respecto de una pérdida de capital per cápita extremadamente baja. Por su parte, Loayza et al (2012) y Noy (2009), agregan a la discusión la importancia de las capacidades institucionales y económicas en los países en desarrollo. En términos de principales resultados para este segundo grupo de países es posible señalar:

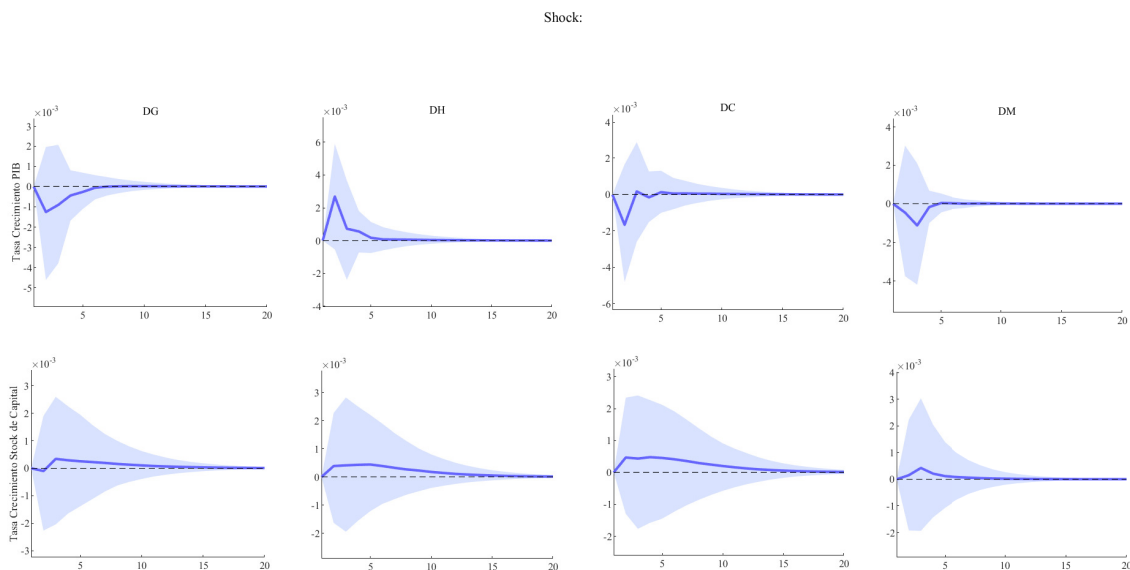
- a. **Países bajo ingreso y bajo capital humano.** Para la tasa de crecimiento del PIB se observan periodos que oscilan entre 5 y 6 años. El desastre que más impacto tiene es el hidrológico, sin embargo, este es breve dado que al largo plazo regresa al estado estacionario. Para el caso de la tasa de crecimiento, la persistencia es más alta, oscilando entre los 11 y 14 años siendo el meteorológico el más corto con 6 años. El efecto más alto es del desastre climatológico el cual llega al largo plazo al 0.38 %
- b. **Países bajo ingreso y bajo capital humano, alta desigualdad.** El efecto es inverso al caso anterior, todas las tasas de crecimiento tienen un efecto negativo, excepto para la tasa de crecimiento de los desastres meteorológicos el cual es positivo. Lo que más destaca de este caso es el hecho de que los tiempos de disipación son mucho más cortos que el caso anterior, lo que evidencia que deben lidiar con un shock en corto tiempo y que podría interpretarse como un efecto violento sobre esta tasa de capital.

Los resultados ilustrados en la figura 3.2 se encuentran, por tanto, en la discusión de la existencia o no de la trampas de pobreza<sup>2</sup>. Resulta interesante sin embargo, analizar los factores o condicionantes que llevan a una economía a dicho fenómeno. Bowles, Durlauf y Hoff (2006) señalan tres clases de persistencia de la pobreza. La primera es la consecución de “umbrales críticos” en la riqueza global y el capital humano con el fin de no permanecer en los niveles mínimos de subsistencia. La segunda son “instituciones disfuncionales” originadas por la corrupción y su mala interacción con la población. La tercera, los autores la definen como una metáfora que denominan “efectos de vecindad” en el que las decisiones grupales pueden influir en las preferencias o creencias de los individuos.

En este contexto de desastres naturales y los resultados obtenidos, los países de bajo ingreso caen en un espiral de crecimiento negativo producto de los desastres hasta volver lentamente a la situación de largo plazo, con un menor nivel de: ingreso per cápita, ahorro, y capacidad de acumulación de capital. De esta forma, los desastres corresponden a uno de los factores que aporta al estancamiento de las economías pobres dentro de su trampa y, aún más, pueden revertir la salida de los países que se encuentran en el denominado “límite de desarrollo” que permite alcanzar equilibrios de alto capital y producto per cápita (Kraay y Raddatz, 2007).

<sup>2</sup>Esto significa que cada economía, para el caso de los países de bajos ingresos, se dirige hacia su propio estado estacionario, que no necesariamente es un punto más elevado que el inicial, y que pueden existir grupos de economías que se dirijan hacia un mismo equilibrio formando así clubes de convergencia, como los denominaría Quah (1996).

Figura 3.2: Países bajo ingreso y capital humano.



En esta misma línea resulta relevante destacar el hecho que los desastres destruyen no solo activos tangibles sino que también activos intangibles, tales como capital humano y capital natural, entre otros. Y, por tanto, el ratio de acumulación se ve afectado siendo un obstáculo para el crecimiento. López e Islam (2008), demuestran econométricamente que el sesgo asociado a la acumulación de activos intangibles en países en desarrollo es costoso, ya que este sesgo puede constituirse en un factor que obstaculiza el crecimiento.

Otro factor relevante que puede estar explicando la no recuperación de las economías, corresponde a la existencia de niveles de desarrollo de los mercados financieros asimétricos en los países más vulnerables, de modo que, también es un factor que entorpece el crecimiento económico (López, 2006). En la figura 3.3 se aprecia el nivel de daño asegurado que existe entre países de altos ingresos y países de bajos ingresos. Es efectivamente en los primeros donde el mercado financiero se encuentra desarrollado. Esto tiene un conjunto de implicancias respecto a como se lleva a cabo la gestión de riesgo en el caso desastres.

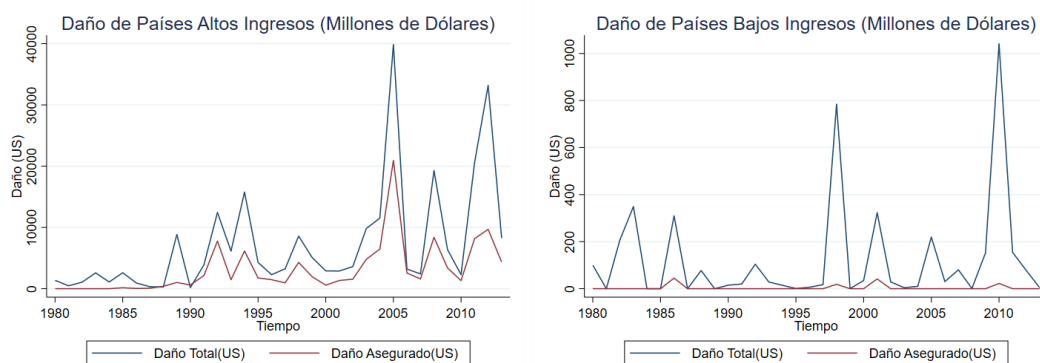


Figura 3.3: Daños contabilizado y daño asegurado.

En este sentido, la gestión del riesgo es un elementos central a nivel de los sistemas financieros. Los individuos, las familias y los negocios se enfrentan a pérdidas potenciales de desastres naturales o accidentes que podrían afectar, lugares de negocios o finanzas. Los sistemas de seguros son la principal fuente de financiación del riesgo (Dorfman, 1998; Banks, 2004). Dado que la gestión del riesgo es parte integrante de las operaciones de cualquier corporación, es fundamental para la seguridad

y el éxito de la propia industria de seguros desarrollar sus propias estrategias de gestión de riesgos (Carter, 1999). Una de las principales estrategias de gestión de riesgos del sector de los seguros ha sido el reaseguro (Kramer, 1980; Carter, 1999; Patrik, 2006; Holland, 2009).

Dado el análisis anterior, es justamente esta perturbación en el sistema económico la que puede generar efectos positivos o negativos de diversa índole y, por tanto, de difícil medición. Si bien este puede entenderse como un shock exógeno, la información que se observa sobre las variables que registran dichos efectos, llevan implícitamente elementos que dicen relación con las capacidades existentes en las economías antes y después de los desastres, tales como, capacidad de financiamiento, el nivel de cobertura frente a riesgos, la capacidad de administrar el riesgo (Keen y cols., 2003), la capacidad de acumulación de los factores por parte de las economías y las diferencias entre ingresos altos y medio-bajos.

### 3.4.2. Determinantes del crecimiento de largo plazo

Como última aproximación, se discuten los factores que afectan el crecimiento de largo plazo, de modo de completar los resultados encontrados al estimar los modelos BVAR y PBVAR. Se debe considerar que, si bien en los modelos estimados se retorna a la situación de estado estacionario, con niveles de ingreso y capital per cápita distintos, pero con tasas de crecimiento similares a las antes del shock, nos llevaría a inferir que por tanto no tienen efectos. Sin embargo, al considerar la literatura los efectos de largo plazo se consideran para un horizonte superior a 5 años y, por tanto, los modelos estimados sí estarían evidenciando efectos de largo plazo desde esta perspectiva, si consideráramos que los tiempos de disipación del shock en dichos modelos es entre 10 a 15 años. De esta forma, debemos considerar esto como una aproximación al estudio de los elementos o factores que condicionan la respuesta del sistema y que afectan el crecimiento de largo plazo desde la perspectiva de un panel dinámico. Donde se diferencia entre economía de altos y de bajo ingresos per cápita. Para lo anterior, se estimó siguiente modelo<sup>3</sup>:

$$y_{it} = \gamma y_{i,t-1} + \delta Desastres_{it} + \sum_{j=1}^n \beta_j x_{ij} + \eta_t + \mu_i + v_{it} \quad (3.6)$$

Donde  $y_{it}$  corresponde al crecimiento del PIB per cápita del país  $i$  en el período  $t$ ,  $Desastres_{it}$  corresponde al índice de desastres locales,  $x_{ij}$  es un vector de variables exógenas,  $\mu_i$  y  $\eta_t$  capturan los efectos inobservables específicos y dependientes del tiempo de cada país y  $u_{it}$  es el término de error. La tabla 3.1 muestra los resultados de la estimación con la inclusión paulatina de variables exógenas. Esta tabla nuevamente presenta la heterogeneidad de cada desastre en cuanto a sus efectos sobre el crecimiento de largo plazo a nivel agregado, donde los desastres geofísicos presentan efectos negativos tal como enuncian Skidmore y Toya (2002). Asimismo, los desastres hidrológicos y climatológicos muestran un efecto negativo menos claro, mientras que los de tipo meteorológico muestran un efecto negativo en la última especificación pero no significativo.

---

<sup>3</sup>Estimación hecha en base al modelo de Arellano-Bond (1991) bajo el método generalizado de momentos.

Tabla 3.1: Variables que afectan el crecimiento de largo plazo.

VARIABLES	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Crecimiento $_{t-1}$	0.288*** (0.0722)	0.195*** (0.0665)	0.119*** (0.0461)	0.105*** (0.0418)	0.106*** (0.0413)
Geofísico	-0.725** (0.412)	-0.699** (0.383)	-0.278* (0.185)	-0.0729 (0.292)	-0.0702 (0.296)
Hidrológico	0.0545 (0.249)	0.0124 (0.227)	-0.0162 (0.146)	0.187 (0.210)	0.157 (0.208)
Climatológico	-0.127 (0.211)	-0.0411 (0.211)	-0.0924 (0.155)	0.112 (0.188)	0.128 (0.191)
Meteorológico	-0.290** (0.168)	-0.284** (0.153)	-0.195* (0.133)	0.0734 (0.217)	0.0593 (0.218)
Crec K		79.88*** (16.65)	49.65*** (8.218)	46.88*** (10.15)	46.95*** (10.32)
Crec pob		-69.77*** (17.23)	-59.42*** (17.91)	-63.47*** (13.00)	-65.03*** (13.44)
Crec cons			31.66*** (3.517)	43.83*** (6.858)	43.48*** (6.833)
Crec gob			2.946** (1.659)	0.986 (2.259)	1.052 (2.162)
Depreciación		-206.7*** (47.56)	-182.4*** (42.27)	-8.461 (42.73)	-5.632 (41.63)
ln(apertura)			0.723 (0.782)	2.664*** (0.848)	2.660*** (0.846)
Desarrollo Fin			2.457* (1.590)	0.696 (1.184)	0.564 (1.135)
Crec KH			-4.243 (30.17)	2.282 (20.92)	0.869 (21.62)
Prop urban				0.0460 (0.0700)	0.0418 (0.0669)
Democracia				-0.00137 (0.0524)	0.00161 (0.0533)
ECI				0.925** (0.489)	0.968*** (0.488)
Agotamiento RN					0.0276 (0.0618)
Deforestación					-0.0210 (0.172)
Constante	0.801 (0.648)	5.661*** (2.367)	6.048*** (1.902)	-1.059 (5.526)	-1.307 (4.889)
Observaciones	6,028	5,981	4,450	1,083	1,069
Número de países	177	175	137	51	51

Período de estimación: 1981 - 2019

Errores estándar robustos en paréntesis

\*\*\* p&lt;0.05, \*\* p&lt;0.10, \* p&lt;0.15

Con respecto a otras variables relevantes, se observa que el capital humano y la apertura comercial tienen un efecto positivo en el crecimiento (siendo este último significativo), lo que refuerza la importancia de los efectos y trayectorias basadas en la destrucción creativa para el crecimiento económico (Loayza et al., 2012; Popp, 2006; Hallegatte and Dunes, 2009), esto se confirma con el signo positivo y significativo del índice de complejidad económica (ECI). En específico, este último resultado refleja que aquellos países con mayor innovación, que logran producir una mayor diversidad de bienes complejos<sup>4</sup> alcanzan trayectorias de mayor crecimiento per cápita de largo plazo.

<sup>4</sup>El cálculo del índice de complejidad económica se basa en la diversidad, ubicuidad y complejidad de los productos que exporta el país.



Al mismo tiempo, el efecto positivo asociado al nivel de desarrollo financiero también reafirma su relevancia para el crecimiento (Rajan y Zingales, 1998). Por último, las variables asociadas al deterioro del agotamiento del capital natural no presentan un signo robusto en la estimación, sin embargo, el signo negativo de la deforestación puede ser señal de la relevancia del capital natural para el sostener el crecimiento de largo plazo.

Por otra parte, la tabla 3.2 muestra la estimación de la especificación principal para los países de altos ingresos, medios ingresos y bajos ingresos<sup>5</sup>. En este análisis se aprecian elementos relevantes respecto a variables que inciden en la capacidad de recuperación de las trayectorias, entre estas se encuentran la importancia del crecimiento del gasto público (Crec gob), la apertura comercial, el desarrollo financiero y el crecimiento de capital humano.

---

<sup>5</sup>Para generar muestras uniformes, el grupo de medios ingresos corresponde a países de ingreso medio-alto, mientras que los países de bajos ingresos junta los países de bajos ingresos con los de medio-bajo.

Tabla 3.2: Variables que afectan el crecimiento de largo plazo, por nivel de ingreso.

VARIABLES	Altos ingresos	Ingresos Medios	Ingresos Bajos
Crecimiento $_{t-1}$	0.139*** (0.0632)	0.0610 (0.0442)	-0.0907 (0.130)
Geofísico	-0.198 (0.260)	0.271 (0.377)	0.0440 (0.436)
Hidrológico	0.346*** (0.163)	0.307 (0.344)	-0.455 (0.441)
Climatológico	-0.472** (0.276)	0.232 (0.275)	0.189 (0.351)
Meteorológico	-0.406 (0.302)	-0.417 (0.389)	-0.107 (0.355)
Crec K	37.37*** (11.62)	26.72*** (9.202)	35.57*** (9.912)
Crec pob	-92.51*** (22.49)	-65.47*** (24.07)	-31.36 (31.51)
Crec cons	45.68*** (10.05)	52.19*** (6.762)	40.64*** (10.05)
Crec gob	5.550 (7.045)	-0.976 (4.090)	9.129*** (3.886)
Depreciación	-157.2*** (41.86)	-104.1*** (48.38)	-57.02** (29.24)
ln(apertura)	3.929*** (1.406)	1.221* (0.799)	0.259 (0.829)
Desarrollo Fin	1.108 (0.915)	2.574* (1.640)	-0.476 (1.749)
Crec KH	70.33 (53.22)	-7.827 (24.02)	-11.86 (23.37)
Prop urban	0.0317 (0.0800)	-0.0989 (0.0687)	-0.0345 (0.0579)
Democracia	0.0268 (0.0692)	-0.0300 (0.0456)	-0.0639* (0.0428)
Agotamiento RN	-0.0748 (0.0814)	0.0799 (0.0565)	0.136 (0.110)
Deforestación	-2.254 (3.174)	-2.397*** (1.049)	-0.0570 (0.126)
Constante	4.314 (6.446)	9.510** (5.263)	3.944 (3.064)
Observaciones	619	592	617
Número de países	21	17	19

Período de estimación: 1980 - 2019

Errores estándar robustos en paréntesis

\*\*\* p&lt;0.05, \*\* p&lt;0.10, \* p&lt;0.15

Con respecto a las variables de capital natural, observamos que para los países de ingresos medios y bajos, el agotamiento de recursos naturales se relaciona con mayor crecimiento, mientras que en el caso de la deforestación esta es siempre negativa lo que destaca su importancia transversal para el crecimiento, la que parece más marcada para el caso de los países de ingresos medios.

En el ámbito de la desigualdad se estimó el modelo utilizado por Pierre (2019) con el objetivo de observar el efecto de distintas variables en los niveles de desigualdad.

Tabla 3.3: Variables que afectan la desigualdad.

VARIABLES	General	Ingresos Altos	Ingresos Medios
ln(gini <sub>t-1</sub> )	0.386*** (0.0812)	0.227* (0.154)	0.413*** (0.0524)
ln(PIBpc <sub>t</sub> )	0.0138 (0.0525)	-0.101 (0.121)	0.0738 (0.0535)
Geofísico	0.00722*** (0.00297)	0.00499 (0.00703)	0.00466 (0.00473)
Hidrológico	0.0123*** (0.00559)	0.0181*** (0.00731)	0.0129* (0.00804)
Climatológico	0.000223 (0.00420)	0.00562 (0.00431)	-0.000955 (0.00551)
Meteorológico	-0.00751*** (0.00332)	0.00118 (0.00602)	-0.00906** (0.00523)
ln(apertura <sub>t</sub> )	0.0243 (0.0238)	0.0421 (0.0413)	0.0678*** (0.0235)
Desarrollo Fin	-0.0869 (0.0685)	-0.232*** (0.0990)	-0.0175 (0.0531)
ln(FDI <sub>t</sub> )	0.00186 (0.00364)	0.00513** (0.00285)	-0.00501 (0.00656)
ln(inflacion <sub>t</sub> )	-0.000879 (0.00290)	0.00125 (0.00286)	-0.00400 (0.00391)
ln(KH <sub>t</sub> )	-0.0115 (0.151)	-0.843 (0.678)	0.0617 (0.178)
ln(pob <sub>t</sub> )	0.137** (0.0813)	-0.163 (0.120)	0.202 (0.188)
ln(consgob <sub>t</sub> )	-0.0990*** (0.0416)	0.119 (0.141)	-0.125*** (0.0622)
Democracia	-0.00465*** (0.00108)	-0.00702 (0.00691)	-0.00296*** (0.00120)
Agotamiento RN	0.00256 (0.00205)	-0.00743 (0.00589)	0.00129 (0.00250)
Deforestación	0.0176 (0.0437)	-1.229 (1.331)	0.00655 (0.0393)
Constante	1.103 (1.512)	6.199*** (1.413)	-0.220 (3.355)
Observaciones	308	136	172
Número de países	29	14	15

Período de estimación: 1981 - 2019

Errores estándar robustos en paréntesis

\*\*\* p&lt;0.05, \*\* p&lt;0.10, \* p&lt;0.15

Se aprecia una relación positiva con efectos significativos debido a la ocurrencia de desastres<sup>6</sup>, lo que se encuentra en línea con otros trabajos que exploran esta relación (Pierre, 2019). Por tanto, frente a estos las economías con menores capacidades de recuperación se ven o se encuentran en una posición más compleja para su recuperación. Asimismo, se evidencia la importancia de la democracia, el desarrollo financiero, apertura y rol del gobierno.

Finalmente, el contar con menores capacidades de recuperación, pone de relieve la posibilidad que las economías puedan seguir trayectorias de crecimiento de largo plazo que no necesariamente convergen, al menos en el caso de los países de bajos ingresos. Para dar cuenta de lo anterior, se sigue la

<sup>6</sup>Para el caso de la variable de la desigualdad, solo fue posible explorar la muestra de países de altos y medios ingresos (medios-altos y medios-bajos), ya que la base de datos no tiene índices gini para los países pertenecientes al grupo de bajos ingresos. Dado que las variables de este estudio se miden de manera diferente, la desigualdad de ingresos se mide como un índice, el PIB per cápita en unidades monetarias, la apertura comercial en porcentaje del PIB, y los desastres naturales según su ocurrencia, la transformación de las series de datos en logaritmos naturales ayuda a evitar los problemas asociados con sus problemas de distribución. Al mismo tiempo, el uso del logaritmo permite interpretar los coeficientes como elasticidades.

especificación planteada por (Díaz, Sánchez, y Mendoza, 2009), la cual ha sido utilizada en estudios de convergencia posteriores (Martell, 2016):

$$\Delta(y_{i,t} - y_{l,t}) = \delta + \rho(y_{i,t-1} - y_{l,t-1}) + \sum_{j=1}^p \phi_{i,k} \Delta(y_{i,t-j} - y_{l,t-j}) + \beta DN_{i,t} + u_{i,t}$$

Donde  $y_{i,t}$  es el logaritmo natural del PIB per cápita del país  $i$  en el año  $t$ ,  $y_{l,t}$  es el logaritmo natural del PIB per cápita del país líder<sup>7</sup> en el año  $t$ ,  $\rho$  es negativo si las economías convergen y cero o positivo si las economías divergen y  $u_{i,t}$  es un proceso de ruido blanco. Como característica adicional, se agrega el término  $DN_{i,t}$  que corresponden a las dummies de ocurrencia de desastres para el país  $i$  en el año  $t$ , esto con el fin de explorar el efecto de estos desastres en el proceso de convergencia entre los países. Aún más, para la estimación del modelo se separará la muestra en dos grupos: ingresos altos y medios e ingresos bajos, con el fin de discernir las diferencias que poseen estos países en sus trayectorias de convergencia.

La tabla 3.4 muestra el análisis de convergencia utilizando como país líder a Estados Unidos. A primera vista, estos resultados muestran una situación marcada: en el caso de los países de ingresos altos y medios, sí se observa convergencia debido a que el signo de  $\rho$  es negativo e incluso significativo; mientras que, para el caso de los países de bajos ingresos no se observa convergencia, aún más, al agregar los desastres al análisis se presenta evidencia de divergencia respecto al país líder, ya que  $\rho$  es positivo y significativo. Asimismo, es posible ver que los desastres poseen signos negativos e incluso significativos, esto entrega señales de que los desastres aportan al proceso de convergencia para los dos tipos de países, lo que se puede relacionar con el nivel de destrucción transversal que significan dichos desastres.

Así, se nos presenta una situación donde los países de ingresos altos y medios logran converger con el país líder, mientras que los países pobres no logran converger e incluso divergen con el país líder. Este resultado se encuentra en línea con la hipótesis de trampa de pobreza, ya que los países pobres se mantienen en su posición vulnerable y sus trayectorias se alejan del resto de los países.

Tabla 3.4: Análisis de convergencia, inclusión de desastres.

VARIABLES	Ingresos Altos y Medios	Ingresos Altos y Medios	Ingresos Bajos	Ingresos Bajos
$\rho$	-0.560*** (0.133)	-0.580*** (0.128)	0.163 (0.115)	0.170* (0.113)
Geofísico		-0.00325 (0.00282)		-0.00158 (0.00718)
Hidrológico		-0.00547*** (0.00261)		-0.000467 (0.00360)
Climatológico		-0.00414** (0.00237)		-0.00715*** (0.00351)
Meteorológico		0.00179 (0.00282)		-0.00729 (0.00697)
Constante	0.0374*** (0.0124)	0.0397*** (0.0128)	0.0835*** (0.0215)	0.0878*** (0.0212)
Observaciones	232	232	100	100
Número de países	78	78	51	51

Período de estimación 1980 - 2019  
 Errores estándar robustos en paréntesis  
 \*\*\* p<0.05, \*\* p<0.10, \* p<0.15

La tabla 3.5 presenta un análisis adicional siguiendo la lógica de convergencia absoluta en los llamados “clubes de convergencia” (Martell, 2016). Para esto, el país líder cambia según el nivel de ingreso del grupo en cuestión y se encuentra dentro del mismo. Así, el país líder para el grupo de

<sup>7</sup>El país líder corresponde al país con el mayor PIB (a dólares constantes del 2015) de la muestra en el año 2019, en este caso es Estados Unidos. Para la submuestra de países de bajos ingresos, el país líder corresponde a India.

países de ingresos altos y medios corresponde a Estados Unidos, mientras que el país líder para los países de bajos ingresos corresponde a India.

El cuadro en cuestión muestra dos resultados opuestos: los países de ingresos altos y medios presentan convergencia entre ellos, mientras que en el caso de los países pobres presentan una marcada divergencia. Este resultado destaca la heterogeneidad del proceso de crecimiento para los países pobres, la cual responde a una gran cantidad de dificultades multidimensionales y únicas para cada país. Por último, nuevamente se observa que los desastres aportan positivamente a la convergencia al mostrar signos negativos y significativos para los países de altos ingresos y el caso contrario para países de bajos ingresos.

Tabla 3.5: Análisis de convergencia, inclusión de desastres: Líder según nivel.

VARIABLES	Ingresos Altos y Medios	Ingresos Altos y Medios	Ingresos Bajos	Ingresos Bajos
$\rho$ (EEUU)	-0.560*** (0.133)	-0.580*** (0.128)		
$\rho$ (India)			0.196*** (0.0999)	0.187** (0.0985)
Geofísico		-0.00325 (0.00282)		0.000658 (0.00700)
Hidrológico		-0.00547*** (0.00261)		0.00112 (0.00355)
Climatológico		-0.00414** (0.00237)		-0.00814*** (0.00364)
Meteorológico		0.00179 (0.00282)		-0.0113** (0.00651)
Constante	0.0374*** (0.0124)	0.0397*** (0.0128)	-0.117*** (0.0418)	-0.136*** (0.0431)
Observaciones	232	232	100	100
Número de países	78	78	51	51

Período de estimación 1980 - 2019  
 Errores estándar robustos en paréntesis  
 \*\*\*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.10$ , \*  $p < 0.15$

Lo anterior, permite concluir de este análisis, que las economías poseen distintos escenarios para ver los efectos de repercusión de los desastres y que las condiciones iniciales en las cuales se encuentran permiten delinear diferentes trayectorias de ajuste, no existiendo una relación biunívoca entre desastres y crecimiento en el largo plazo. Los resultados son consecuentes con lo que se esperaba según evidencia constatada en otros estudios, pues los shocks no siempre impactan de forma negativa en el crecimiento de ambas tasas, sino que estos efectos suelen ser variados en términos de resultados obtenidos. En el caso de considerar que el crecimiento económico se ajusta a un modelo típico de Solow, el caso más simple permite comprender algunas posibles directrices para entender este fenómeno.

### 3.5. Principales conclusiones.

En términos de la investigación desarrollada, la metodología utilizada, y a partir de los principales resultados obtenidos es posible señalar sistematizar y señalar los siguientes aspectos.

1. **Foco de análisis y pregunta de investigación.** El foco de la investigación se basó en el estudio de los efectos de los desastres naturales sobre el crecimiento económico. En particular, la literatura especializada evidencia consenso de los efectos de corto plazo el cual comprende un plazo inferior a cinco años, por el contrario, existe menos acuerdo sobre los efectos de largo plazo el cual considera un plazo mayor al anterior. Este último fue justamente el objeto de atención aportando a dicha discusión tanto en términos de signos como magnitudes de los efectos de los desastres naturales. La literatura también identifica efectos directos e indirectos, donde los primeros se refieren a los efectos inmediatos generados por el desastres tales como la pérdida de vidas humanas, personas afectadas, pérdidas de activos físicos en general, y los efectos indirectos se refieren al estudio de los desastres sobre variables macroeconómicas en general.

La pregunta de investigación giró en torno a ¿Cuál es el efecto de los DN sobre el crecimiento de largo plazo de las economías?, su estudio implicó analizar las funciones impulso respuesta para distintos tipos de desastres tales como climatológicos, geológicos y aquellos más relacionados directamente con el cambio climático como son hidrológicos y meteorológicos. Se utilizó modelos de vectores autoregresivos incorporando adicionalmente variables exógenas y shocks de desastres. Paralelamente, para lograr una representación más parsimoniosa se aplicó un enfoque bayesiano, el cual emplea prior de información para modelar el comportamiento de los parámetros del sistema. De esta forma, el utilizar información a priori permite resolver dos problemas presentes en este tipo de modelos, el brusco cambio de signo que pueden experimentar los parámetros, y los problemas asociados a la dimensionalidad con respecto al número de parámetros.

La metodología aplicada, efectivamente permitió lograr caracterizar las respuesta de los sistemas a nivel individual, así como también, a nivel agregado cuando los países se separan según nivel de ingreso como proxy de tamaño, capital humano, desigualdad y capital natural. La dinámica del sistema por tanto, permite su representación a través de los modelos BVARX y PBVARX. La solución que aporta los modelos BVAR (la incorporación de información a priori acerca de los parámetros del sistema) es una aplicación especial y bastante sofisticada de dos métodos de estimación desarrollados a principios de los años setenta: la regresión cresta (ridge regression) y la estimación mixta. Ambos métodos están orientados a la mejora de la calidad de la estimación por mínimos cuadrados ordinarios (MCO) de los parámetros del modelo lineal general. Lo anterior implica utilizar el conocimiento previo con respecto a los parámetros del modelo que se quiere estimar, de modo de obtener la distribución a posteriori una vez que se ha utilizado la información contenida en los datos, con la información a priori de la distribución de los parámetros o del vector de parámetros.

En términos de los resultados encontrados, se aprecia que los efectos de corto plazo tienen en general negativos, no así los de largo plazo, los cuales dependen del tipo de desastre bajo estudio. Las magnitudes de los efectos en el largo plazo son pequeños, lo que esta acorde a los estudios relacionados. En términos del aporte a la literatura, se resalta de utilizar un modelo que permite medir los efectos de corto y largo plazo, permitiendo representaciones más parsimoniosas de las funciones impulso respuesta, junto con lo anterior, se aprecia el hecho de encontrar evidencia favorable con la hipótesis de destrucción creativa asociada a países de altos ingresos dado que estos shocks pueden ser un acelerador de la reinversión y mejoramiento del stock de capital (Loayza et al. 2012, Hallegatte and Dunes 2009), los resultados encontrados

están en concordancia con Skidmore y Toya (2002), Crespo (2008) y Jaramillo (2009). Para el caso de los países de bajos ingresos, no es posible descartar que la trampa de pobreza no sea un escenario factible a partir de la ocurrencia de desastres, situación discutida en la literatura y acorde a lo planteado por Lopez (2016), Loayza et al (2021), y Noy (2009).

2. **Hechos estilizados.** En cuanto a los hechos estilizados que motivan el estudio, y que constituye el objeto de su comprensión, se aprecia que:

- En primer lugar, tanto el número como la intensidad de los desastres se ha incrementado sostenidamente en las últimas décadas. En particular, aquellos que se relacionan más directamente con los efectos del cambio climático en curso.
- En segundo lugar, los DN afectan a todo el conjunto de países cuando son separados por niveles de ingresos, y donde el mayor número se concentra en las economías de ingresos medios.
- En tercer lugar, es posible modelar las estadísticas en torno a desastres como procesos estocásticos a través del enfoque de series de tiempo, elemento relevante al momento de estudiar los desastres e incorporarlos en los modelos de estimación.
- En cuarto lugar, los costos directos asociados a la ocurrencia del evento mismo se aprecian con más nitidez en las economías de ingresos altos, y que corresponden a aquellas que disponen de mejores sistemas de medición y estimación de daños y mayor desarrollo del mercado de seguros. Asimismo, cuentan con dotaciones mayores de activos tangibles e intangibles permitiendo una mejor valorización de los efectos. Sin embargo, los costos y daños a nivel de los países de bajos ingresos se torna alarmante, en términos de pérdidas de vidas humanas, vulnerabilidad y resiliencia.

3. **Limitaciones de los datos y efectos en los resultados.** En el caso de EM-DATA se cuenta con una definición de desastres que dice relación con el efecto sobre personas y daños en términos de activos físicos autoreportados por los países. Por tanto, un primer problema de la data es respecto a la definición de los eventos que son considerados como desastres, ya que si consideramos la clasificación original implicaría incorporar una gran cantidad de eventos que realmente no significaron una perturbación real en el sistema económico y estaríamos sobreestimando los efectos, es por tal motivo que se requiere de criterios más exigentes tanto en términos de población afectada como en términos de costos asociados para su clasificación como desastres. Dichos criterios fueron considerados en el presente estudio, y por tanto, de esta forma los resultados evitan dicho sesgo. Otro elemento que permite minimizar el problema anterior, es que las variables que se identifica como desastre dentro del sistema, es una variables dummy, que toma valores 1 si cumple el conjunto de criterios analizados.

Por otra parte, si bien en la base se señalan los costos del desastres, no es posible saber que tipo de infraestructura es la afectada, no existe una partida que permita especificar este elemento, de modo que cuando estudiamos la respuesta del sistema frente al desastre, no es posible separar por ejemplo por tipo de capital afectado o tipos de infraestructuras, de modo de llegar a un nivel más detallado al respecto. Es decir, aún cuando estudiemos las trayectorias de respuestas solo del capital físico, no es posible su desagregación en relación al tipo de desastres. En términos de resultados lo anterior, no nos permite dilucidar respecto de que tipo de capital se está llevando a cabo el proceso por ejemplo de recuperación, más bien se contextualiza al capital físico en general, y por tanto, la obtención de conclusiones más específicas en esta materia se complica.

Finalmente, un último elemento a señalar es que no existe una actualización posterior una vez ocurrido el desastre, así como tampoco respecto de los costos de inversión realizados, de modo que nos es posible contar con mayor información respecto a la capacidad de respuesta de los

economías en la práctica, esto sigue siendo una limitación del estudio de estos fenómenos en la literatura, que al menos en nuestro caso se enfrento asumiendo modelos estables respecto de la situación de largo plazo, de modo de representar trayectorias considerando esa situación como punto de referencia.

4. **Resultados y discusión de la literatura.** En términos de la revisión y análisis de la literatura, la investigación respecto de las hipótesis planteadas en relación al comportamiento del sistema resalta la importancia de las capacidades que tienen las economías para hacer frente a los desastres naturales, y las existencia de trayectorias múltiples para sus niveles de ingreso per cápita. De esta forma las capacidades de acumulación de activos tangibles e intangibles se transforma en el factor diferenciador del patrón de respuesta del sistema. En el caso de las economías de altos ingresos, los shocks de desastres tienden a mostrar trayectorias positivas tanto de la tasa de crecimiento del producto como del capital, compatibles con las hipótesis de destrucción creativa y de mejor reconstrucción. Para el caso de los países de bajos ingresos, las respuesta del sistema dice relación con las hipótesis de recuperación de la tendencia o simplemente de no recuperación del nivel de ingreso per cápita inicial. Siendo factible la posibilidad de caer en la trampa de la pobreza cuando se consideran las precarias condiciones de resiliencia que poseen estos países. En este sentido, el marco teórico de crecimiento que se proponen a partir de la teoría clásica del crecimiento pierde fuerza, resaltando más bien la importancia de la literatura en torno al crecimiento endógeno, y la discusión de las capacidades de acumulación de los distintos tipos activos tanto tangibles como intangibles, en especial para el caso de los países de niveles de ingreso bajo.
5. **Recomendaciones de políticas de desastres naturales en países de ingresos medios y bajos.** Los resultados y análisis realizados dejan en evidencia la precaria situación que enfrentan las economías de ingresos medios y en particular de ingresos bajos a la hora de hacer frente a los procesos de recuperación frente a los desastres, y sus efectos sobre el crecimiento en el largo plazo. En particular, la hipótesis de no recuperación, caracterizada por una función de impulso respuesta con tasas de crecimiento negativa una vez ocurrido el evento, expone la debilidad de dichos sistemas y su cadena de efectos negativos asociados, tal como menor crecimiento, menor nivel de ingreso per cápita y mayor desigualdad.

Por tanto, cualquier recomendación de política se asienta en primer lugar en reconocer los efectos negativos sobre el bienestar que presenta la ocurrencia de desastres y la necesidad de contar con los mecanismos de apoyo que se requiere para la población afectada. Una vez considerado esto, el desarrollo de respuestas mas suaves del sistema pasa por fortalecer los sectores asociados al reemplazo del capital y reinversiones con mayor tecnología, y por esta vía mejorar productividad. Aquí políticas de ciencia y tecnología puede constituir un aporte en esta materia, así como también, el desarrollo de infraestructura sostenible. De esta forma, se espera propiciar la acumulación de factores tangibles e intangibles que contribuyan a mejorar las condiciones de crecimiento económico de largo plazo.

La situación de Chile en este materia no necesariamente es alentadora, aun cuando se encuentre dentro de los países de ingresos medios y con un tipo de respuesta del sistema más acorde con la hipótesis de recuperación de la tendencia frente a los desastres. Se debe considerar que la economía se encuentra en una situación compleja respecto al fortalecimiento de procesos de acumulación de activos tangibles e intangibles dado su marcado sesgo hacia la acumulación de capital físico como activo principal para sustentar crecimiento de largo plazo. Y donde la pandemia Covid ha agudizado aún más dichas capacidades.

En este sentido, el diseño de política para enfrentar desastres está orientados a gestionar los riesgos de desastres y reducir el nivel de vulnerabilidad, pero aún no se considerar parte de esta política potenciar procesos de acumulación que permitan contribuir a generar una mayor



capacidad de resiliencia. Aún más, dada la situación actual en torno al cambio climático y el incremento en número e intensidad de los DN, la situación del país podría empeorar, al igual que la situación de las economías de bajos ingresos en América Latina.

Los resultados para Chile muestran que la trayectoria de respuesta media para la tasa de crecimiento del producto per cápita y del capital per cápita es positiva para los desastres geológicos y climatológicos, y negativa para desastres hidrológicos y meteorológicos. En este contexto, para el primer caso este tipo de desastres genera una pérdida de activos físicos en mayor medida que activos intangibles, el mecanismo de respuesta del sistema requiere impulsar la inversión no sólo en términos de recuperación del capital perdido, sino que también, creando una posibilidad para que el capital que reemplaza al existente contenga nuevas tecnologías permitiendo un incremento por esa vía en la productividad de este, y en otros factores relacionados. Para el segundo, una forma de aminorar los efectos es incentivar por parte de la autoridad competente desarrollo de infraestructura sostenible y resiliente, la cuál permita la adaptabilidad al cambio climático.

Por tanto, políticas de ciencia y tecnología que apoyen el desarrollo de sectores relacionados con desastres naturales en estos ámbitos pueden contribuir al desarrollo de innovaciones que hagan que el nuevo capital incorpore más tecnología y por esa vía genera un incremento en productividad. Aquí el desarrollo de políticas selectivas, con incentivos claros y sujeta a resultados puede ayudar al surgimiento de nuevas empresas, y a una articulación proactiva entre actores y sectores relevantes a través de redes de cooperación de largo plazo. Dentro de este ámbito también el rol que juegan los organismos internacionales para apoyar procesos de inversión en infraestructura resiliente también reviste de importancia por la vía de aportar líneas de financiamiento en esta materia.

6. **Áreas futuras de investigación.** En este aspecto, se aprecia diferentes líneas factibles de profundizar. Dada la situación agravante de cambio climático, y número e intensidad de desastres, la utilización de prior más ad-doc es un punto relevante para la utilización del enfoque bayesiano en esta materia. Por otra parte, se hace necesario profundizar en la respuesta dinámica y los factores de resiliencia. Y en el ámbito de la política pública, la inversión en predictibilidad por parte de los gobiernos en esta materia se vuelve relevante, sobre todo el poder estimar el retorno social óptimo por peso invertido, en la medida que permita reducir los costos indirectos asociados a los desastres. En este sentido, formar una masa crítica de capital humano especializada en estos ámbitos puede contribuir al surgimiento de economías de aglomeración que permitan el desarrollo de la ciencia, tecnología e innovación en este ámbito tan especializado.

### 3.6. Anexo 2

#### 3.6.1. Modelos neoclásico de crecimiento óptimo.

Problema del Consumidor: Maximizar el Funciona, para un horizonte de tiempo infinito.

$$V = \int_0^{\infty} e^{-\rho t} U(C_t, L_t) dt$$

$$L_t = L_0 e^{nt}$$

$$\dot{b}_t = w_t + rb_t - c_t - nb_t$$

$$\ln L_t = \ln(L_0) + nt$$

$$\frac{1}{L_t} dL_t/dt = \ln(L_0) + nt = n$$

$$U_{c_t} = \frac{C_t^{1-\theta} - 1}{1-\theta}$$

$$\int_0^{\infty} e^{-\rho t} \frac{C_t^{1-\theta} - 1}{1-\theta} e^{nt}$$

$$\int_0^{\infty} e^{-(\rho-n)t} \frac{C_t^{1-\theta} - 1}{1-\theta}$$

Restricción per cápita;

$$\dot{B}_t = W_t L_t + r B_t - C_t$$

$$\frac{\dot{B}_t}{L_t} = \frac{W_t L_t}{L_t} + r \frac{B_t}{L_t} - \frac{C_t}{L_t}$$

$$b_t = \frac{B_t}{L_t}$$

$$\ln b_t = \ln B_t - \ln L_t$$

$$\ln b_t = \ln B_t - \ln L_t$$

$$\frac{1}{b_t} \dot{b}_t = \frac{1}{B_t} \dot{B}_t - n$$

$$\frac{1}{b_t} \dot{b}_t = \frac{1}{B_t} \dot{B}_t - n$$

$$\dot{b}_t = \frac{\dot{B}_t}{B_t} \frac{B_t}{L_t} - nb_t$$

$$\frac{\dot{B}_t}{L_t} = b_t + nb_t$$

$$\dot{b}_t = w_t + rb_t - c_t - nb_t$$

Alternativamente, se puede obtener la restricción per cápita, analizando lo que representa la tenencia de activos;

$$B_t = e^{rt} \left[ \int_0^T B_\tau e^{-r\tau} d\tau + B_0 \right]$$

Dividimos por  $L_t$  y derivamos con respecto al tiempo;

$$\frac{B_t}{L_t} = e^{rt} e^{-nt} \left[ \int_0^T b_\tau e^{-r\tau} e^{n\tau} d\tau + b_0 \right]$$

$$b_t = e^{rt} e^{-nt} \left[ \int_0^T b_\tau e^{-r\tau} e^{n\tau} d\tau + b_0 \right]$$

$$\dot{b}_t = (r_t - n_t) e^{rt} e^{-nt} \left[ \int_0^T b_\tau e^{-r\tau} e^{n\tau} d\tau + b_0 \right] + e^{rt} e^{-nt} \dot{b}_t e^{-r_t} e^{n_t}$$

$$\dot{b}_t = (r_t - n_t)b_t + b_t$$

$$\dot{b}_t = (r_t - n_t)\dot{b}_t + w_t - c_t$$

Planteamiento del Problema del consumidor y la ecuación de movimiento del consumo.

$$H_t = e^{-(\rho-n)t} \frac{c_t^{1-\theta} - 1}{1-\theta} + \lambda_t [w_t + rb_t - c_t - nb_t]$$

Condiciones del Máximo;

$$\frac{\partial H_t}{\partial c_t} = 0$$

$$\frac{\partial H_t}{\partial b_t} = -\dot{\lambda}_t$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} b_t \lambda_t = 0$$

Desarrollando las condiciones;

$$\frac{\partial H_t}{\partial c_t} = e^{-(\rho-n)t} c_t^{-\theta} - \lambda_t = 0$$

$$e^{-(\rho-n)t} + c_t^{-\theta} = \lambda_t$$

$$-(\rho - n)t - \theta \ln c_t = \ln \lambda_t$$

$$-(\rho - n) - \theta \frac{\dot{c}_t}{c_t} = \frac{\dot{\lambda}_t}{\lambda_t}$$

$$\frac{\dot{c}_t}{c_t} = \frac{1}{\theta} \left[ -\frac{\dot{\lambda}_t}{\lambda_t} + (\rho - n) \right]$$

Y dado que:

$$\frac{\partial H_t}{\partial b_t} = \lambda_t (r_t - n) = -\dot{\lambda}_t$$

$$\frac{\dot{c}_t}{c_t} = \frac{1}{\theta} [r_t - (\rho - n) + n]$$

$$\frac{\dot{c}_t}{c_t} = \frac{1}{\theta} [r_t - (\rho - n) + n]$$

Construcción de la Ecuación de movimiento del capital per cápita;

$$\Pi_t = P_t Y_t - W_t L_t - R_t K_t$$

$$Y_t = AK_t^\alpha L_t^{1-\alpha}$$

$$\Pi_t = P_t AK_t^\alpha L_t^{1-\alpha} - W_t L_t - R_t K_t$$

$$\frac{\Pi_t}{L_t} = \frac{AK_t^\alpha L_t^{1-\alpha}}{L_t} - \frac{W_t}{L_t} - \frac{R_t K_t}{L_t}$$

$$\pi_t = \frac{AK_t^\alpha L_t^{1-\alpha} L_t^\alpha}{L_t L_t^\alpha} - \frac{W_t}{L_t} - \frac{R_t K_t}{L_t}$$

$$\pi_t = Ak_t^\alpha - w_t - k_t$$

Maximizando;

$$\frac{\partial \pi}{\partial k_t} = \alpha Ak_t^{\alpha-1} - (r_t + \delta) = 0$$

$$w_t = AK_t^\alpha - (r_t + \delta)k_t$$

$$w_t = AK_t^\alpha - \alpha Ak_t^{\alpha-1} k_t$$

$$w_t = (1 - \alpha)AK_t^\alpha$$

Establecemos las condiciones de equilibrio en el mercado de factores:

$$w_t = (1 - \alpha)Ak_t^\alpha$$

$$r_t = \alpha A k_t^{\alpha-1} - \delta$$

Dado que hay un solo activo, la tenencia de activos nos lleva a que  $B_t = K_t$ .

$$\frac{\dot{c}_t}{c_t} = \alpha A k_t^{\alpha-1} - \delta - (\rho - n) + n \quad (3.7)$$

$$\frac{\dot{c}_t}{c_t} = \alpha A k_t^{\alpha-1} - \delta - \rho$$

$$\dot{k}_t = A K_t^\alpha - c_t - (n + \rho)k_t$$

$$\frac{\dot{k}_t}{k_t} = \frac{A K_t^\alpha - c_t}{k_t} - (n + \rho)$$

### 3.6.2. Regresión de crecimiento como modelos de panel dinámicos.

$$Y(t) = K(t)^\alpha (A(t)L(t))^{1-\alpha} \quad 0 < \alpha < 1, \quad (3.8)$$

$$L(t) = L(0)e^{nt}$$

$$A(t) = A(0)e^{gt}$$

Asumiendo una fracción  $s$  del producto que se ahorra e invierte y definiendo las variables por unidad de eficiencia como  $\hat{z} = Z/AL$ , la ecuación dinámica para  $\hat{k}$ :

$$\begin{aligned} \hat{k}(t) &= s\hat{y}(t) - (n + g + \delta)\hat{k}(t) \\ &= s\hat{k}(t)^\alpha - (n + g + \delta)\hat{k}(t) \end{aligned} \quad (3.9)$$

$$\hat{k}^* = \left( \frac{s}{n + g + \delta} \right)^{1/(1-\alpha)}$$

A través de sustituciones, llegamos a la siguiente expresión de estado estacionario del ingreso per cápita:

$$\ln \left[ \frac{Y(t)}{L(t)} \right] = \ln A(0) + gt + \frac{\alpha}{1-\alpha} \ln(s) - \frac{\alpha}{1-\alpha} \ln(n + g + \delta) \quad (3.10)$$

$$\ln A(0) = a + \epsilon$$

Donde  $a$  es una constante y  $\epsilon$  es un término de error específico para cada país. Sustituyendo esto en la ecuación anterior e introduciendo  $gt$  en  $a$  tendremos que:

$$\ln \left[ \frac{Y(t)}{L(t)} \right] = a + \frac{\alpha}{1-\alpha} \ln(s) - \frac{\alpha}{1-\alpha} \ln(n + g + \delta) + \epsilon \quad (3.11)$$

Aquí  $\epsilon$  es independiente de las variables explicativas  $s$  y  $n$ . Esto es un supuesto de identificación que permite la estimación de 3.11 por Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO), donde su uso solo será válido bajo este supuesto<sup>8</sup>. Se cree que un trabajo con datos de panel provee un mejor marco y más natural para controlar por el término de error  $\epsilon$ . Esto se ve más claramente usando la ecuación que describe el comportamiento fuera del estado estacionario.

Sea  $\hat{y}^*$  el producto por trabajo efectivo de estado estacionario, y sea  $\hat{y}(t)$  su valor actual en cualquier momento  $t$ . Aproximando al estado estacionario, el ritmo de convergencia vendrá dado por:

$$\frac{d \ln \hat{y}(t)}{dt} = \lambda [\ln(\hat{y}^*) - \ln \hat{y}(t)] \quad (3.12)$$

<sup>8</sup>Dado todos los términos que encierra  $A(0)$ , es poco probable pensar que el ahorro y la fertilidad del país no depende de algún factor en su interior. Una posibilidad es reconocer esto y optar por el uso de variables instrumentales (VI) al estimar. No obstante, debido a la naturaleza y enfoque de  $A(0)$ , es difícil encontrar instrumentos que se encuentren correlacionados con las variables explicativas y no con  $A(0)$ , por lo tanto, la opción de VI no parece factible.

Donde  $\lambda = (n + g + \delta)(1 - \alpha)$ . Esta ecuación implica que:

$$\ln \hat{y}(t_2) = (1 - e^{-\lambda\tau}) \ln \hat{y}^* + e^{-\lambda\tau} \ln \hat{y}(t_1) \quad (3.13)$$

Donde  $\hat{y}(t_1)$  es el producto por unidad de trabajo efectivo en cierto punto inicial y  $\tau = (t_2 - t_1)$ . Restando  $\ln \hat{y}(t_1)$  en ambos lados llegamos a:

$$\ln \hat{y}(t_2) - \ln \hat{y}(t_1) = (1 - e^{-\lambda\tau}) \ln \hat{y}^* - (1 - e^{-\lambda\tau}) \ln \hat{y}(t_1) \quad (3.14)$$

Esta ecuación representa un proceso de ajuste parcial. Lo anterior también puede expresarse de la siguiente manera:

$$\ln \hat{y}(t_2) - \ln \hat{y}(t_1) = (1 - e^{-\lambda\tau})(\ln \hat{y}^* - \hat{y}(t_1)) \quad (3.15)$$

En el modelo de ajustes parciales, el valor “óptimo” de la variable dependiente es determinado por los valores de la variable en el periodo actual. En este caso,  $\hat{y}^*$  está determinado por  $s$  y  $n$ , los que asumimos constante durante todo el periodo entre  $t_1$  y  $t_2$  y, por lo tanto, representa el valor del año actual. Sustituyendo por  $\hat{y}^*$  llegamos a:

$$\ln \hat{y}(t_2) - \ln \hat{y}(t_1) = (1 - e^{-\lambda\tau}) \frac{\alpha}{1 - \alpha} \ln(s) - (1 - e^{-\lambda\tau}) \frac{\alpha}{1 - \alpha} \ln(n + g + \delta) - (1 - e^{-\lambda\tau}) \ln \hat{y}(t_1) \quad (3.16)$$

M-R-W usaron esta ecuación para estudiar el proceso de convergencia entre distintos países. El problema de correlación entre el término no observable  $A(0)$  y las variables incluidas en el modelo no es aparente en la ecuación 3.16, ya que se encuentra formulada en términos de ingreso por unidad efectiva de trabajo. Sin embargo, en la implementación M-R-W trabajaron con ingreso per cápita. Por lo tanto, se debe reformular la ecuación en términos de ingreso per cápita. Note que el ingreso por unidad efectiva de trabajo es:

$$\hat{y}(t) = \frac{Y(t)}{A(t)L(t)} = \frac{Y(t)}{L(t)A(t)e^{gt}}$$

Por lo tanto

$$\begin{aligned} \ln \hat{y}(t) &= \ln \left( \frac{Y(t)}{L(t)} \right) - \ln A(0) - gt \\ &= \ln y(t) - \ln A(0) - gt \end{aligned}$$

Sustituyendo por  $\hat{y}(t)$  en la ecuación 3.16, conseguimos la ecuación típica de crecimiento:

$$\begin{aligned} \ln y(t_2) - \ln y(t_1) &= (1 - e^{-\lambda\tau}) \frac{\alpha}{1 - \alpha} \ln(s) - (1 - e^{-\lambda\tau}) \frac{\alpha}{1 - \alpha} \ln(n + g + \delta) \\ &\quad - (1 - e^{-\lambda\tau}) \ln y(t_1) + (1 - e^{-\lambda\tau}) \ln A(0) + g(t_2 - e^{-\lambda\tau} t_1) \end{aligned} \quad (3.17)$$

Ahora, es posible observar que la expresión de arriba representa un modelo dinámico de datos de panel con  $(1 - e^{-\lambda\tau}) \ln A(0)$  siendo el término individual de cada país invariante en el tiempo. Por lo tanto, deberíamos utilizar la siguiente notación convencional en la literatura de datos de panel:

$$y_{it} = \gamma y_{i,t-1} + \sum_{j=1}^2 \beta_j x_{ij} + \eta_t + \mu_i + v_{it} \quad (3.18)$$

Donde

$$\begin{aligned}
 y_{it} &= \ln y(t_2) \\
 y_{i,t-1} &= \ln y(t_1) \\
 \gamma &= e^{-\lambda\tau} \\
 \beta_1 &= (1 - e^{-\lambda\tau}) \frac{\alpha}{1 - \alpha} \\
 \beta_2 &= -(1 - e^{-\lambda\tau}) \frac{\alpha}{1 - \alpha} \\
 x_{it}^1 &= \ln(s) \\
 x_{it}^2 &= \ln(n + g + \delta) \\
 \mu_i &= (1 - e^{-\lambda\tau}) \ln A(0) \\
 \eta_t &= g(t_2 - e^{-\lambda\tau} t_1)
 \end{aligned}$$

y  $v_{it}$  es el término de error transitorio que varía entre países y períodos de tiempo y tiene media igual a cero. La estimación de datos de panel de esta ecuación provee el marco necesario para controlar por el efecto individual de cada país.

Debemos notar que la ecuación 3.17 se basó en una aproximación alrededor del estado estacionario y supone capturar las dinámicas sobre el mismo. Por lo tanto, esta también es válida para periodos cortos de tiempo. Asimismo, acá se asume que  $n$  y  $s$  son constantes en el periodo de tiempo estudiado, lo cual es más realista bajo cortos periodos de tiempo. Así, el marco de datos de panel nos permite integrar el proceso de convergencia sobre periodos de tiempo consecutivos.

### 3.6.3. Análisis gráfico comparativo según nivel de ingresos

Con el fin de explorar las trayectorias divergentes entre los países de ingresos altos y medios respecto a los países de bajos ingresos, en esta parte se realiza un análisis gráfico que compara la trayectoria de un conjunto de variables utilizadas en el análisis de regresión para estos grupos de países.

Estos gráficos se presentan en las figuras 3.4 y 3.5. El primer conjunto muestra las marcadas brechas que existen en términos de PIB per cápita y nivel de capital humano entre los dos grupos de países, en donde, a pesar de que el grupo de bajos ingresos ha tenido mayores niveles de crecimiento en el último período, esto no se ha traducido en un cierre de brechas distinguible, aún más, esta sigue aumentando en términos de PIB per cápita.

Por su parte, la figura 3.5 compara distintas variables relevantes para el crecimiento de largo plazo. En cada una de ellas, se presenta una considerable brecha entre ambos grupos, que no dislumbran convergencia en el mediano o largo plazo. La única excepción a esta aseveración corresponde al índice de democracia, donde los países de bajos ingresos parten desde un contexto muy negativo y actualmente se encuentran a niveles cercanos a los países de ingresos altos y medios, vale decir, en el último año de la muestra (2019) esta brecha volvió a agudizarse lo que muestra una situación preocupante respecto a los avances logrados hasta ese momento.

Figura 3.4: Comparación de promedios según nivel de ingresos.

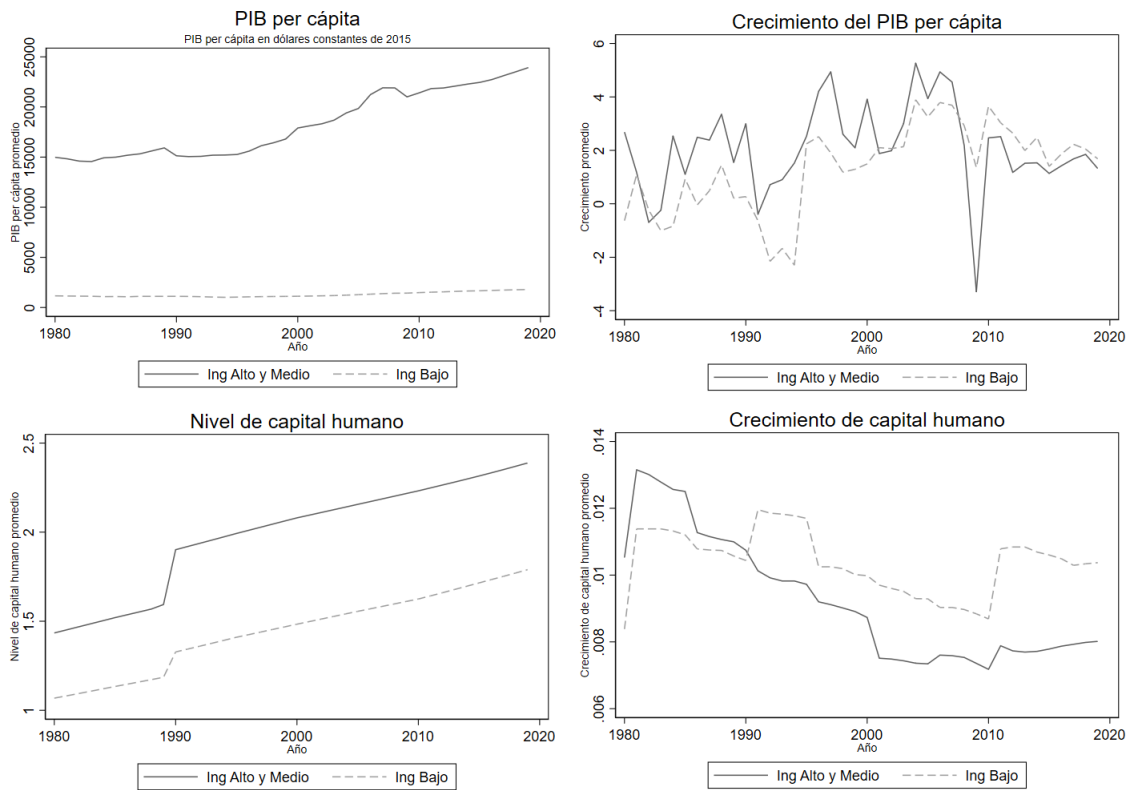
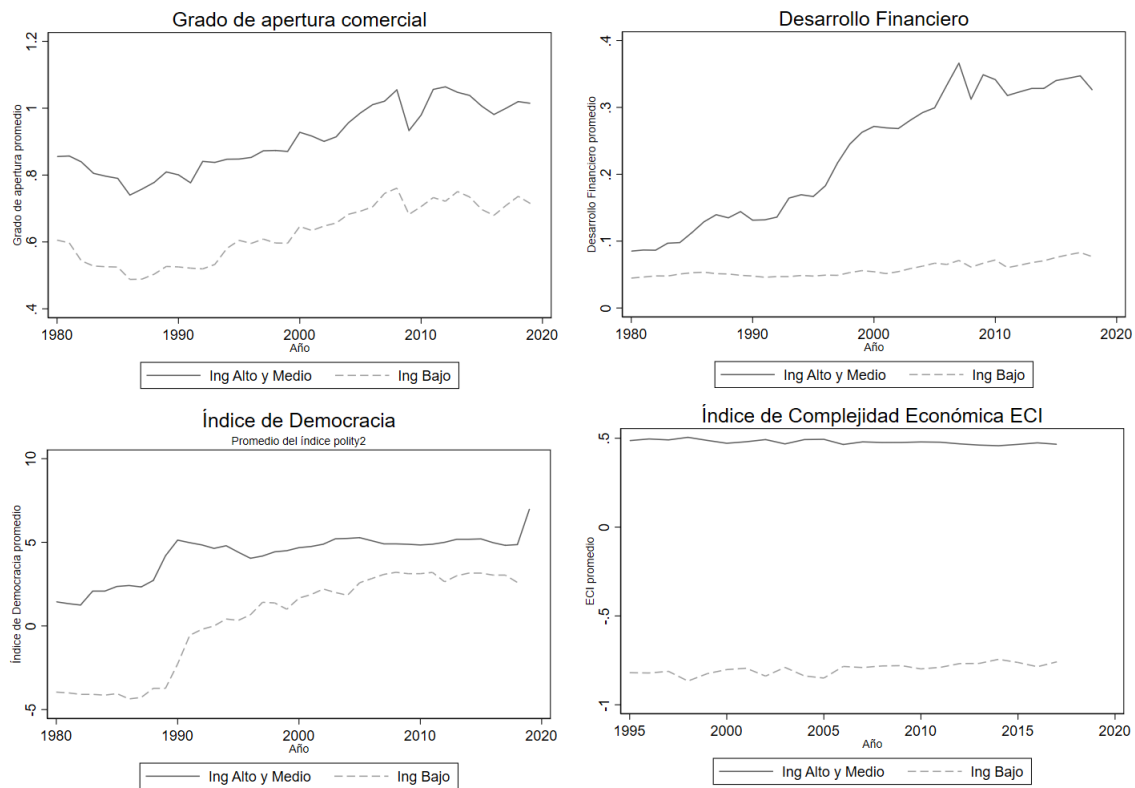


Figura 3.5: Comparación de promedios según nivel de ingresos.



### 3.6.4. Análisis de medias por nivel de ingresos

Para complementar el análisis gráfico mostrado anteriormente, en esta parte se presenta un análisis de medias por décadas para ambos grupos de países. Donde en las tablas 3.6 y 3.7 se muestra la evolución de las variables para el grupo de ingresos altos y medios y de ingresos bajos respectivamente, junto a la significancia del cambio respecto a la década anterior; mientras que la tabla 3.8 muestra la diferencia de medias entre ambos grupos y su significancia.

Tabla 3.6: Promedio de variables por década, países de ingresos altos y medios.

	1980's	1990's	2000's	2010's
Crecimiento	1.630	2.278*	2.829*	1.662***
Geofísico	0.081	0.103*	0.096	0.089
Hidrológico	0.188	0.250***	0.367***	0.339
Climatológico	0.072	0.100**	0.115	0.097
Meteorológico	0.155	0.229***	0.329***	0.290**
Crec K	0.043	0.033***	0.036**	0.031***
Crec pob	0.017	0.012***	0.012	0.010***
Crec cons	0.034	0.026*	0.040***	0.025***
Crec gob	0.036	0.023**	0.040***	0.021***
Depreciación	0.034	0.040***	0.041**	0.043***
Apertura Com.	0.803	0.844	0.962***	1.021**
Desarrollo Fin	0.111	0.181***	0.304***	0.333**
Crec KH	0.012	0.010***	0.008***	0.008
Prop urbana	61.546	65.054***	67.644***	70.264***
Democracia	2.222	4.589***	4.982	5.000
Agotamiento RN	4.065	3.149**	4.124***	3.179***
Deforestación	0.782	0.525	0.188***	0.135*
ECI	.	0.493	0.480	0.469
Gini	41.196	41.527	37.783***	35.571***
Países	114	114	114	114

Cambio respecto a década anterior: \*\*\*  $p < 0.01$ , \*\*  $p < 0.05$ , \*  $p < 0.10$

Tabla 3.7: Promedio de variables por década, países de ingresos bajos.

	1980's	1990's	2000's	2010's
Crecimiento	0.174	0.275	2.675***	2.300*
Geofísico	0.063	0.083	0.100	0.087
Hidrológico	0.195	0.344***	0.564***	0.541
Climatológico	0.119	0.127	0.155	0.125*
Meteorológico	0.117	0.164**	0.248***	0.222
Crec K	0.036	0.030***	0.040***	0.049***
Crec pob	0.027	0.023***	0.021***	0.020
Crec cons	0.026	0.021	0.051***	0.044**
Crec gob	0.029	0.013	0.054***	0.050
Depreciación	0.041	0.042	0.044***	0.047***
Apertura Com.	0.532	0.570**	0.685***	0.718
Desarrollo Fin	0.050	0.049	0.061**	0.072
Crec KH	0.011	0.011	0.009***	0.010**
Prop urbana	29.887	34.417***	38.216***	42.383***
Democracia	-4.041	0.232***	2.442***	2.996
Agotamiento RN	5.269	6.558***	6.941	5.526***
Deforestación	3.480	4.624***	3.811**	2.924***
ECI	.	-0.829	-0.805	-0.772
Gini	39.576	44.266**	41.869**	38.774***
Países	64	64	64	64

Cambio respecto a década anterior: \*\*\*  $p < 0.01$ , \*\*  $p < 0.05$ , \*  $p < 0.10$

El cuadro 3.8 muestra un análisis análogo al análisis gráfico realizado anteriormente y complementa lo observado hasta el momento. Las trayectorias de crecimiento muestran que estas fueron significativamente mayores para los países de la cota superior en las décadas del 80 y 90, mientras que lo contrario ocurre en la década del 2010, sin embargo, ya se vió anteriormente que dicha diferencia no se ha traducido en un cierre de brechas distinguible en el producto per cápita. El crecimiento de capital humano sigue un comportamiento similar y tampoco muestra un cierre de brechas observable en los datos. Por otra parte, si bien la brecha en el índice de democracia ha caído considerablemente a través del tiempo, es posible observar que esta sigue siendo significativa entre ambos grupos de países.



Tabla 3.8: Diferencias de medias por décadas, ingresos altos-medios vs ingresos bajos.

Variable	Dif80	Dif90	Dif00	Dif10
Crecimiento	1,456***	2,003***	0,154	-0,638***
Geofísico	0,018	0,02	-0,004	0,002
Hidrológico	-0,007	-0,094***	-0,197***	-0,202***
Climatológico	-0,047***	-0,027*	-0,04**	-0,028*
Meteorológico	0,038**	0,065***	0,081***	0,068***
Crec K	0,007***	0,003*	-0,004**	-0,018***
Crec pob	-0,01***	-0,011***	-0,009***	-0,01***
Crec cons	0,008**	0,005	-0,011***	-0,019***
Crec gob	0,007	0,01	-0,014***	-0,029***
Depreciación	-0,007***	-0,002***	-0,003***	-0,004***
apertura	0,271***	0,274***	0,277***	0,303***
Desarrollo Fin	0,061***	0,132***	0,243***	0,261***
Crec KH	0,001**	-0,001***	-0,001***	-0,002***
Prop urbana	31,659***	30,637***	29,428***	27,881***
Democracia	6,263***	4,357***	2,54***	2,004***
Agotamiento RN	-1,204***	-3,409***	-2,817***	-2,347***
Deforestación	-2,698***	-4,099***	-3,623***	-2,789***
ECI	.	1,322***	1,285***	1,241***
Gini	1,62	-2,739**	-4,086***	-3,203***

Diferencia: \*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.10

Nota: Las diferencias se muestran como (ingreso alto-medio – ingreso bajo).

### 3.6.5. Análisis de correlaciones por nivel de ingresos

Adicionalmente, se realizó un análisis de correlaciones entre un conjunto de variables utilizadas en las regresiones para los tres grupos de países utilizados (altos, medios y bajos ingresos). Dicho análisis tiene como objetivo explorar las relaciones entre las variables más allá de las que entrega el análisis de regresión. Asimismo, permite incluir la relación con variables no incluidas en las regresiones como el índice gini.

La tabla 3.9 muestran las correlaciones para los países de altos ingresos. En ella, es posible observar que los desastres geofísicos son los únicos que muestran una correlación negativa con el crecimiento y sólo los desastres meteorológicos correlacionan significativamente con el crecimiento. Al mismo tiempo, el resto de variables poseen los mismos signos que en el análisis de regresión, a excepción del caso de desarrollo financiero, capital humano y deforestación. Por su parte, el índice de Gini correlaciona positiva y significativamente con el crecimiento para el caso de estos países, mientras que correlaciona negativa y significativamente con la variable de democracia.

Tabla 3.9: Tabla de correlaciones, países de ingresos altos.

Variables	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
(1) Crecimiento	1.000												
(2) Geofísico	-0.018	1.000											
(3) Hidrológico	0.027	0.208***	1.000										
(4) Climatológico	0.001	0.151***	0.190***	1.000									
(5) Meteorológico	0.049**	0.135***	0.295***	0.264***	1.000								
(6) Crec gob	0.185***	-0.011	-0.053***	-0.020	-0.026	1.000							
(7) ln(apertura)	0.116***	-0.316***	-0.375***	-0.275***	-0.287***	0.106***	1.000						
(8) Desarrollo Fin	-0.056**	0.069***	0.194***	0.174***	0.286***	-0.025	0.020	1.000					
(9) Crec KH	-0.026	-0.072***	-0.119***	-0.082***	-0.205***	0.082***	0.202***	-0.231***	1.000				
(10) Democracia	0.204***	0.154***	0.139***	0.183***	0.307***	-0.041	-0.062*	0.125***	-0.487***	1.000			
(11) Agotamiento RN	-0.132***	-0.055**	-0.112***	-0.106***	-0.203***	0.126***	0.052**	-0.088***	0.171***	-0.707***	1.000		
(12) Deforestación	0.002	-0.061***	-0.047**	0.021	-0.058**	0.006	-0.071***	-0.248***	0.085***	0.073**	-0.048**	1.000	
(13) ln(gini)	0.075**	0.162***	0.318***	0.241***	0.031	0.117***	-0.297***	-0.110***	0.178***	-0.323***	0.134***	-0.183***	1.000

\*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.10

Por otra parte, la tabla 3.10 presenta las correlaciones para los países de ingresos medios. Algo a destacar es que la correlación del crecimiento con los desastres es siempre positiva, a diferencia del análisis de regresión donde los desastres climatológicos muestran un efecto negativo.

Otra variable interesante a abordar es el índice de Gini, el cual muestra una correlación negativa y significativa con el crecimiento para el caso de estos países. Esta también muestra una correlación positiva con el crecimiento de capital humano, lo que puede entregar señales de la importancia de la educación para la superación de la desigualdad para los países de ingresos medios. En la misma línea, se evidencia una correlación de signo positivo el crecimiento del gasto público y el crecimiento, lo que puede dar luces sobre la importancia del gasto público para conseguir la superación en estos países.

Tabla 3.10: Tabla de correlaciones, países de ingresos medios.

Variables	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
(1) Crecimiento	1.000												
(2) Geofísico	0.000	1.000											
(3) Hidrológico	0.027	0.305***	1.000										
(4) Climatológico	0.006	0.185***	0.237***	1.000									
(5) Meteorológico	0.019	0.163***	0.273***	0.210***	1.000								
(6) Crec gob	0.345***	0.031	0.045*	0.009	0.011	1.000							
(7) ln(apertura)	0.017	-0.253***	-0.246***	-0.124***	-0.096***	0.007	1.000						
(8) Desarrollo Fin	0.019	0.151***	0.295***	0.228***	0.214***	0.033	0.062**	1.000					
(9) Crec KH	-0.014	-0.021	-0.067**	0.009	-0.077***	0.038	-0.098***	0.057**	1.000				
(10) Democracia	-0.106***	0.021	0.269***	0.040	0.104***	-0.052	-0.085**	-0.072**	-0.471***	1.000			
(11) Agotamiento RN	0.139***	-0.013	-0.082***	-0.072***	-0.152***	0.052**	0.084***	-0.016	0.174***	-0.356***	1.000		
(12) Deforestación	0.112***	-0.087***	-0.105***	-0.061**	-0.106***	0.031	0.184***	0.048*	0.152***	-0.156***	0.500***	1.000	
(13) ln(gini)	-0.278***	0.056	0.222***	0.163***	0.142***	-0.012	-0.464***	0.052	0.222***	0.545***	-0.056	0.112***	1.000

\*\*\* p&lt;0.01, \*\* p&lt;0.05, \* p&lt;0.10

Por último, la tabla 3.11 muestra el análisis de correlaciones para el caso de los países de bajos ingresos. En cuanto a los desastres, es posible observar que aquellos hidrológicos y meteorológicos poseen una relación positiva y significativa con el crecimiento, resultado que se encuentra muy lejos de aquel obtenido bajo el modelo de regresión. Adicionalmente, el índice gini presenta una correlación negativa y significativa con el crecimiento, lo que da señales sobre la importancia de abordar el fenómeno de la desigualdad para el crecimiento en los países pobres, en la misma línea, se observa una correlación positiva y significativa entre esta variable y democracia, por lo que promover la democracia puede ser un mecanismo de superación en estos países.

Tabla 3.11: Tabla de correlaciones, países de ingresos bajos.

Variables	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
(1) Crecimiento	1.000												
(2) Geofísico	0.012	1.000											
(3) Hidrológico	0.100***	0.191***	1.000										
(4) Climatológico	-0.013	0.013	0.052***	1.000									
(5) Meteorológico	0.070***	0.192***	0.247***	0.035*	1.000								
(6) Crec gob	0.248***	0.006	0.064***	0.014	0.022	1.000							
(7) ln(apertura)	0.140***	-0.125***	-0.116***	-0.015	-0.079***	-0.000	1.000						
(8) Desarrollo Fin	0.067***	0.224***	0.141***	0.011	0.294***	0.011	0.039*	1.000					
(9) Crec KH	0.016	0.046**	0.004	-0.043**	0.005	0.004	-0.098***	0.106***	1.000				
(10) Democracia	0.054	0.041	0.264***	0.128***	0.198***	0.023	0.222***	0.050	-0.224***	1.000			
(11) Agotamiento RN	-0.035*	-0.097***	-0.071***	-0.019	-0.185***	0.016	0.2***	-0.061***	-0.021	-0.276***	1.000		
(12) Deforestación	-0.100***	-0.103***	-0.089***	0.021	-0.163***	-0.009	-0.088***	-0.139***	-0.077***	-0.121***	0.671***	1.000	
(13) ln(gini)	-0.121**	-0.078	-0.013	0.165***	-0.103**	-0.030	0.054	-0.181***	0.071	0.202***	0.023	0.056	1.000

\*\*\* p&lt;0.01, \*\* p&lt;0.05, \* p&lt;0.10

## Referencias

- Acemoglu, D. (2007). *Introduction to Modern Economic Growth*. Massachusetts Institute of Technology.
- Albala-Bertrand, J.-M. (1993). Natural disaster situations and growth: A macroeconomic model for sudden disaster impacts. *World Development*, 21(9), 1417–1434.
- Albuquerque, P. H., y Rajhi, W. (2019). Banking stability, natural disasters, and state fragility: Panel var evidence from developing countries. *Research in International Business and Finance*, 50, 430-443. Descargado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0275531917308061> doi: <https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2019.06.001>
- Anselin, L. (2010). Thirty year of spatial econometrics. *Papers in Regional Science*, 89, 3–25.
- Arellano, M., y Bond, S. (1991, abril). Some Tests of Specification for Panel Data: Monte Carlo Evidence and an Application to Employment Equations. *The Review of Economic Studies*, 58(2), 277. Descargado 2022-05-30, de <https://academic.oup.com/restud/article-lookup/doi/10.2307/2297968> doi: 10.2307/2297968
- Bakkensen, L., y Barragey, L. (2016). *Do disasters affect growth? a macro model-based perspective on the empirical debate* (Inf. Téc.). Working Paper, Brown University, Department of Economics.
- Barro, R., y Sala-i Martin, X. (2004). *Economic Growth* (2.<sup>a</sup> ed.). Massachusetts Institute of Technology.
- Barro, R. J. (2009). Rare disasters, asset prices, and welfare costs. *American Economic Review*, 99(1), 243–64.
- Bañbura, M., Giannone, D., y Reichlin, L. (2010, enero). Large Bayesian vector auto regressions. *Journal of Applied Econometrics*, 25(1), 71–92. Descargado 2022-05-30, de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jae.1137> doi: 10.1002/jae.1137
- Beetsma, R., y Giuliadori, M. (2011, febrero). The Effects of Government Purchases Shocks: Review and Estimates for the EU. *The Economic Journal*, 121(550), F4–F32. Descargado 2022-05-30, de <https://academic.oup.com/ej/article/121/550/F4/5079709> doi: 10.1111/j.1468-0297.2010.02413.x
- Berlemann, M., y Wenzel, D. (2016). Hurricanes, economic growth and transmission channels-empirical evidence for developed and underdeveloped countries.
- Beveridge, S., y Nelson, C. R. (1981, enero). A new approach to decomposition of economic time series into permanent and transitory components with particular attention to measurement of the ‘business cycle’. *Journal of Monetary Economics*, 7(2), 151–174. Descargado 2022-05-30, de <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0304393281900404> doi: 10.1016/0304-3932(81)90040-4
- Braun, A. (2016). Pricing in the primary market for cat bonds: new empirical evidence. *Journal of Risk and Insurance*, 83(4), 811–847.
- Burke, M., Hsiang, S. M., y Miguel, E. (2015, 21 de Oct). Global non-linear effect of temperature on economic production. *Nature*, 527, 235 EP -. Descargado de <https://doi.org/10.1038/nature15725>
- Caballero, R. J. (1994). en mohamad l. hammour.(1994)“the cleansing effect of recessions,”. *American Economic Review*, 84(5), 1350–1368.
- Cai, J., y Song, C. (2017). Do disaster experience and knowledge affect insurance take-up decisions? *Journal of Development Economics*, 124, 83–94.
- Calel, R., Stainforth, D. A., y Dietz, S. (2015). Tall tales and fat tails: the science and economics of extreme warming. *Climatic Change*, 132(1), 127–141.
- Canova, F. (2004, febrero). Testing for Convergence Clubs in Income Per Capita: A Predictive Density Approach\*. *International Economic Review*, 45(1), 49–77. Descargado 2022-05-30, de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1468-2354.2004.00117.x> doi: 10.1111/j.1468-2354.2004.00117.x
- Canova, F. (2005). The transmission of US shocks to Latin America. *Journal of Applied Econome-*

- trics*, 20(2), 229–251. Descargado 2022-05-30, de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jae.837> doi: 10.1002/jae.837
- Canova, F., y Ciccarelli, M. (2004a). Forecasting and turning point predictions in a bayesian panel var model. *Journal of Econometrics*, 120(2), 327–359.
- Canova, F., y Ciccarelli, M. (2004b, junio). Forecasting and turning point predictions in a Bayesian panel VAR model. *Journal of Econometrics*, 120(2), 327–359. Descargado 2022-05-30, de <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0304407603002161> doi: 10.1016/S0304-4076(03)00216-1
- Canova, F., y Ciccarelli, M. (2006). Estimating Multi-Country VAR Models. *International Economic Review*, 50, 929–961. Descargado 2022-05-30, de <https://www.ssrn.com/abstract=890987> doi: 10.2139/ssrn.890987
- Canova, F., y Ciccarelli, M. (2013). Panel vector autoregressive models: A survey the views expressed in this article are those of the authors and do not necessarily reflect those of the ecb or the eurosystem. En *Var models in macroeconomics—new developments and applications: Essays in honor of christopher a. sims* (pp. 205–246). Emerald Group Publishing Limited.
- Canova, F., y Evi, P. (2004). Does it Cost to be Virtuous? The Macroeconomic Effects of Fiscal Constraints, in Clarida, R., Frankel, J., Giavazzi, F. and K. West. *NBER International Seminar on Macroeconomics, National Bureau of Economic Research*.
- Canova, F., y Marrinan, J. (1998, octubre). Sources and propagation of international output cycles: Common shocks or transmission? *Journal of International Economics*, 46(1), 133–166. Descargado 2022-05-30, de <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S002219969700038X> doi: 10.1016/S0022-1996(97)00038-X
- Canova, F., y Pina, J. (1999). Monetary policy misspecification in var models [Economics Working Papers]. Descargado de <https://EconPapers.repec.org/RePEc:upf:upfgen:420>
- Cavallo, E., Galiani, S., Noy, L., y Pantano, J. (2013). Catastrophic natural disasters and economic growth. *Review of Economics and Statistics*, 95(5), 1549–1561.
- Chari, V., Kehoe, P. J., y McGrattan, E. R. (2008, noviembre). Are structural VARs with long-run restrictions useful in developing business cycle theory? *Journal of Monetary Economics*, 55(8), 1337–1352. Descargado 2022-05-30, de <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0304393208001505> doi: 10.1016/j.jmoneco.2008.09.010
- Cheng, H., Ma, L., Hu, Q.-S., Zheng, X.-F., Anderson, J., y Pu, L. (1996). The first sterically regular chiral conjugated crown ether polymer. *Tetrahedron: Asymmetry*, 7(11), 3083–3086.
- Chib, S., y Greenberg, E. (1995, agosto). Hierarchical analysis of SUR models with extensions to correlated serial errors and time-varying parameter models. *Journal of Econometrics*, 68(2), 339–360. Descargado 2022-05-30, de <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S030440769401653H> doi: 10.1016/0304-4076(94)01653-H
- Chudik, A., y Pesaran, M. H. (2011, julio). Infinite-dimensional VARs and factor models. *Journal of Econometrics*, 163(1), 4–22. Descargado 2022-05-30, de <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S030440761000206X> doi: 10.1016/j.jeconom.2010.11.002
- Ciccarelli, M., Maddaloni, A., y Peydro, J.-L. (2013). Heterogeneous Transmission Mechanism: Monetary Policy and Financial Fragility in the Euro Area. *SSRN Electronic Journal*. Descargado 2022-05-30, de <https://www.ssrn.com/abstract=2233313> doi: 10.2139/ssrn.2233313
- Ciccarelli, M., Ortega, E., y Valderrama, M. T. (2012). Heterogeneity and Cross-Country Spillovers in Macroeconomic-Financial Linkages. *SSRN Electronic Journal*. Descargado 2022-05-30, de <https://www.ssrn.com/abstract=2178385> (Paper prepared for the 56th Economic Policy Panel) doi: 10.2139/ssrn.2178385
- Coumou, D., y Robinson, A. (2013, septiembre). Historic and future increase in the global land area affected by monthly heat extremes. *Environmental Research Letters*, 8(3), 034018. Descargado 2022-05-30, de <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/8/3/034018> doi: 10.1088/1748-9326/8/3/034018
- Crone, T. M., y McLaughlin, M. P. (1999). A bayesian var forecasting model for the philadelphia

- metropolitan area. *Federal Reserve Bank of Philadelphia Working Paper*(99-7).
- Cuaresma, J. C. (2010). Natural disasters and human capital accumulation. *The World Bank Economic Review*, 24(2), 280–302.
- Cummins, J. D. (2008). Cat bonds and other risk-linked securities: state of the market and recent developments. *Risk Management and Insurance Review*, 11(1), 23–47.
- Cummins, J. D., y Weiss, M. A. (2009). Convergence of insurance and financial markets: Hybrid and securitized risk-transfer solutions. *Journal of Risk and Insurance*, 76(3), 493–545.
- Cunado, J., y Ferreira, S. (2014). The macroeconomic impacts of natural disasters: The case of floods. *Land economics*, 90(1), 149–168.
- Dees, S., di Mauro, F., Pesaran, M. H., y Smith, L. V. (2007). Exploring the International Linkages of the Euro Area: A Global VAR Analysis. *Journal of Applied Econometrics*, 22, 1–38. Descargado 2022-05-30, de <https://www.ssrn.com/abstract=646983> doi: <https://www.jstor.org/stable/25146503>
- De Graeve, F., y Karas, A. (2010). Identifying vars through heterogeneity: An application to bank runs [Working Paper Series]. (244). Descargado de <https://EconPapers.repec.org/RePEc:hhs:rbnkwp:0244>
- DeJong, D. N., Ingram, B. F., y Whiteman, C. H. (2000). A bayesian approach to dynamic macroeconomics. *Journal of Econometrics*, 98(2), 203–223.
- del Negro, M., y Schorfheide, F. (2010). Bayesian Macroeconometrics, in J. Geweke, G. Koop and H. Van Dijk (eds.). En *Bayesian Macroeconometrics*. The Oxford Handbook of Bayesian Econometrics. Descargado de [https://faculty.wcas.northwestern.edu/lchrist/course/Korea.2016/del\\_negro\\_schorfheide.pdf](https://faculty.wcas.northwestern.edu/lchrist/course/Korea.2016/del_negro_schorfheide.pdf)
- De Mol, C., Giannone, D., y Reichlin, L. (2008, octubre). Forecasting using a large number of predictors: Is Bayesian shrinkage a valid alternative to principal components? *Journal of Econometrics*, 146(2), 318–328. Descargado 2022-05-30, de <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0304407608001103> doi: 10.1016/j.jeconom.2008.08.011
- Dieppe, A., Legrand, R., y van Roye, B. (2015). The bayesian estimation, analysis and regression (bear) toolbox. *European Central Bank*.
- Doan, T., Litterman, R., y Sims, C. (1984a). Forecasting and conditional projection using realistic prior distributions. *Econometric reviews*, 3(1), 1–100.
- Doan, T., Litterman, R., y Sims, C. (1984b, enero). Forecasting and conditional projection using realistic prior distributions. *Econometric Reviews*, 3(1), 1–100. Descargado 2022-05-30, de <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07474938408800053> doi: 10.1080/07474938408800053
- Dose, V. (2003). Bayesian inference in physics: case studies. *Reports on Progress in Physics*, 66(9), 1421.
- Díaz, J., Sánchez, A., y Mendoza, M. (2009). Convergencia hacia la economía regional líder en México: Un análisis de cointegración de panel. *El Trimestre Económico*, 76(302), 407–431.
- Easterling, D. R., Horton, B., Jones, P. D., Peterson, T. C., Karl, T. R., Parker, D. E., ... others (1997). Maximum and minimum temperature trends for the globe. *Science*, 277(5324), 364–367.
- EM-DAT. (2008). *Em-dat: The international disaster database*. (Available at: <http://www.emdat.be/Database/Trends/trends.html>)
- Fankhauser, S., Tol, R. S., y Pearce, D. W. (1997). The aggregation of climate change damages: a welfare theoretic approach. *Environmental and Resource Economics*, 10(3), 249–266.
- Faust, J., y Leeper, E. M. (1997, julio). When Do Long-Run Identifying Restrictions Give Reliable Results? *Journal of Business & Economic Statistics*, 15(3), 345–353. Descargado 2022-05-30, de <https://www.jstor.org/stable/1392338?origin=crossref> doi: 10.2307/1392338
- Felbermayr, G., y Gröschl, J. (2014). Naturally negative: The growth effects of natural disasters. *Journal of development economics*, 111, 92–106.
- Fernández-Villaverde, J., Rubio-Ramírez, J. F., Sargent, T. J., y Watson, M. W. (2007, mayo).

- ABCs (and Ds) of Understanding VARs. *American Economic Review*, 97(3), 1021–1026. Descargado 2022-05-30, de <https://pubs.aeaweb.org/doi/10.1257/aer.97.3.1021> doi: 10.1257/aer.97.3.1021
- Fortunato, A., Herwartz, H., López, R. E., y Figueroa, E. (2021, mayo). *Carbon dioxide atmospheric concentration and hydrometeorological disasters* (preprint). In Review. Descargado 2022-05-30, de <https://www.researchsquare.com/article/rs-528668/v1> doi: 10.21203/rs.3.rs-528668/v1
- Gassebner, M., Gaston, N., y Lamla, M. J. (s.f.). The inverse domino effect: Are economic reforms contagious?\*. *International Economic Review*, 52(1), 183-200. Descargado de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1468-2354.2010.00624.x> doi: 10.1111/j.1468-2354.2010.00624.x
- Gourio, F. (2012). Disaster risk and business cycles. *American Economic Review*, 102(6), 2734–66.
- Gupta, R., y Sichei, M. M. (2006). A bvar model for the south african economy. *South African Journal of Economics*, 74(3), 391–409.
- Hallegatte, S., y Dumas, P. (2009). Can natural disasters have positive consequences? investigating the role of embodied technical change. *Ecological Economics*, 68(3), 777–786.
- Hallegatte, S., y Przulski, V. (2010). *The economics of natural disasters: concepts and methods*. The World Bank.
- Harrington, L. J., Otto, F. E. L., Cowan, T., y Hegerl, G. C. (2019, agosto). Circulation analogues and uncertainty in the time-evolution of extreme event probabilities: evidence from the 1947 Central European heatwave. *Climate Dynamics*, 53(3-4), 2229–2247. Descargado 2022-05-30, de <http://link.springer.com/10.1007/s00382-019-04820-2> doi: 10.1007/s00382-019-04820-2
- Holtz-Eakin, D., Newey, W., y Rosen, H. S. (1988, noviembre). Estimating Vector Autoregressions with Panel Data. *Econometrica*, 56(6), 1371. Descargado 2022-05-30, de <https://www.jstor.org/stable/1913103?origin=crossref> doi: 10.2307/1913103
- Hsiang, S. M., y Jina, A. S. (2014, July). *The causal effect of environmental catastrophe on long-run economic growth: Evidence from 6,700 cyclones* (Working Paper n.º 20352). National Bureau of Economic Research. Descargado de <http://www.nber.org/papers/w20352> doi: 10.3386/w20352
- Jaramillo, P. (2008). Estimación de var bayesianos para la economía chilena. *Documentos de Trabajo (Banco Central de Chile)*(508), 1.
- Jarociński, M. (2010, agosto). Responses to monetary policy shocks in the east and the west of Europe: a comparison. *Journal of Applied Econometrics*, 25(5), 833–868. Descargado 2022-05-30, de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jae.1082> doi: 10.1002/jae.1082
- Kadiyala, K. R., y Karlsson, S. (1997, marzo). NUMERICAL METHODS FOR ESTIMATION AND INFERENCE IN BAYESIAN VAR-MODELS. *Journal of Applied Econometrics*, 12(2), 99–132. Descargado 2022-05-30, de [https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/\(SICI\)1099-1255\(199703\)12:2<99::AID-JAE429>3.0.CO;2-A](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/(SICI)1099-1255(199703)12:2<99::AID-JAE429>3.0.CO;2-A) doi: 10.1002/(SICI)1099-1255(199703)12:2<99::AID-JAE429>3.0.CO;2-A
- Karlsson, S. (2013). Forecasting with bayesian vector autoregression. En *Handbook of economic forecasting* (Vol. 2, pp. 791–897). Elsevier.
- Keen, M. M., Freeman, M. P. K., y Mani, M. M. (2003). *Dealing with increased risk of natural disasters: challenges and options* (n.º 3-197). International Monetary Fund.
- Kilian, L. (2012). Structural Vector Autoregressions. Forthcoming in: N. Haschimzade and M. Thornton (eds.). En *Handbook of Research Methods and Applications in Empirical Macroeconomics*. Camberley, UK: Edward Elgar.
- Kilian, L., y Vega, C. (2011, mayo). Do Energy Prices Respond to U.S. Macroeconomic News? A Test of the Hypothesis of Predetermined Energy Prices. *Review of Economics and Statistics*, 93(2), 660–671. Descargado 2022-05-30, de <https://direct.mit.edu/rest/article/93/2/660-671/58601> doi: 10.1162/REST\_a.00086

- Kirchgässner, G., y Wolters, J. (2007). *Introduction to modern time series analysis*. Springer Science & Business Media.
- Klomp, J. (2014). Financial fragility and natural disasters: An empirical analysis. *Journal of Financial Stability*, 13, 180–192.
- Klomp, J., y Valckx, K. (2014). Natural disasters and economic growth: A meta-analysis. *Global Environmental Change*, 26, 183–195.
- Koop, G., y Korobilis, D. (2013, diciembre). Large time-varying parameter VARs. *Journal of Econometrics*, 177(2), 185–198. Descargado 2022-05-30, de <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0304407613000845> doi: 10.1016/j.jeconom.2013.04.007
- Koop, G. M. (2003). *Bayesian econometrics*. John Wiley & Sons Inc.
- Kose, M. A., Otrok, C., y Whiteman, C. H. (2003, agosto). International Business Cycles: World, Region, and Country-Specific Factors. *American Economic Review*, 93(4), 1216–1239. Descargado 2022-05-30, de <https://pubs.aeaweb.org/doi/10.1257/000282803769206278> doi: 10.1257/000282803769206278
- Kose, M. A., y Prasad, E. S. (2010). *Emerging markets: resilience and growth amid global turmoil* (Brooking Institution Press ed.). Washington, DC.
- Kousky, C. (2014). Informing climate adaptation: A review of the economic costs of natural disasters. *Energy Economics*, 46, 576–592.
- Kraay, A., y Raddatz, C. (2007, marzo). Poverty traps, aid, and growth. *Journal of Development Economics*, 82(2), 315–347. Descargado 2022-06-29, de <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0304387806000393> doi: 10.1016/j.jdeveco.2006.04.002
- Kunreuther, H. C., y Michel-Kerjan, E. O. (2011). *At war with the weather: managing large-scale risks in a new era of catastrophes*. MIT Press.
- Lis, E. M., y Nickel, C. (2009). The impact of extreme weather events on budget balances and implications for fiscal policy.
- Litterman, R. B. (1986). Forecasting with bayesian vector autoregressions—five years of experience. *Journal of Business & Economic Statistics*, 4(1), 25–38.
- Ljung, L., y Söderström, T. (1984). *Theory and practice of recursive identification* (n.º 4). Cambridge, Mass: MIT Press.
- Loayza, N. V., Olaberria, E., Rigolini, J., y Christiaensen, L. (2012). Natural disasters and growth: Going beyond the averages. *World Development*, 40(7), 1317–1336.
- López, R. (2009). *Natural disasters and the dynamics of intangible assets*. The World Bank.
- López, R., y Galinato, G. I. (2007). Should governments stop subsidies to private goods? evidence from rural latin america. *Journal of Public Economics*, 91(5-6), 1071–1094.
- Lopez, R., Thomas, V., y Troncoso, P. (2015, 11). Climate change and natural disasters autores: Climate change and natural disasters. Descargado de [https://www.researchgate.net/profile/Pablo-Troncoso-6/publication/337604600\\_Climate\\_Change\\_and\\_Natural\\_Disasters\\_Autores\\_Climate\\_Change\\_and\\_Natural\\_Disasters/links/6059f369458515e83467c239/Climate-Change-and-Natural-Disasters-Autores-Climate-Change-and-Natural-Disasters.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Pablo-Troncoso-6/publication/337604600_Climate_Change_and_Natural_Disasters_Autores_Climate_Change_and_Natural_Disasters/links/6059f369458515e83467c239/Climate-Change-and-Natural-Disasters-Autores-Climate-Change-and-Natural-Disasters.pdf)
- Love, I., y Zicchino, L. (2006, mayo). Financial development and dynamic investment behavior: Evidence from panel VAR. *The Quarterly Review of Economics and Finance*, 46(2), 190–210. Descargado 2022-05-30, de <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1062976906000251> doi: 10.1016/j.qref.2005.11.007
- Martell, O. (2016). *Revisión Teórica de la Trampa de Pobreza y Divergencia Económica entre las Entidades Federativas de México* (Tesis Doctoral, El Colegio de la Frontera Norte, Tijuana, B. C., México). Descargado de <https://www.colef.mx/posgrado/tesis/20141155/>
- Melecky, M., y Raddatz, C. (2011). *How do governments respond after catastrophes? natural-disaster shocks and the fiscal stance*. The World Bank.
- Meyler, A., Kenny, G., y Quinn, T. (1998). Forecasting irish inflation using arima models.
- MOURNIHO, R., y Nunes, L. (2002). Forecasting euro area aggregates with bayesian var and vecm

- models. *Research Department*.
- Nam, K. (2021, febrero). Nonlinear Cointegrating Regression of the Earth's Surface Mean Temperature Anomalies on Total Radiative Forcing. *Econometrics*, 9(1), 6. Descargado 2022-05-30, de <https://www.mdpi.com/2225-1146/9/1/6> doi: 10.3390/econometrics9010006
- Nations, U., y cols. (2010). *Natural hazards, unnatural disasters: the economics of effective prevention*. The World Bank.
- Noy, I. (2009). The macroeconomic consequences of disasters. *Journal of Development Economics*, 88(2), 221-231. Descargado de <https://EconPapers.repec.org/RePEc:eee:deveco:v:88:y:2009:i:2:p:221-231>
- Noy, I., y Nualsri, A. (2011). Fiscal storms: public spending and revenues in the aftermath of natural disasters. *Environment and Development Economics*, 16(01), 113-128. Descargado de [https://EconPapers.repec.org/RePEc:cup:endeec:v:16:y:2011:i:01:p:113-128\\_00](https://EconPapers.repec.org/RePEc:cup:endeec:v:16:y:2011:i:01:p:113-128_00)
- Oh, C. H., y Reuveny, R. (2010). Climatic natural disasters, political risk, and international trade. *Global Environmental Change*, 20(2), 243-254.
- Pesaran, M., y Smith, R. (1995, julio). Estimating long-run relationships from dynamic heterogeneous panels. *Journal of Econometrics*, 68(1), 79-113. Descargado 2022-05-30, de <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/030440769401644F> doi: 10.1016/0304-4076(94)01644-F
- Pierre, D. (2019, marzo). Desastres naturales y desigualdad: evidencia en América Latina y El Caribe. *Bolentín de Coyuntura*, 1(20), 4. Descargado 2022-06-24, de <http://revistas.uta.edu.ec/erevista/index.php/bcoyu/article/view/684> doi: 10.31164/bcoyu.20.2019.684
- Primiceri, G. (2005). Time Varying Structural Vector Autoregressions and Monetary Policy. *The Review of Economic Studies*, 72(3), 821-852. Descargado de <https://www.jstor.org/stable/3700675>
- Racette, D., Raynauld, J., Sigouin, C., y cols. (1994). *An up-to-date and improved bvar model of the canadian economy*. Bank of Canada.
- Raddatz, C. (2007). Are external shocks responsible for the instability of output in low-income countries? *Journal of Development Economics*, 84(1), 155-187. Descargado de <https://EconPapers.repec.org/RePEc:eee:deveco:v:84:y:2007:i:1:p:155-187>
- Raddatz, C. (2009). *The wrath of god: Macroeconomic costs of natural disasters*. The World Bank. Descargado de <https://elibrary.worldbank.org/doi/abs/10.1596/1813-9450-5039> doi: 10.1596/1813-9450-5039
- Rajan, R. G., y Zingales, L. (1998). Financial Dependence and Growth. *The American Economic Review*, 88(3), 559-586. Descargado de <https://www.jstor.org/stable/116849>
- Rebucci, A. (2010, febrero). Is growth exogenous? Evidence from the 1970s and 1980s. *Applied Economics*, 42(5), 535-543. Descargado 2022-05-30, de <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00036840701704410> doi: 10.1080/00036840701704410
- Rentschler, J. E. (2013). *Why resilience matters—the poverty impacts of disasters*. The World Bank.
- Shepherd, T. G. (2016, marzo). A Common Framework for Approaches to Extreme Event Attribution. *Current Climate Change Reports*, 2(1), 28-38. Descargado 2022-05-30, de <http://link.springer.com/10.1007/s40641-016-0033-y> doi: 10.1007/s40641-016-0033-y
- Shepherd, T. G. (2021, noviembre). Bringing physical reasoning into statistical practice in climate-change science. *Climatic Change*, 169(1-2), 2. Descargado 2022-05-30, de <https://link.springer.com/10.1007/s10584-021-03226-6> doi: 10.1007/s10584-021-03226-6
- Sims, C. A. (2000, abril). Using a likelihood perspective to sharpen econometric discourse: Three examples. *Journal of Econometrics*, 95(2), 443-462. Descargado 2022-05-30, de <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0304407699000469> doi: 10.1016/S0304-4076(99)00046-9
- Sims, C. A., y Zha, T. (1998a). Bayesian methods for dynamic multivariate models. *International Economic Review*, 949-968.



- Sims, C. A., y Zha, T. (1998b, noviembre). Bayesian Methods for Dynamic Multivariate Models. *International Economic Review*, 39(4), 949. Descargado 2022-05-30, de <https://www.jstor.org/stable/2527347?origin=crossref> doi: 10.2307/2527347
- Sims, C. A., y Zha, T. (1999). Error bands for impulse responses. *Econometrica*, 67(5), 1113–1155.
- Sims, C. A., y Zha, T. (2006, febrero). Were There Regime Switches in U.S. Monetary Policy? *American Economic Review*, 96(1), 54–81. Descargado 2022-05-30, de <https://pubs.aeaweb.org/doi/10.1257/000282806776157678> doi: 10.1257/000282806776157678
- Sims, E. (2012). News, Non-Invertibility, and Structural VARs. Forthcoming, *Advanced in Econometrics* volume 28. *University of Notre Dame, Department of Economics*.
- Sippel, S., y Otto, F. E. L. (2014, agosto). Beyond climatological extremes - assessing how the odds of hydrometeorological extreme events in South-East Europe change in a warming climate. *Climatic Change*, 125(3-4), 381–398. Descargado 2022-05-30, de <http://link.springer.com/10.1007/s10584-014-1153-9> doi: 10.1007/s10584-014-1153-9
- Skidmore, M., y Toya, H. (2002). Do natural disasters promote long-run growth? *Economic inquiry*, 40(4), 664–687.
- Stock, J., y Watson, M. (1989). New Indices of Coincident and Leading Indicators, in Blanchard, O. and Fisher, S.(eds.). En *NBER Macroeconomic Annual* (Vol. 4). Descargado de <https://www.nber.org/system/files/chapters/c10968/c10968.pdf>
- Stock, J., y Watson, M. (2012). Disentangling the channels of the 2007-2009 recession [NBER Working Papers]. (18094). Descargado de <https://EconPapers.repec.org/RePEc:nbr:nberwo:18094>
- Stock, J. H., y Watson, M. W. (2005, septiembre). Understanding Changes in International Business Cycle Dynamics. *Journal of the European Economic Association*, 3(5), 968–1006. Descargado 2022-05-30, de <https://academic.oup.com/jeea/article/2280877/Understanding> doi: 10.1162/1542476054729446
- Stone, D. A., Rosier, S. M., y Frame, D. J. (2021, abril). The question of life, the universe and event attribution. *Nature Climate Change*, 11(4), 276–278. Descargado 2022-05-30, de <http://www.nature.com/articles/s41558-021-01012-x> doi: 10.1038/s41558-021-01012-x
- Stott, P. A., Karoly, D. J., y Zwiers, F. W. (2017, septiembre). Is the choice of statistical paradigm critical in extreme event attribution studies? *Climatic Change*, 144(2), 143–150. Descargado 2022-05-30, de <http://link.springer.com/10.1007/s10584-017-2049-2> doi: 10.1007/s10584-017-2049-2
- Sá, F., Towbin, P., y Wieladek, T. (2014, abril). Capital Inflows, Financial Structure and Housing Booms. *Journal of the European Economic Association*, 12(2), 522–546. Descargado 2022-05-30, de <https://academic.oup.com/jeea/article-lookup/doi/10.1111/jeea.12047> doi: 10.1111/jeea.12047
- Thomas, V., Albert, J. R. G., y Hepburn, C. (2014). Contributors to the frequency of intense climate disasters in asia-pacific countries. *Climatic Change*, 126(3-4), 381–398.
- Thomas, V., y López, R. (2015). Global increase in climate-related disasters. *Asian Development Bank Economics Working Paper Series*(466).
- Todd, R. M., y cols. (1988). *Implementing bayesian vector autoregressions* (Inf. Téc.).
- Tol, R. S. (2009). The economic effects of climate change. *Journal of economic perspectives*, 23(2), 29–51.
- Tol, R. S. (2015). Economic impacts of climate change. *Working Paper Series*(75).
- Toya, H., y Skidmore, M. (2007). Economic development and the impacts of natural disasters. *Economics Letters*, 94(1), 20–25.
- van Garderen, L., Feser, F., y Shepherd, T. G. (2021, enero). A methodology for attributing the role of climate change in extreme events: a global spectrally nudged storyline. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 21(1), 171–186. Descargado 2022-05-30, de <https://nhess.copernicus.org/articles/21/171/2021/> doi: 10.5194/nhess-21-171-2021
- Von Toussaint, U. (2011). Bayesian inference in physics. *Reviews of Modern Physics*, 83(3), 943.

- Wilks, D. S. (2011). *Statistical methods in the atmospheric sciences* (Vol. 100). Academic press.
- Zellner, A., y Hong, C. (1989, enero). Forecasting international growth rates using Bayesian shrinkage and other procedures. *Journal of Econometrics*, 40(1), 183–202. Descargado 2022-05-30, de <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0304407689900365> doi: 10.1016/0304-4076(89)90036-5
- Zhongming, Z., Linong, L., Wangqiang, Z., Wei, L., y cols. (2021). Ar6 climate change 2021: The physical science basis.
- Zyphur, M. J., y Oswald, F. L. (2015). Bayesian estimation and inference: A user's guide. *Journal of Management*, 41(2), 390–420.