

Universidad de Buenos Aires
Facultad de Ciencias Económicas
Escuela de Negocios y Administración Pública

MAESTRÍA EN ECONOMÍA

TRABAJO FINAL DE MAESTRÍA

Efectos macroeconómicos de las sequías en Argentina en
el período 2004-2021: Un enfoque econométrico

AUTOR: KEVIN CORFIELD

DIRECTOR: ESTEBAN OTTO THOMASZ

MAYO 2024

Agradecimientos

Quiero agradecer a mi familia, Marcela, Lautaro y Ricardo quienes me han acompañado a lo largo de todos estos años de estudio impulsándome a continuar estudiando.

Agradezco también al Dr. Esteban Otto Thomasz, mi director de beca y tesis, por haberme acompañado a lo largo de todos estos años de vida académica.

Agradezco a mi Profesora de matemática para economistas, Dra. Ana Silvia Vilker quien es una excelente persona y profesional. Es una gran guía académica y me ha ayudado a incursionar por este maravilloso mundo de la investigación.

Agradezco, una vez más, a mis tres grandes amigos de la carrera de grado que siempre me han dado la motivación para continuar con mis sueños, Juan Alra, Franco López Franz y Pedro Messori.

Quiero agradecer al director de la Maestría en Economía Dr. Danilo Trupkin por las charlas después de cursar economía internacional y motivarme a iniciar esta nueva etapa en la maestría.

También agradezco, el gran grupo de compañeros que se formó a lo largo de la cursada, en especial a Juan Mario Farina con quién hemos tenido interminables debates sobre teoría económica, Milagros Pinelli, Sabrina Canelas, Manuel Cerdán y por último a Juan Casulá con quien tuve la oportunidad de compartir trabajos.

Resumen

El sector agropecuario es el principal determinante de las exportaciones argentinas y un generador de divisas netas. Además, tiene un rol significativo en los ingresos fiscales y una participación relativamente alta en el PBI. A partir de la estimación de un modelo de vectores autorregresivos estructural (SVAR) con restricciones lineales de exogeneidad en los parámetros, se explora el impacto macroeconómico de las sequías ocurridas en Argentina en el período comprendido entre el primer trimestre de 2004 y el cuarto trimestre de 2021. Los hallazgos indican que las sequías son importantes para explicar la dinámica macroeconómica argentina, en particular, un *shock* negativo de un desvío estándar en el índice de precipitaciones genera una disminución de la brecha producto, en la actividad del sector agropecuario y un aumento del tipo de cambio real. Cabe destacar que los resultados son robustos al período utilizado en la estimación y a la especificación del modelo.

Abstract

The agricultural sector is the main driver of Argentine exports and a net generator of foreign exchange. Additionally, it plays a significant role in fiscal revenues and has a relatively high share in GDP. Using an estimated structural vector autoregressive (SVAR) model with linear exogeneity restrictions on the parameters, the macroeconomic impact of droughts in Argentina during the period from the first quarter of 2004 to the fourth quarter of 2021 is explored. The findings indicate that droughts are key to explaining Argentina's macroeconomic dynamics. Specifically, a negative one standard deviation shock in the precipitation index leads to a reduction in the output gap, a decline in agricultural sector activity, and an increase in the real exchange rate. It is worth noting that the results are robust to the estimation period and the model specification.

Palabras clave: Sequías, Fluctuaciones macroeconómicas, Macroeconometría

JEL: C32, E23, E32, Q54

Contenido

1. Introducción	5
2. Revisión de la literatura	7
2.1. Estudios sobre el impacto del cambio climático	8
2.2. Estudio del impacto de los desastres naturales	11
2.3. Estudios del impacto de la variabilidad climática	12
2.4. Evidencia empírica para Argentina	16
3. Relevancia del sector agropecuario en la economía argentina (2000 a 2023)	19
3.1. El rol del agro en el crecimiento económico del período postcrisis	19
3.2. El sector agropecuario en números	22
3.2.1. Producción	22
3.2.2. Comercio Exterior	23
3.2.3. Empleo	24
3.2.4. Ingresos fiscales	26
4. Metodología	27
4.1. Índice de Precipitaciones	27
4.2. Materiales	29
4.3. Modelo Econométrico	30
5. Resultados	32
6. Robustez de los resultados	37
7. Conclusiones	40
Bibliografía	43
Anexo	48
Anexo 1. Modelo SVAR con restricciones de exogeneidad lineal	48
Anexo 2. Resultados estimación	49

1. Introducción

Los fenómenos climáticos extremos, impulsados en parte por el cambio climático antropogénico, se han instalado como una preocupación central en los ámbitos académicos, políticos y sociales. Su creciente frecuencia e intensidad generan impactos significativos en las economías de todo el mundo, en especial, en aquellas que depende de las exportaciones agrícolas, planteando desafíos para la estabilidad económica, el crecimiento sostenible y la equidad social.

En el contexto de la teoría macroeconómica, los *shocks* climáticos representan perturbaciones exógenas que afectan las condiciones de producción, consumo de bienes y servicios. Sus efectos pueden ser directos e indirectos sobre variables como el producto bruto interno (PBI), el empleo, la inflación, la inversión y la balanza comercial; mientras que sus impactos pueden variar en función de la estructura económica, la capacidad de adaptación y las políticas de mitigación de cada país.

Argentina es un país en desarrollo caracterizado por tener alta volatilidad en el producto, consumo e inversión (Uribe y Schmitt-Grohé, 2017). Su economía atraviesa recesiones recurrentes debido tanto a factores locales como internacionales, sin embargo, en los últimos 20 años se observa que las sequías que afectan el sector agrícola argentino generaron o en el mejor de los casos, exacerbaron los desequilibrios macroeconómicos.

Diversos tipos de *shocks* han sido estudiados como fuente de perturbación macroeconómica en economías emergentes¹ para explicar el comportamiento de sus ciclos económicos (Uribe y Schmitt-Grohé, 2017). Entre ellos, se destacan los *shocks* de los precios de los *commodities* (Drechsel y Tenreyro, 2018), los financieros (Uribe y Yue, 2006; Neumeyer y Perri, 2005), los de la tendencia (Aguiar y Gopinath, 2007), y los de incertidumbre (Bloom, 2009).

La canasta exportadora argentina está concentrada en productos provenientes del sector agrícola, en particular, del complejo oleaginoso y cerealero son los responsables del 31,4% y 17,3% respectivamente de las exportaciones totales del período 2019-2022. Además, cabe destacar que el sector agropecuario representó el 7,2% del Producto Bruto Interno (PBI)

¹ Si bien no hay una definición única, ni oficial, en general, se consideran economías emergentes según la clasificación del Fondo Monetario Internacional (FMI) que se basa en el PBI per cápita, tamaño de la población, diversificación de las exportaciones y participación en el comercio mundial, el grado de integración a los mercados financieros y la deuda.

entre 2004 y 2022, siendo la rama “Cultivos agrícolas” la más relevante con una participación del 60% sobre el Valor Agregado Bruto (VAB) del sector. En los últimos 20 años hubo eventos climáticos extremos que afectaron la producción agrícola de los principales cultivos, especialmente las sequías generaron pérdidas de producción alcanzando un valor de US\$ 70.842 millones a precios de 2022. Las campañas con mayores costos económicos fueron las de 2008/2009, 2017/2018 y 2022/2023 que exacerbaron los desequilibrios macroeconómicos (Provul, 2023). Sin embargo, los efectos de los *shocks* climáticos sobre los agregados macroeconómicos no han sido estudiados en Argentina.

Esta tesis tiene como objetivo principal analizar el impacto de las sequías en la macroeconomía Argentina generando evidencia empírica de los efectos climáticos adversos en economías emergentes en línea con la literatura que relaciona clima con economía como Gallic y Vermandel (2020), Okot (2020), Dell, Jones y Olken (2012); aportando así elementos a la discusión sobre los *shocks* y los ciclos económicos en economías con características similares a las estudiadas por Uribe y Schmitt-Grohé (2017).

La pregunta principal del trabajo de investigación es: ¿de qué magnitud son las respuestas de las fluctuaciones macroeconómicas a los impactos de las sequías en el sector agrícola en Argentina? A partir de la estimación de un modelo de vectores autorregresivos estructural (SVAR) con restricciones lineales de exogeneidad en los parámetros, se explora el impacto macroeconómico de las sequías ocurridas en Argentina en el período comprendido entre el primer trimestre de 2004 y el cuarto trimestre de 2021. A partir de la descomposición de Cholesky de la matriz de varianzas y covarianzas, se calculan las funciones de impulso-respuesta para estudiar la reacción de la macroeconomía a un impulso negativo en las precipitaciones realizando a continuación una descomposición de la varianza del error de pronóstico para responder a la pregunta: ¿Qué proporción de la variabilidad de la brecha de producto, la balanza comercial, la inflación y el tipo de cambio puede atribuirse a los *shocks* climáticos?

La motivación principal radica en la relevancia del sector en la estructura productiva como así también su importancia cuantitativa en las exportaciones y en la determinación del tipo de cambio de equilibrio. El análisis de la contribución de los *shocks* climáticos para explicar la volatilidad de las variables macroeconómicas en Argentina permitirá a los hacedores de políticas públicas diseñar estrategias de adaptación y mitigación con el fin de reducir el impacto de la variabilidad climática y disminuir los riesgos macroeconómicos.

En este sentido, entre los aportes del trabajo se encuentran la generación de evidencia empírica de los efectos macroeconómicos de los *shocks* climáticos en economías emergentes acorde con la literatura que relaciona clima con economía como Gallic y Vermandel (2020), Okot (2020), Dell et al. (2012). Por otro lado, el trabajo incorporará elementos a la discusión de *shocks* y ciclos económicos en economías emergentes en línea con Uribe y Schmitt-Grohé (2017). Por último, la pregunta de investigación es relevante para complementar la literatura que analiza el impacto de eventos climáticos extremos en Argentina en relación con el sector agrícola como los estudios realizados por Thomasz et al. (2019).

El trabajo se organiza de la siguiente manera: en la sección 2 se efectúa una revisión de la literatura que analiza la interacción entre economía y clima haciendo énfasis en los trabajos focalizados en la macroeconomía. Luego, en la sección 3 se hace un repaso de la evolución reciente de la economía argentina y se describe el rol del sector agropecuario en el crecimiento económico aportando algunas estadísticas relevantes. En la cuarta sección se describen los materiales y la metodología utilizada, y en la sección 5 se presentan los resultados principales del trabajo. A continuación, se realizan ejercicios de sensibilidad para verificar la robustez de los resultados. Finalmente, en las conclusiones se realiza un resumen de los aportes, se elaboran recomendaciones de política, y se exploran posibles líneas de investigación futura.

2. Revisión de la literatura

En los últimos años han aparecido un importante número de estudios sobre la relación entre el clima y la economía. Los análisis se han realizado especialmente sobre los efectos que tienen los aspectos climáticos en el crecimiento económico (Dell et al., 2012), en el ciclo económico (Gallic y Vermandel, 2020; Okot, 2020; Kamber et al., 2013) y a nivel sectorial-microeconómico (Thomasz et al., 2019).

Es posible trazar una división en los trabajos que estudian los efectos del cambio climático, el impacto de la variabilidad climática y las catástrofes en la economía. Según Thomasz et al. (2017) el cambio climático es un fenómeno, consecuencia de la emisión de gases de efecto invernadero que modifica los valores tendenciales de las variables climáticas en el largo plazo y se expresa a través de cambios en sus patrones, algunos ejemplos son los cambios en las temperaturas medias y las precipitaciones. Un concepto estrechamente relacionado pero distinto es el de variabilidad climática que hace referencia a las fluctuaciones de corto

plazo en los valores de las variables climatológicas que no afectan la tendencia de largo plazo. Por último, las catástrofes, los autores consideran que son eventos climáticos extremos que provocan daños a los sistemas naturales, sociales y económicos.

A continuación, se desarrolla la revisión de la literatura económica en función de los tres fenómenos climáticos mencionados anteriormente. Esto permite tener un mapa conceptual para introducir el aporte de investigación de esta tesis.

2.1. Estudios sobre el impacto del cambio climático

La literatura que analiza el impacto del cambio climático parte del hecho que las emisiones de gases de efecto invernadero, en particular de la emisión de CO₂, afecta los valores medios de las variables climáticas en el largo plazo. En general, utilizan modelos econométricos, regresiones con datos de panel y las observaciones corresponden a un grupo de países para distintos años. Dell, Jones y Olken (2012) explotan las variaciones históricas de la temperatura y las precipitaciones internas de 125 países en 20 años para evaluar el impacto del cambio climático en sus economías. La estrategia de identificación de los *shocks* climáticos radica en cambios exógenos en la temperatura media anual y en las precipitaciones medias anuales, de esta forma, los autores diferencian los efectos sobre los niveles de PBI per cápita y sobre las tasas de crecimiento. A su vez encuentran que los aumentos en la temperatura media tienen efectos negativos tanto en la tasa de crecimiento económico como en el nivel de ingresos per cápita. Los efectos son persistentes y los países más dañados por el cambio climático son los países pobres. Cabe mencionar que el trabajo también brinda resultados sobre las consecuencias en distintos sectores productivos, aumentos en las precipitaciones tienen un impacto positivo sobre el valor agregado de la agricultura, en particular 100 mm adicionales de lluvias anuales está asociado a un incremento de 0,18 puntos porcentuales (p.p.) en el crecimiento de la agricultura y 1 grado adicional en la temperatura media disminuye 2,7 p.p. el crecimiento de la producción agrícola. Además, los *shocks* climáticos tienen efectos negativos en la producción industrial y en la estabilidad política. Finalmente, los autores se preguntan si a mediano plazo, las consecuencias negativas de los aumentos de temperatura sostenidos pueden ser revertidas dado que, por un lado, los países pueden adaptarse y por otro, puede existir una retroalimentación de los problemas de productividad. Para responder esa pregunta, explotan la heterogeneidad en los aumentos de temperatura en dos grandes períodos que van desde 1975 a 1985 y 1986 a 2000 a través de la utilización de la metodología de Diferencias en

Diferencias. El primer hallazgo es que existe una relación estadística negativa entre cambios en la tasa de crecimiento económico y cambios en la temperatura media. El segundo resultado es que un aumento de 1 grado en la temperatura media anual reduce el crecimiento económico anual en 1,9 puntos porcentuales. Estos resultados son cuantitativamente importantes y robustos.

Un segundo trabajo en esta línea es el de Jones y Olken (2010) en el cual estiman diversos modelos de regresión con Mínimos Cuadrados Generalizados Factibles (*FGLS* por sus siglas en inglés) dado que la información presenta heteroscedasticidad. Cuentan con información de exportaciones para un panel de países registradas por Estados Unidos como país importador, de esta forma, solucionan los posibles errores de medición de las cuentas nacionales en los países pobres. El objetivo del trabajo es cuantificar los efectos de cambios en la temperatura media sobre las exportaciones desagregadas a uno y dos dígitos según la Clasificación Estándar de Comercio Internacional (*SITC* por sus siglas en inglés). En este caso, la estrategia de identificación son las variaciones en la temperatura media en grados Celsius entre países a lo largo del tiempo. Cabe señalar que el modelo utilizado captura la heterogeneidad inobservable a través de efectos fijos para las disparidades en la tasa de crecimiento de los productos exportados de los países y para *shocks* idiosincráticos de los productos. También controlan los efectos de los *shocks* climáticos por ingreso per cápita ajustado por Paridad de Poder Adquisitivo. Los resultados muestran que a medida que el clima se vuelve más cálido, las exportaciones se reducen, no obstante, los efectos son heterogéneos a escala sectorial, la agricultura y la industria liviana son los más afectados. Además, los autores resaltan que los países pobres enfrentan los *shocks* de forma más marcada que los países ricos.

Acevedo, Mrkaic, Novta, Pugacheva y Topalova (2020) estudian la repuesta del PBI per cápita a corto, mediano y largo plazo a cambios en las temperaturas y las precipitaciones en un panel de más de 180 países entre 1950 y 2015. La metodología empleada se basa en la estimación de funciones impulso – respuesta siguiendo a Jordá (2005) cuya estrategia de identificación se fundamenta en los cambios interanuales de la temperatura y las precipitaciones dentro de cada país y entre países. Entre los principales resultados, encontraron que los incrementos en las temperaturas tienen efectos positivos cuando la temperatura inicial es baja y negativos cuando la temperatura inicial es alta. En otras palabras, la relación entre temperatura y PBI per cápita es no lineal y refleja el hecho de que los países de bajos ingresos y de economías emergentes, generalmente cálidos, son los que

mayor vulnerabilidad representan al cambio climático. Los aumentos de temperatura tienen efectos de mediano y largo plazo, luego de siete años de ocurrido el *shock* climático, el PBI per cápita es 1,4% menor respecto de su valor inicial para economías emergentes y 2% más bajo para países de bajos ingresos (Acevedo et al., 2020). A diferencia de Dell et al. (2012), los efectos que se observan tanto sobre el nivel como en la tasa de crecimiento puede ser la consecuencia de que la inversión y la oferta laboral disminuyen frente a subas inesperadas de la temperatura, aunque los impactos están correlacionados negativamente al nivel de desarrollo (Acevedo et al., 2020). Cabe destacar que otros sectores, además del agrícola, se ven perjudicados por los *shocks* climáticos, por ejemplo, la productividad laboral de aquellos expuestos al calor disminuye ante incrementos en la temperatura (Acevedo et al., 2020).

El trabajo pionero de Burke, Hsiang y Miguel (2015) concilia la evidencia contradictoria entre los efectos no lineales del cambio climático a escala micro y las relaciones lineales a escala macro. Burke et al. (2015) encontraron que el incremento de la temperatura tiene efectos negativos sobre la tasa de crecimiento de los países pobres y ricos, aunque estos últimos son menos vulnerables porque tienen climas más fríos y la distribución es más simétrica en torno al umbral de temperatura óptima de aproximadamente 13 grados centígrados. Los autores concluyen que si los escenarios de calentamiento global continúan su curso actual se exacerbará la desigualdad entre países pobres y ricos dado que el segundo grupo puede verse beneficiado del incremento en la temperatura porque parten de una temperatura fría-templada (Burke et al., 2015).

En línea con los cuatro trabajos mencionados anteriormente, Donadelli et al. (2017) estudia el impacto de los *shocks* climáticos en Estados Unidos cuya identificación se hace a partir de aumentos inesperados de la temperatura. La metodología utilizada es un modelo de Vectores Autorregresivos (VAR) bivariado con temperatura media anual y la Productividad Total de los Factores (TFP) de Estados Unidos. El modelo es estimado por Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO) con datos anuales del período comprendido entre 1950 y 2015. La identificación del *shock* se basa en la descomposición de Cholesky de la matriz de varianzas y covarianzas resultante del modelo VAR. Los resultados encontrados mostraron que los efectos de incrementos repentinos en la temperatura y las precipitaciones son persistentes y cuantitativamente importantes. El segundo modelo VAR estimado por Donadelli et al. (2017) incorpora la tasa de variación del consumo, del PBI, de la inversión y la productividad laboral. En esta especificación encuentra que los efectos de incrementos en la temperatura son considerables y persistentes reduciendo, luego de un año ocurrido el

shock, la TFP en 0,2 puntos porcentuales (p.p.), el consumo 0,3 p.p., el PBI 0,5 p.p. y la inversión 1 p.p.. Un elemento novedoso del trabajo es el análisis del impacto del clima sobre los activos financieros a través de la construcción de un modelo de Equilibrio General Dinámico y Estocástico (DSGE), en este sentido, la disminución de la productividad reduce los ingresos de las firmas y de este modo, los dividendos que pagan a sus tenedores, por lo tanto, también se ven afectados los activos financieros.

2.2. Estudio del impacto de los desastres naturales

En los estudios que investigan los desastres naturales, que se identifican a partir de indicadores contruidos con información de víctimas y daños socioeconómicos (muertes, reportes de desaparición, heridos, etc.), la metodología empleada generalmente es la estimación de modelos de panel VARX o regresiones dinámicas con datos de panel. La estrategia de identificación es directa, dado que el indicador construido es exógeno en la especificación.

Fomby et al. (2009) analizan el impacto de cuatro desastres naturales, sequías, inundaciones, tormentas y terremotos para un conjunto de 87 que incluye países emergentes y desarrollados, a partir de la recopilación de experiencias durante 48 años comprendidos entre 1960-2007. La metodología utilizada es un VARX estimado con datos de panel que incluye efectos fijos con la muestra dividida entre países ricos y en desarrollo. Como en otros trabajos sobre el tema el modelo incorpora la tasa de crecimiento del PBI per cápita, las tasas de crecimiento del valor agregado per cápita del sector agrícola y el no agrícola; y controla por los términos de intercambio. El autor, construye un indicador de desastres naturales que permite distinguir entre aquellos moderados y severos, esta intensidad depende del número de personas fallecidas y de las personas afectadas en relación con el total de la población. Los resultados muestran que las sequías afectan principalmente a los países pobres más que a los ricos y aquellas que son severas tienen un efecto negativo del doble en magnitud en relación con las sequías moderadas. El sector no agrícola se ve afectado, aunque en menor medida que el agrícola. En contraste, las inundaciones tienen un impacto positivo que se materializa en mayor medida en el sector agrícola en comparación al no agrícola. Por su parte, los terremotos inducen cambios más leves sobre la economía, por un lado, tienen un efecto negativo en el crecimiento del valor agregado agrícola y por otro, cuando son moderados, un impacto positivo sobre el sector no agrícola. Finalmente, las tormentas tienen

consecuencias negativas para las economías, pero los efectos son poco persistentes y de escasa magnitud.

Asimismo, Noy (2009) muestra que el impacto de los desastres naturales puede ser limitado. Tienen mayor capacidad de enfrentar estos *shocks* los países que tienen mayor nivel de ingreso, instituciones fuertes, mayor grado de apertura comercial, un buen nivel de reservas internacionales y crédito interno con cuentas de capital relativamente menos abiertas.

2.3. Estudios del impacto de la variabilidad climática

En tercer lugar, existen los trabajos que analiza los efectos de la variabilidad climática en la macroeconomía. Los impactos de las sequías, generalmente, no son de tal magnitud como para ser consideradas en la literatura dentro de los desastres naturales. En este sentido, Kamber et al. (2013) estiman un modelo VAR con exogeneidad en bloques mediante métodos bayesianos con datos de frecuencia trimestral desde 1992 hasta 2012 para estudiar el impacto de la sequía del 2013 en Nueva Zelanda. Para identificar el evento climático extremo utilizaron cuatro indicadores, *Days of soil moisture deficit*, *Cumulative soil moisture deficit index*, *Cumulative rainfall index*, *Southern oscillation index*. Además, incluyeron PBI, inflación, tasa de interés, precios de lácteos y tipo de cambio como variables económicas domésticas e incorporaron el PBI mundial y el *Chicago Board Options Exchange Market Volatility Index (VIX)* como variables exógenas para capturar los efectos de la coyuntura internacional en la economía de Nueva Zelanda. Los autores utilizaron la identificación de corto plazo de Cholesky y restricciones de exogeneidad, es decir que las variables de la economía de Nueva Zelanda no tienen efectos sobre la economía mundial ni sobre las condiciones climáticas, asimismo, los *shocks* climáticos tienen impactos contemporáneos en la economía doméstica. Entre los resultados encontraron que la sequía del 2013 disminuyó el PBI en aproximadamente 0,6%, contribuyó al aumento de los precios de los productos lácteos y causó una devaluación del 3% de la moneda neozelandesa. Los *shocks* climáticos funcionan como el típico *shock* de oferta negativo, aunque los efectos sobre la tasa de inflación no fueron estadísticamente significativos, el precio de los alimentos tuvo un ascenso del 1% al 1,5% luego de la sequía. Un aspecto para destacar es el impacto del evento climático sobre otros sectores, la industria primaria cae un 5% en respuesta al shock mientras que los servicios profesionales un 1% y la industria no agrícola se contrae un 0,5%.

En un trabajo más reciente, Gallic y Vermandel (2020) extendieron el análisis e incorporaron un modelo estructural de Equilibrio General Dinámico y Estocástico (*DSGE* por sus siglas en inglés) calibrado con datos de Nueva Zelanda para explicar los mecanismos de la evidencia empírica generada por un VARX al estilo de Cushman y Zha (1997). El ejercicio empírico consta de la representación de la economía a través de un modelo de vectores autorregresivos estructural que considera 8 variables, 6 de ellas corresponden al primer bloque que describe la economía doméstica, el PBI, la producción agrícola, las horas trabajadas, el consumo, la inversión y el tipo de cambio real efectivo, el segundo captura el crecimiento económico mundial y el último posee el índice construido por los autores para capturar las sequías. Los coeficientes que determinan la interacción dinámica entre los bloques fueron restringidos de forma tal que las sequías sean completamente exógenas y las variables de la economía doméstica no afecten ni las condiciones globales ni climáticas. La conclusión principal del estudio es que las sequías son cuantitativamente importantes para explicar las fluctuaciones macroeconómicas en Nueva Zelanda, los *shocks* climáticos generan recesiones a través de la contracción del sector agrícola. En particular, un *shock* de un desvío estándar sobre *soil moisture deficit* reduce la producción agrícola en 0,12% instantáneamente hasta alcanzar 1,27% después de tres trimestres. Por su parte, el consumo y la inversión se reducen un 0,05% y 0,1% respectivamente. Los efectos se propagan al resto de la economía resultando en una depreciación del tipo de cambio real, menores exportaciones y déficit de cuenta corriente. En tanto para investigar los mecanismos de transmisión de los *shocks* climáticos, Gallic y Vermandel (2020) utilizan un modelo *DSGE* estilo pequeña economía abierta en el que existen dos sectores económicos, dos bienes y hogares que ofrecen su fuerza laboral a cambio de un salario. Los parámetros del modelo son calibrados y otros estimados por métodos bayesianos. Los resultados de este ejercicio mostraron que las sequías en Nueva Zelanda actúan como un típico *shock* de oferta negativo, la productividad de la tierra cae un 22% y en consecuencia los productores agrícolas compran mayor cantidad de insumos para contrarrestar esa merma en la productividad aumentando la producción no agrícola en aproximadamente 0,15%.

Con respecto al rol de la variabilidad climática en el ciclo económico en economías de bajos ingresos, Okot (2020) analiza el impacto de las sequías en Uganda, el sector agrícola en ese país está integrado por pequeños agricultores con escasa tecnología, no obstante, es un sector relevante para la economía. El autor estima un modelo SVAR con identificación de corto plazo en el que utiliza el desvío de las precipitaciones medias para identificar el *shock*

climático. Los resultados empíricos muestran que una disminución en las precipitaciones genera recesiones, déficits de cuenta corriente, devaluación del tipo de cambio real y un aumento la inflación en alimentos.

Además, Okot (2020) construye un modelo *DSGE* cuyos parámetros fueron estimados con datos para Uganda en el que hay bienes agrícolas, no agrícolas e importados, el *shock* climático es incorporado en la función de producción del sector agrícola en la que se asume que la oferta de la tierra es fija. Las principales conclusiones son que las mermas en las precipitaciones disminuyen la producción agrícola en aproximadamente 3,7% afectada principalmente por la disminución de la cosecha, en consecuencia, se incrementa el déficit de cuenta corriente. No obstante, el *shock* incrementa la demanda de insumos para contrarrestar el efecto negativo que a su vez aumenta la producción del sector no agrícola. En resumen, según Okot (2020) los *shocks* climáticos explican aproximadamente la mitad de la variación de la producción agrícola y un tercio de las fluctuaciones del total agregado de la economía de Uganda.

También existen estudios en países vecinos de Argentina, como el de Baéz et al. (2023) que estiman un modelo SVAR bayesiano con datos trimestrales de Paraguay incorporando variables macroeconómicas como PBI, consumo, inversión y ratio balanza comercial, para los años 2001 hasta 2020. La restricción de identificación que utilizan se basa en la exogeneidad estricta impuesta a la variable sequía, que fue construida a partir de un índice que combina el porcentaje de agua útil en el suelo destinado a la producción de soja y maíz para algunos departamentos de Paraguay ponderado por producción. Los resultados muestran que un *shock* de un desvío estándar en el índice de sequías genera una caída del producto y la inversión del orden del 0,8% y 2,5% respectivamente luego de dos trimestres. Por su parte, el consumo se ve afectado contemporáneamente con una disminución aproximada de 0,6%. Asimismo, las sequías explicaron aproximadamente la décima parte de la variación del PBI de Paraguay en el período 2001-2020 (Báez et al., 2023).

Por su parte, Akyapi et al. (2022) estudian los efectos macroeconómicos de la ocurrencia de eventos climáticos extremos a través de la estimación de funciones impulso-respuesta con la metodología de proyecciones locales siguiendo a Jordá (2005). La información utilizada se basa en datos climáticos geospaciales de temperatura, precipitaciones y sequías medidas con el Índice de Palmer con frecuencia diaria para el período 1979-2019 para un conjunto de 199 países. Este trabajo aplica una metodología novedosa en la selección de las variables

climáticas que pueden influir en la economía, la estimación del modelo contempla aquellas que tienen mayor poder explicativo a través del algoritmo *Least Absolute Shrinkage and Selection Operation (LASSO)*. Los resultados indican que un *shock* de un desvío estándar de la prevalencia de sequías graves disminuye el PBI per cápita en 0,21 p.p. Mientras que, un aumento de la temperatura por encima del umbral de 35 grados Celsius reduce el PBI en 0,20 p.p. Por su parte, un *shock* positivo en la temperatura media en el intervalo entre 9 y 12 grados tiene un impacto significativo y positivo en el PBI per cápita de 0,16 p.p. Además, encontraron que los efectos sobre el nivel de PBI per cápita son persistentes, sin embargo, el impacto sobre la tasa de crecimiento no parece ser perdurable. A diferencia de trabajos anteriores, este estudio muestra que las sequías severas afectan negativamente tanto a países agrícolas como no agrícolas, ricos y pobres especialmente en África, Oriente Medio, Europa y Asia Central, pero los impactos no son significativos en América Latina y el Caribe y en el Este asiático. En el caso de temperaturas por encima de los 35° los efectos son significativos en los países agrícolas cálidos y pobres. Un punto saliente del trabajo es que investigan los efectos de los *shocks* climáticos sobre las variables macro fiscales, mostrando que los gobiernos suelen reaccionar frente a los *shocks* climáticos adversos con política fiscal expansiva. En particular, incrementan el gasto y emiten deuda para hacer frente a las sequías y a las inundaciones mientras que, en otros tipos de perturbaciones, la política fiscal es procíclica.

Hasta aquí se mostró que los desastres naturales y el cambio climático tienen un impacto significativo en el crecimiento económico de los países pobres mientras que en los desarrollados no parece ser significativo. Sin embargo, la variabilidad climática tiene un rol importante en el ciclo económico de las economías desarrolladas, pero la evidencia empírica para países emergentes, como Argentina, resulta ser escasa. Aquellas economías cuya dinámica depende especialmente de las exportaciones agropecuarias parecen tener una vulnerabilidad adicional a los *shocks* climáticos. El caso de Argentina donde el sector agrícola representa aproximadamente el 7,2% del Valor Agregado Bruto total, no cuenta con trabajos que evalúen los efectos agregados del impacto de la variabilidad climática en su producción.

2.4. Evidencia empírica para Argentina

El suministro de agua es uno de los principales *inputs* para la producción de soja, siendo esencial durante el período crítico y la cosecha (Thomasz et al., 2023a). Los estudios sobre los efectos de la variabilidad y el cambio climáticos en la agricultura argentina son escasos y tienen escala microeconómica, centrándose en cómo afectan a los cultivos las emisiones previstas de dióxido de carbono (Barros et al., 2014; CEPAL, 2014; Murgida et al., 2014; Ortiz de Zarate et al., 2014). Algunos investigadores han analizado el impacto histórico del clima en los rendimientos (Magrin et al., 2007), mientras que otros han estudiado los efectos de la disminución de la lluvia en áreas específicas (Bert et al., 2006; Letson et al., 2009).

Aumentando la escala de las pérdidas, Thomasz et al. (2019) a través de regresiones estimaron los rindes tendenciales y la producción de soja por departamento. Los resultados muestran que el costo económico por pérdidas de producción de soja por sequías en la zona núcleo de Argentina en el período 2000/01- 2016/17 representó el 22% de las reservas internacionales de 2016. En otro trabajo, Thomasz et al. (2023b) agregan las pérdidas por sequías de los cultivos de soja y maíz en Argentina, encontraron que hubo tres sequías extremas-severas que afectaron la producción de las campañas 2008/09, 2011/12 y 2017/18 y tres sequías moderadas, 2010/11, 2012/13 y 2013/14. Un hallazgo relevante de Thomasz et al. (2023b) es que las pérdidas asociadas al cultivo de maíz son relativamente mayores a las de soja por la mayor resistencia del último cultivo al estrés hídrico. En términos macroeconómicos, las tres sequías principales ocurridas en los años 2009, 2012 y 2018 resultaron en pérdidas equivalentes al 11.2%, 6.6% y 9.9% respectivamente, del valor total de las exportaciones del país en cada año correspondiente (Thomasz et al., 2023b).

Por otra parte, Thomasz et al. (2024) muestran que, en promedio, el 91,2% de la variabilidad en los rindes del cultivo de soja en Argentina es explicado por los niveles de precipitaciones y las temperaturas máximas. Además, hallaron que los eventos climáticos negativos extremos aumentarán en frecuencia e intensidad pasando de 2 eventos extremos (2001-2021) a 2,74 (2022-2042) con pérdidas que pueden alcanzar un máximo del 64,75% de la producción, con un promedio general del 29.08 %.

Por otra parte, Ahumada y Cornejo (2021) utilizando sistemas parciales con métodos econométricos de cointegración estudiaron los efectos del cambio climático en los rindes del cultivo de soja en Argentina. Entre los principales resultados, encontraron que las altas

temperaturas afectan negativamente los rindes en el corto plazo mientras que mayores concentraciones atmosféricas de CO₂ tienen un impacto positivo. Por el contrario, los determinantes principales de los rindes en el largo plazo se centran en factores tecnológicos.

En tanto Sgroi et al. (2021) investigaron las consecuencias de las sequías en la producción de trigo, maíz y soja en la zona núcleo de producción agrícola. A partir de datos de precipitaciones y humedad del suelo, los autores evaluaron características como la intensidad, duración, gravedad y alcance de las sequías. Entre los principales hallazgos, encontraron que las sequías tienen un impacto significativo en los rendimientos de los cultivos, particularmente durante las etapas críticas de crecimiento. Además, concluyen que los indicadores de corto plazo son más útiles para prever pérdidas en los rendimientos en comparación con los indicadores de largo plazo y al igual que Ahumada y Cornejo (2021) subrayan la relevancia de la tecnología agrícola en el incremento de los rendimientos de los cultivos.

Según World Bank Group (2022) los impactos macroeconómicos de las sequías se canalizan a través de la reducción de las exportaciones por la menor producción agrícola, los mayores precios internos como consecuencia de la menor oferta generada por el *shock* climático y, por último, estos efectos reducen el PBI y los ingresos fiscales que están correlacionados con la actividad económica. Según las estimaciones de World Bank Group (2022), el PBI y el consumo podrían reducirse más de 3% por las sequías en 2050. La ocurrencia de estos eventos extremos no solo tiene importantes impactos a nivel macroeconómicos, sino también en la actividad económica de las provincias. A escala subnacional, las estimaciones sugieren que una disminución de 10 p.p. en la producción agrícola de las principales provincias agrícolas reduce la tasa de crecimiento de la producción bruta provincial en 0,77 p.p.

Finalmente, Bortz y Toftum (2023) trabajaron con los cambios en las precipitaciones como instrumento para estimar el cambio de las exportaciones argentinas de soja, maíz, trigo y girasol; y su impacto sobre la acumulación de reservas internacionales de Argentina. Los autores encontraron que las precipitaciones de enero y febrero están correlacionadas con las exportaciones agrícolas y su disminución afecta negativamente la acumulación de reservas internacionales en Argentina.

2.5. Síntesis

La revisión de la literatura indica que los estudios sobre la relación entre clima y economía son relativamente nuevos y reflejan la inquietud que existe por medir el impacto de los distintos fenómenos climáticos en la economía. El denominador común en todos ellos es que el cambio climático se ha acelerado en los últimos años y está aumentando la frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos, así como también la variabilidad climática.

Todos los países enfrentan costos derivados de los fenómenos climáticos, sin embargo, los países pobres y emergentes son los más vulnerables, en particular aquellos cuya producción y exportaciones dependen del sector agropecuario. Los efectos climáticos sobre las unidades microeconómicas han sido ampliamente estudiados, especialmente en la agricultura mientras que la evidencia empírica del impacto a escala macroeconómica es reciente y escasa, en particular para países de Sudamérica.

Los trabajos mencionados y comentados en el apartado demuestran que los efectos de los fenómenos climáticos son negativos, causan caídas del producto, de las exportaciones y de los ingresos fiscales como consecuencia de la merma en los ingresos de los sectores afectados. Los daños económicos y sociales más fuertes se observan cuando ocurren desastres naturales, aunque puede haber consecuencias positivas en la reconstrucción. Los cambios en las temperaturas medias de largo plazo parecen tener un efecto nocivo más marcado y lento, aunque los cambios repentinos en las precipitaciones y las sequías generan impactos negativos de corto plazo especialmente a través de la contracción de los sectores asociados la producción agropecuaria. Cabe destacar que las respuestas de política frente a los *shocks* climáticos tienen un rol importante en contrarrestarlos. Además, otros factores estructurales como la calidad de las instituciones, el nivel de ingreso, el régimen cambiario, el desarrollo de los mercados financieros y la disponibilidad de crédito aumentan la capacidad de resiliencia.

El aporte de esta tesis se centra en generar evidencia empírica, no abundante hasta el momento del desarrollo de este estudio, de los efectos macroeconómicos de los *shocks* climáticos en Argentina, un país con una economía altamente inestable y cuyas exportaciones se concentran principalmente en productos primarios y manufacturas de origen agropecuario.

En tanto este trabajo completará el vacío existente en la literatura sobre el impacto de los *shocks* climáticos en la macroeconomía del país ya que los analiza de forma sistemática, en particular los períodos de disminución de las precipitaciones, generando información sobre el efecto de la variabilidad climática en su ciclo económico uniendo de esta manera los estudios microeconómicos y macroeconómicos efectuados con énfasis sectorial. Un aporte adicional del trabajo es la elaboración de un indicador sintético que muestra la evolución de las condiciones climáticas en la zona de producción agrícola económicamente relevante para Argentina.

En el siguiente apartado, se expone, en primer lugar, el rol del sector agropecuario en la actividad económica en perspectiva histórica para dimensionar la interacción entre el crecimiento económico de Argentina y el desempeño sectorial. Luego, se presentan algunas estadísticas seleccionadas para mostrar la importancia del sector agropecuario en términos de producción, comercio exterior, empleo e ingresos fiscales.

3. Relevancia del sector agropecuario en la economía argentina (2000 a 2023)

3.1. El rol del agro en el crecimiento económico del período postcrisis

En el primer bienio de la década del 2000 Argentina estaba sumergida en una crisis política, económica y social, se observó una fuerte depreciación del peso, cesación de pago de la deuda, altos indicadores de pobreza y caída del producto bruto interno (Delia, 2009). Como consecuencia de la crisis y el cambio de gobierno en el año 2003, surgieron nuevas ideas en la elaboración de políticas económicas, algunas de ellas fueron la flotación del peso con tipo de cambio real alto y estable, superávit fiscal y de cuenta corriente del balance de pagos y se redefinió un rol por parte del estado activo en materia de inversión pública, protección social e incentivo a la demanda agregada (Damill y Frenkel, 2009; Delia, 2009). Por otro lado, se implementó una política monetaria interventora que cumplía la función de acumular reservas mediante operaciones de mercado abierto y aseguraba un tipo de cambio real alto (Damill; Frenkel, 2009; Amico, 2013).

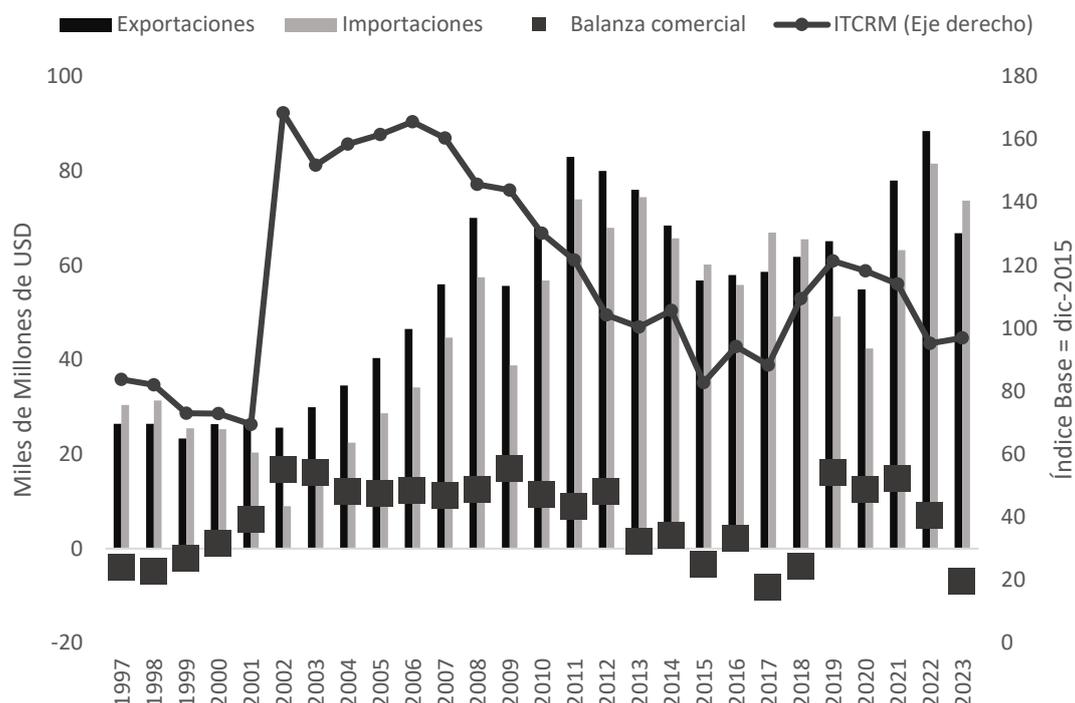
La recuperación fue posible, entre otros factores, por el desenvolvimiento del sector agropecuario. Entre los elementos que lo establecieron en la delantera fueron: el cambio de

precios relativos internacionales en las *commodities* que Argentina exportaba producto del mayor dinamismo en la demanda de China, país que incorporo grandes masas de la población a las clases medias. La existencia de un tipo de cambio real alto que determinó que los productos producidos con bienes primarios tengan precios competitivos, juntamente con el abaratamiento de parte de la estructura de costos en pesos y el avance tecnológico que se dio en materia agrícola y ganadera. (Anllo et al., 2007).

Según Cetrángolo et al. (2007) entre los factores que fomentaron la recuperación se encuentran: 1) la devaluación y el tipo de cambio real alto, 2) el aumento de la relevancia del comercio exterior, 3) el superávit comercial y mayores términos de intercambio. La devaluación en enero de 2002 y la persistencia del tipo de cambio real alto condujo a un cambio de precios relativos favorable al sector exportador, mejorando las condiciones del sector agropecuario que combinado con la mayor demanda internacional determinó que las exportaciones aumentaran en cantidad y precio.

En referencia al superávit comercial y mejores términos de intercambio (ver gráfico 1), los autores destacan que el período estuvo marcado por un balance positivo del sector externo debido al fuerte crecimiento en las exportaciones muy por encima de las importaciones. Los principales aumentos, según los autores, se produjeron en las exportaciones de manufacturas de origen agropecuario como aceites y derivados de la industria de oleaginosas, seguidas por las manufacturas de origen industrial. Los mejores términos de intercambio funcionaron como soporte para el saldo del balance comercial dado que los saldos físicos, aunque positivos se fueron reduciendo a lo largo del período. (Cetrángolo et al., 2007).

Gráfico 1. Índice de Tipo de Cambio Real Multilateral y Balanza comercial



Fuente: Elaboración propia en base a BCRA e INDEC.

En cuanto al comportamiento de las cuentas públicas, los ingresos fiscales aumentaron por encima de los gastos, en su mayor proporción producto de las retenciones a las exportaciones y débitos fiscales, que para el año 2004 representaron 4,5% del PBI. (Cetrángolo et al., 2007). Pero esta situación económica comienza a cambiar a partir del año 2009 cuando Argentina pasa a tener un patrón de crecimiento inestable con recesiones en los años 2009, 2012, 2014, 2016, 2018, provocadas por la crisis internacional, los desequilibrios macroeconómicos locales y los eventos climáticos extremos.

En las últimas décadas, las sequías e inundaciones comenzaron a ser más frecuente y de mayor intensidad producto del cambio climático. En este contexto, es necesario, analizar los efectos que esos fenómenos, especialmente las sequías tienen en las economías, en particular la Argentina dado que el principal sector exportador y una porción no despreciable del PBI proviene de la producción agrícola, mayormente obtenida sin riego artificial, y de las cadenas agroindustriales. En este sentido, la volatilidad que experimentó el ciclo económico en los últimos años podría deberse, en parte, a los efectos de las sequías acaecidas en el periodo mencionado.

El sector agropecuario ha sido un protagonista destacado en el desempeño macroeconómico en los últimos años. Su contribución al crecimiento económico, la generación de empleo y el impulso de las exportaciones han sido determinantes en la salida de la crisis 2001/02. En la siguiente sección se exponen algunas estadísticas de producción, comercio exterior, empleo e ingresos fiscales que dan cuenta de su relevancia más reciente.

3.2. El sector agropecuario en números

En apartado anterior se hizo un repaso de la relevancia del sector agropecuario en el ciclo económico de Argentina post crisis 1998-2002. En los próximos párrafos, se expone la importancia cuantitativa del sector enumerando cada una de las aristas en las que interviene.

3.2.1. Producción

En las cuentas nacionales, el sector agropecuario está compuesto por varias ramas de actividad fuertemente interrelacionadas entre sí, con una participación del 7,2% del VAB total de la economía en el período comprendido entre los años 2004 y 2022. Entre ellas se destacan “cultivos agrícolas” y “cría de animales” que generaron el 4,3% y el 2,2% respectivamente del VAB total.

Cuadro 1. VAB a precios básicos por rama de actividad económica – Promedio 2004 - 2022

Rama de Actividad	Participación sobre el VAB Total	Participación sobre el VAB de la Agricultura, ganadería, caza y silvicultura
Agricultura, ganadería, caza y silvicultura	7.2%	
Cultivos agrícolas	4.3%	60.0%
Cría de animales	2.2%	31.0%
Servicios agrícolas y pecuarios, excepto los veterinarios	0.5%	6.6%
Caza, repoblación de animales de caza y servicios conexos	0.0%	0.1%
Construcciones agropecuarias	0.1%	1.0%
Silvicultura, extracción de madera y servicios conexos	0.1%	1.4%

Fuente: Elaboración propia en base a INDEC.

3.2.2. Comercio Exterior

Las exportaciones argentinas al igual que el resto de los países de la región, como ya se ha comentado, están concentradas en *commodities*. En particular, las oleaginosas representaron el 31,4% de las exportaciones totales de bienes y servicios del período comprendido entre 2019 y 2022 mientras que los cereales lo hicieron con 17,3%. El complejo soja es el más relevante en términos de ventas al exterior con una participación del 28,1% de las exportaciones totales compuesto principalmente por los productos de la primera industrialización como “Harinas y Pellets de soja” (14,1%) y “Aceite de soja” (7,5%), y por el producto primario, como los porotos de soja (4,2%).

Por su parte, el complejo cerealero con una participación del 17,3% en las exportaciones totales de bienes y servicios, el maíz y el trigo son los dos cultivos más importantes con una participación del 10,8% y 4,7% respectivamente.

Cuadro 2. Complejos exportadores del sector agropecuario – Período 2019-2022. En millones de dólares corrientes

Complejo	2019	2020	2021	2022	Participación promedio en el total de exportaciones de bienes y servicios
Sector oleaginoso	18,867	16,730	26,389	27,989	31.4%
Complejo soja	16,943	14,865	23,841	24,868	28.1%
Harinas y pellets de soja	8,806	7,806	11,796	12,041	14.1%
Aceite de soja	3,506	3,894	7,135	6,975	7.5%
Porotos de soja	3,472	2,343	2,814	3,284	4.2%
Biodiésel	775	468	1,573	1,851	1.6%
Otras exportaciones de soja	384	353	523	717	0.7%
Complejo girasol	935	660	1,334	1,891	1.7%

Complejo maní	841	1,073	1,042	1,041	1.4%
Complejo olivícola	148	132	172	189	0.2%
Sector cerealero	10,076	9,539	13,941	16,093	17.3%
Complejo maicero	6,025	6,151	9,295	9,549	10.8%
Complejo triguero	2,836	2,471	3,488	4,724	4.7%
Complejo cebada	1,029	750	943	1,608	1.5%
Complejo arrocero	185	167	215	213	0.3%

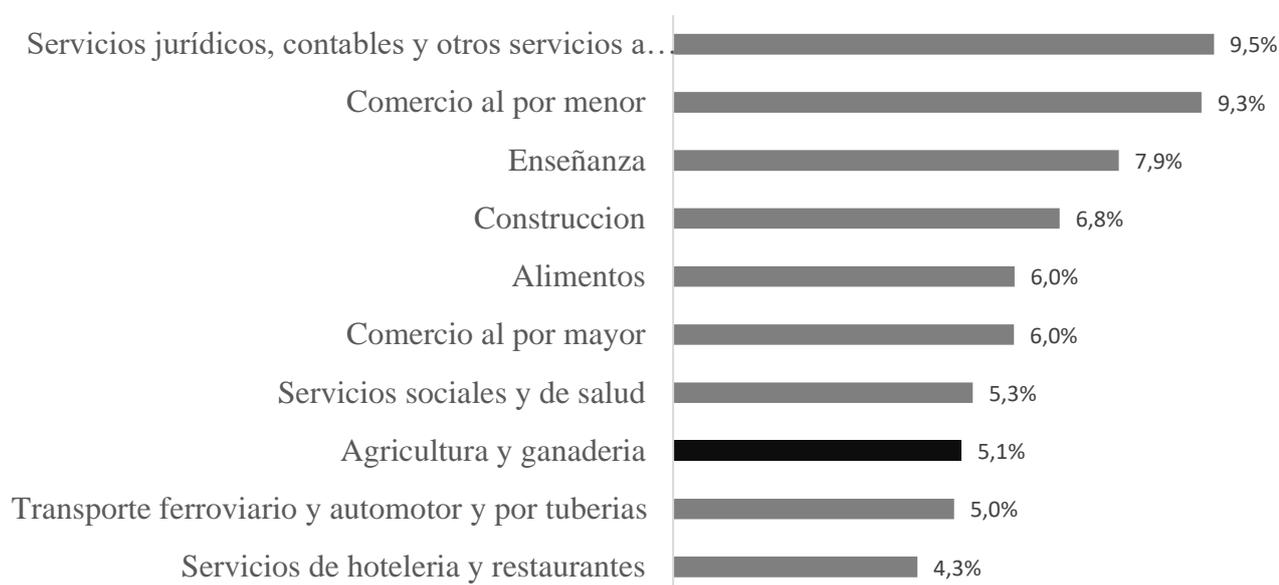
Fuente: Elaboración propia en base a INDEC.

3.2.3. Empleo

El sector “Agricultura y ganadería” tuvo una participación del 5,1% del empleo total del año 2022 (Ver gráfico 2). Mientras que el sector “Alimentos”, concentra el 6% del empleo total y es junto con el sector de agricultura y ganadería uno de los más dinámicos de la cadena agroindustrial.

Un análisis desglosado al interior del sector permite observar que la rama “Cría de ganado y producción de leche, lana y pelos” ostenta la mayor capacidad de absorber trabajo dentro de “Agricultura y ganadería” con una participación del 1,3% del empleo total de la economía mientras que el segundo puesto lo ocupa “Cultivo de cereales, oleaginosas y forrajeras” que concentró el 1% del empleo total de la economía en el año 2022 (Ver Cuadro 3).

Gráfico 2. Participación en el empleo total según rama de actividad a 2 dígitos del CIU – Año 2022.



Fuente: Elaboración propia en base a OEDE.

Cuadro 3. Participación del empleo por rama de actividad 4 dígitos del CIU – Año 2022.

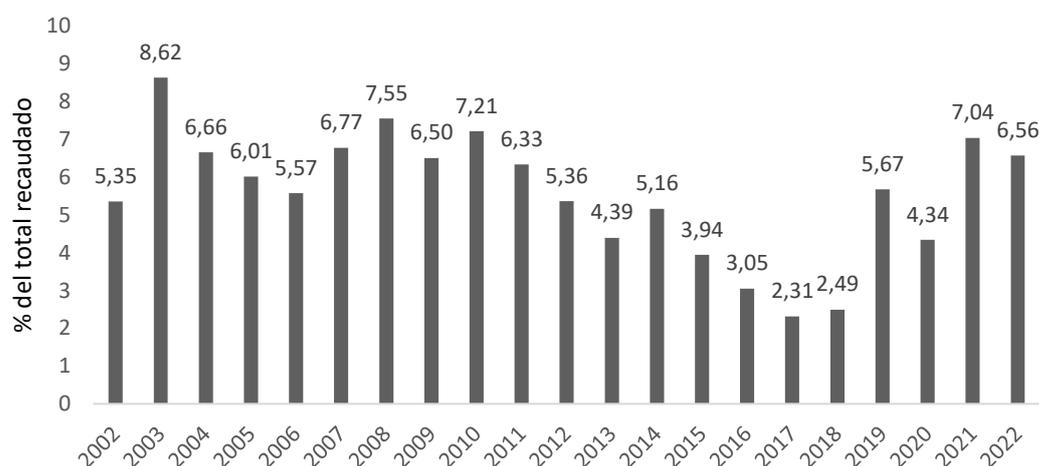
Rama de Actividad	% del Empleo Total
Cultivo de cereales, oleaginosas y forrajeras	1,0%
Cultivo de hortalizas, legumbres, flores y plantas ornamentales	0,3%
Cultivo de frutas -excepto vid para vinificar- y nueces	0,6%
Cultivos industriales, de especias y de plantas aromáticas y medicinales	0,6%
Producción de semillas y otras formas de propagación de cultivos agrícolas	0,2%
Cría de ganado y producción de leche, lana y pelos	1,3%
Producción de granja y cría de animales, excepto ganado	0,2%
Servicios agrícolas	0,9%
Servicios pecuarios, excepto los veterinarios	0,0%
Caza y captura de animales vivos, repoblación de animales de caza y servicios conexos	0,0%

Fuente: Elaboración propia en base a OEDE.

3.2.4. Ingresos fiscales

Las actividades del sector agropecuario están gravadas, como el resto de las actividades económicas, por el impuesto a las ganancias, impuesto al valor agregado (IVA), a los ingresos brutos, a los bienes personales, a las transacciones financieras además de tasas y contribuciones. Sin embargo, los derechos de exportación (DEX) gravan directamente el valor de la exportación FOB con alícuotas diferenciadas según se trate de harina, aceite o poroto de soja, maíz o trigo. La recaudación promedio en concepto de derechos de exportación a la agroindustria alcanzó el 5,6% de la recaudación total en el período desde 2002 hasta 2022 con una merma entre 2013 y 2018. Asimismo, los derechos de exportación de la agroindustria representaron en promedio un 75,6% del total recaudado por ese tributo al comercio exterior. En este sentido, los ingresos fiscales dependen fuertemente de la evolución del sector agropecuario, las sequías que afectan los ingresos de las actividades agrícolas reducen la base imponible de los impuestos generando problemas de financiamiento para el sector público.

Gráfico 3. Recaudación fiscal por derechos de exportación de la agroindustria como porcentaje del total recaudado 2002-2022.



Fuente: Elaboración propia en base a AFIP.

En esta sección se expusieron los principales indicadores económicos del sector agropecuario a los fines de dimensionar su importancia relativa en la economía argentina.

La evolución de la actividad agrícola tiene un rol preponderante en el PBI, en las exportaciones, el empleo y los ingresos fiscales de Argentina. De esta forma, los *shocks* que afectan a la agricultura en general y a los cultivos de soja y maíz en particular determinan el sendero de la macroeconomía argentina siendo las condiciones climáticas el principal determinante de los rindes Thomasz et al. (2024). Por consiguiente, el objetivo de esta tesis es estimar cuantitativamente el impacto en la macroeconomía argentina de las sequías que afectan su producción agrícola. En la siguiente sección se presenta la metodología y los datos utilizados para tal fin.

4. Metodología

4.1. Índice de Precipitaciones

Para identificar el *shock* climático en el modelo, se debe contar con una variable que aproxime el comportamiento de las sequías. Según Ravelo, et al. (2016) las sequías se explican por la ausencia de precipitaciones de forma persistente durante un período extendido y se clasifican en:

- Sequías meteorológicas: hace referencia a la situación en la cual las lluvias se encuentran por debajo de lo esperado.
- Sequías agrícolas: la falta de precipitaciones, bajo nivel de reservas hídricas y mayor evapotranspiración afecta negativamente los rindes de los cultivos agrícolas.
- Sequías hidrológicas: Se presenta cuando hay una prolongada insuficiencia en la escorrentía superficial, que desencadenan una disminución en el nivel de las aguas subterráneas.
- Las sequías socioeconómicas: representan los impactos significativos en la comunidad y en sus actividades económicas como consecuencia de las sequías mencionadas anteriormente.

Una forma amplia de definir las sequías es a través del déficit de precipitaciones en un período de tiempo y área geográfica determinada. Existen también diversas variables que permiten identificarlas, sin embargo, los datos de precipitaciones se obtienen de fuentes públicas y tienen una interpretación rápida y sencilla. Además, trabajos empíricos muestran que existe una correlación estadística alta entre precipitaciones y la producción agrícola a nivel agregado siendo una buena alternativa a otras variables meteorológicas (Thomasz et al.,

2023a; Kamber et al., 2013). Obtener un indicador resumido de precipitaciones representa un desafío al momento de estimar el impacto a escala macro. En este sentido, Thomasz et al. (2024) encontraron que las precipitaciones de tres estaciones meteorológicas (Coronel Suarez, Junín y Río Seco) durante los meses de diciembre, enero y febrero explican más del 70% de la variación de los rindes de la producción argentina de soja a escala nacional.

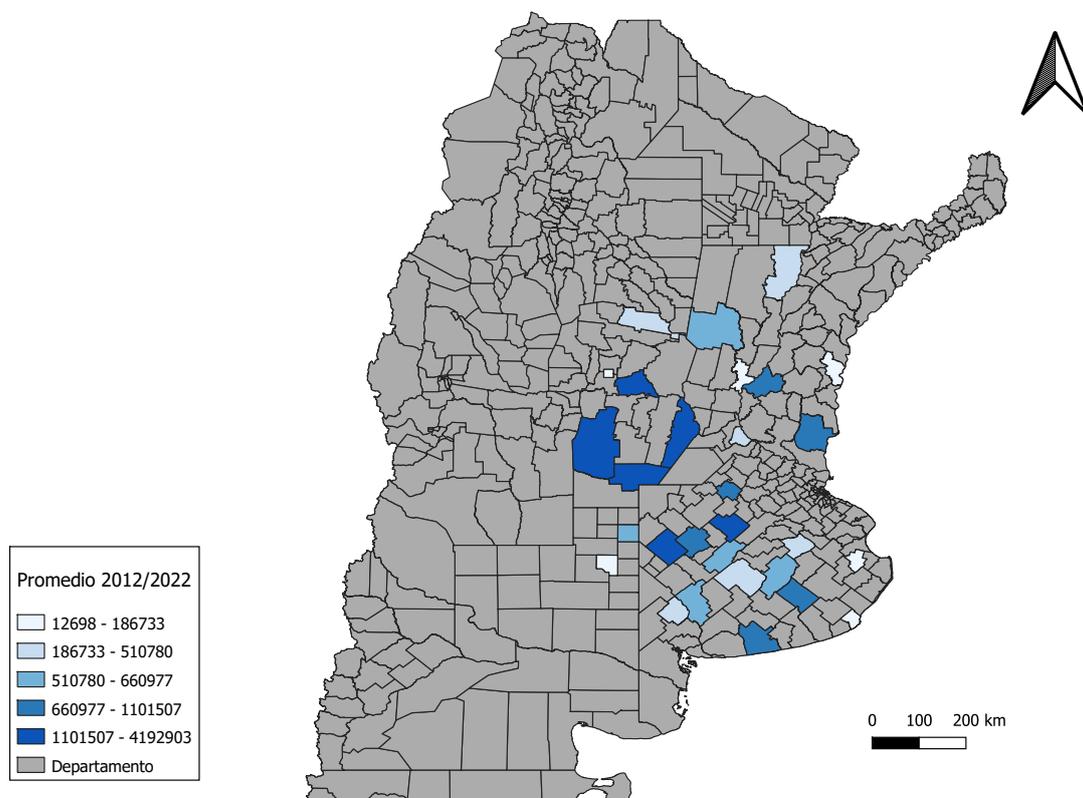
De esta forma, las precipitaciones de unas pocas estaciones meteorológicas determinarían el impacto de las sequías más severas en la zona núcleo de producción agrícola. Se seleccionaron las precipitaciones acumuladas mensuales para los departamentos de las provincias de Córdoba, Santa Fe, Buenos Aires, Entre Ríos y La Pampa (zona de mayor producción agrícola) cuya fuente de información es el Servicio Meteorológico Nacional (SMN). Podrían seleccionarse las lluvias acaecidas en todos los departamentos de la argentina, pero dado que la hipótesis de investigación es que las sequías que afectan especialmente a la producción agrícola son las relevantes para analizar la dinámica macroeconómica, se toman las de aquellos departamentos que pertenecen a la zona de producción agropecuaria relevante.

El problema de agregar información climática y en particular precipitaciones es que se pueden compensar las de una locación geográfica con las de otras. Para evitar este problema, se procede a construir un índice ponderado en base a la metodología de Paasche que tome en cuenta la importancia, en términos relativos, de la producción por departamento.

$$IP_t = \frac{\sum_{i=1}^N R_{it} Q_{it}}{\sum_{i=1}^N R_{i0} Q_{it}}$$

Donde R_{it} son las precipitaciones acumuladas del departamento i en el trimestre t y Q_{it} es la participación del departamento i en la producción total de la muestra en el trimestre t . Ahora bien, las precipitaciones del SMN están asociadas a estaciones meteorológicas, entonces para poder construir el índice, se *matchea* cada estación meteorológica con el departamento de producción correspondiente a la información provista por la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca (SAGYP).

Gráfico 4. Mapa de los departamentos seleccionados para la elaboración del índice de precipitaciones ponderado por producción agrícola.



Fuente: Elaboración propia en base a SAGYP. Nota: La gama de colores hace referencia a la cantidad promedio de toneladas producidas de soja, maíz y trigo entre 2012 y 2022.

4.2. Materiales

Las variables utilizadas para la estimación son: el Producto Bruto Interno (PBI), el valor agregado bruto del sector agropecuario (producto agropecuario), la tasa de inflación (π), el índice de tipo de cambio real multilateral (ITCRM), el ratio Balanza comercial/Producto (TB/Y) y el índice de precipitaciones (IP) comentado anteriormente.

El PBI y el producto agropecuario se obtuvieron del INDEC a precios constantes del 2004. Ambas series están desestacionalizadas. Para obtener la brecha de ambas variables con respecto a sus tendencias, se extrajo su componente tendencial con el filtro Hodrick-Prescott (H-P) con un valor para lambda de 1600 como es usual en la literatura para series de frecuencia trimestral. Finalmente se obtuvo la brecha del producto restando el logaritmo de

la variable observada a la tendencia H-P, que se interpreta como el desvío porcentual con respecto al producto potencial.

Con respecto al tipo de cambio real multilateral, se tomó la serie mensual del Banco Central de la República Argentina. De la que se calculó la media trimestral y la variación anual. Finalmente, el ratio (TB) se elaboró a partir de la información del INDEC de agregados macroeconómicos (X-M) y posteriormente fue dividido por el producto a valores corrientes.

El método de las variaciones se utilizó para construir la serie de inflación tomando el IPC INDEC base 2008, desde enero de 2004 hasta noviembre de 2006, el IPC San Luis base 2003 y su fuente de información es el Instituto de Estadística y Registro de la Industria de la Construcción (IERIC) desde diciembre 2006 hasta noviembre de 2016 y el IPC INDEC base 2016 desde diciembre de 2016 hasta el final del período. Luego, se calculó la variación intertrimestral.

4.3. Modelo Econométrico

Los modelos VAR son utilizados en la literatura de macroeconomía empírica para estudiar la interacción dinámica entre variables agregadas dado que permiten identificar *shocks* inesperados con cierta facilidad y evaluar los impactos a partir de la construcción de funciones impulso respuesta. En otras palabras, en el marco de series de tiempo, los modelos VAR permiten modelar el comportamiento de cada variable en función de sus propios rezagos y los rezagos de otras variables.

Como se mostró en la revisión de la literatura, una gran cantidad de trabajos que analizan el impacto de las sequías utilizan la metodología VAR con restricciones lineales en la matriz de coeficientes de los rezagos para que las variables exógenas no estén influenciadas por las variables de la economía doméstica. En el caso de Gallic y Vermandel (2020) utilizaron esta metodología para aislar los efectos de los *shocks* climáticos de los macroeconómicos, de esta forma, sólo los primeros afectan al índice de sequías. Otro trabajo que implementó esta estrategia de identificación es el de Baéz et al. (2023) en el que partitionaron el vector de variables observadas en dos subvectores que contienen el índice de sequías en el primero y las variables de la economía doméstica en el segundo. Esta configuración del modelo permite que los *shocks* climáticos (sequías) tengan efectos en todas las variables mientras que los *shocks* no climáticos solo impacten en las variables económicas.

La pregunta de esta investigación es respondida por medio de un modelo VAR estructural con datos de frecuencia trimestral. Para identificar los *shocks* estructurales se utilizan restricciones de corto plazo y se realiza la descomposición de Cholesky de la matriz de varianzas y covarianzas. Las variables contempladas son el Producto Bruto Interno, el producto agrícola, la tasa de inflación, el índice de tipo de cambio real multilateral (ITCRM), el ratio de balanza comercial sobre PBI y el índice de precipitaciones. El período de estimación del modelo está comprendido desde el primer trimestre de 2004 hasta el cuarto trimestre de 2021.

El modelo VAR estructural con p rezagos se puede expresar como:

$$B_0 y_t = c + B_1 y_{t-1} + \dots + B_p y_{t-p} + u_t \quad (1)$$

Donde B_i son las matrices de coeficientes estructurales, y_t el vector de variables incluidas en el modelo y u_t representa el vector de errores estructurales mutuamente no correlacionados con media cero de dimensión $K \times 1$. En particular, se impusieron restricciones de exogeneidad en la matriz de coeficientes siguiendo a Cushman y Zha (1998) de forma tal que las variables macroeconómicas no tengan efecto en ningún caso en el índice de precipitaciones. En términos prácticos, se implementa a través del vector particionado $y_t = [y'_{1,t} \quad y'_{2,t}]$ donde $y'_{1,t}$ contiene el índice y $y'_{2,t}$ las variables macroeconómicas (ver anexo 2 para mayor detalle del modelo).

Además, la matriz de varianzas y covarianzas de los errores estructurales se normaliza de la siguiente forma:

$$\mathbb{E}(u_t u_t') \equiv \Sigma_u = I_K \quad (2)$$

Para realizar la estimación del modelo (1) es necesario expresarlo en su forma reducida, premultiplicando ambos lados de la ecuación por B_0^{-1} :

$$y_t = v + \underbrace{A_1}_{B_0^{-1}B_1} y_{t-1} + \dots + \underbrace{A_p}_{B_0^{-1}B_p} y_{t-p} + \underbrace{\varepsilon_t}_{B_0^{-1}u_t} \quad (3)$$

Donde $A_i, i = 1, \dots, p$ son matrices de dimensión $K \times K$ con coeficientes de los rezagos de las variables del modelo de forma reducida. ε_t es un vector de dimensión $K \times 1$ que contiene las innovaciones que representan combinaciones lineales de los *shocks* estructurales. La estimación del modelo (3) se realiza por *Generalized Least Square (GLS)* dado que, en

presencia de restricciones en la matriz de coeficientes de la forma reducida, el estimador *Ordinary least Squares (OLS)* es asintóticamente ineficiente (Kilian y Lütkepohl, 2017)².

Expresando el modelo (3) en forma más compacta:

$$y_t = [v, A_1, \dots, A_p]Z_{t-1} + \varepsilon_t$$

Donde $Z_{t-1} \equiv (1, y'_{t-1}, \dots, y'_{t-p})'$ y ε_t es ruido blanco i.i.d. con una matriz de varianzas y covarianzas no singular. Si existen restricciones lineales en los parámetros, pueden ser expresadas en una matriz de restricciones R de rango M tal que $\alpha = R\gamma$ donde γ es un vector de $M \times 1$ de parámetros no restringidos y $\alpha = \text{vec}(A)$. Entonces, el estimador para γ es:

$$\hat{\gamma} = [R'(ZZ' \otimes \Sigma_\varepsilon^{-1})R]^{-1} R' \text{vec}(\Sigma_\varepsilon^{-1}YZ')$$

Donde $Y \equiv [y_1, \dots, y_T]$ es una matriz de dimensión $K \times T$ y $Z \equiv [Z_0, \dots, Z_{T-1}]$ es una matriz de dimensión $Kp + 1 \times T$.

Para recuperar los *shocks* estructurales, es necesario imponer restricciones en la matriz B_0^{-1} . La literatura ha tratado este problema de diversas formas (Kilian y Lütkepohl, 2017). En este trabajo se utiliza la descomposición de Cholesky de la matriz de varianzas y covarianzas dado que se espera que ante un *shock* negativo en las precipitaciones en la zona núcleo de producción agrícola, la economía responda contemporáneamente. En otras palabras, el *shock* climático es anticipado por los agentes de la economía, quienes tienen información sobre el curso de la producción y monitorean las condiciones climáticas. La disminución esperada en la producción agrícola genera expectativas de un tipo de cambio más alto, lo que a su vez incrementa la demanda de divisas en el mercado cambiario. Además, las precipitaciones, al ser una variable exógena, se considera que afecta directamente a la economía sin que exista retroalimentación con las variables económicas.

5. Resultados

En el gráfico 5 se muestran las variables utilizadas en la estimación del modelo SVAR. El índice de precipitaciones ponderado por producción agrícola captura las sequías severas de las campañas 2008/09 y 2017/18. Por su parte, el producto agropecuario presenta una

² *OLS* es asintóticamente ineficiente si se imponen restricciones en los parámetros. Es preferible *GLS* dado que es consistente y asintóticamente eficiente

$$\sqrt{T}(\hat{\gamma} - \gamma) \xrightarrow{d} \mathcal{N}(0, (R'\Sigma_\varepsilon^{-1}R)^{-1})$$

importante caída en los años que el sector experimentó sequías clasificadas como extremas por el Índice de Palmer³, por ejemplo en el segundo trimestre del año 2009 el producto agropecuario fue 50% menor respecto a su tendencia mientras que el segundo trimestre del año 2018 el 37% menor, este patrón observado en los datos muestra que el impacto del evento climático extremo se visibiliza en el trimestre (abril, mayo y junio) en el que ocurre la cosecha gruesa (principalmente soja y maíz).

Para trabajar con series de tiempo es necesario verificar la estacionariedad de las mismas para evitar dinámicas explosivas o crear ciclos espurios. Para ello, se calculó el test *Augmented Dickey-Fuller*. En el cuadro 4 se exponen los resultados, la hipótesis nula de la prueba es que la serie posee raíz unitaria (no estacionariedad). El índice de precipitaciones ponderado por producción, la brecha de producción agropecuaria y la brecha de producto son estacionarias. Por su parte, el ratio balanza comercial - producto no es estacionario en niveles por lo que se procedió a calcular sus primeras diferencias para lograr que sea estacionaria. Con respecto al tipo de cambio real y el IPC, ambas variables son no estacionarias en niveles, para utilizarlas en el modelo se calcularon sus tasas de variación que resultaron ser estacionarias y, además su interpretación económica es más directa.

Cuadro 4. Test de Dickey Fuller Aumentado para las variables utilizadas en la estimación del modelo SVAR

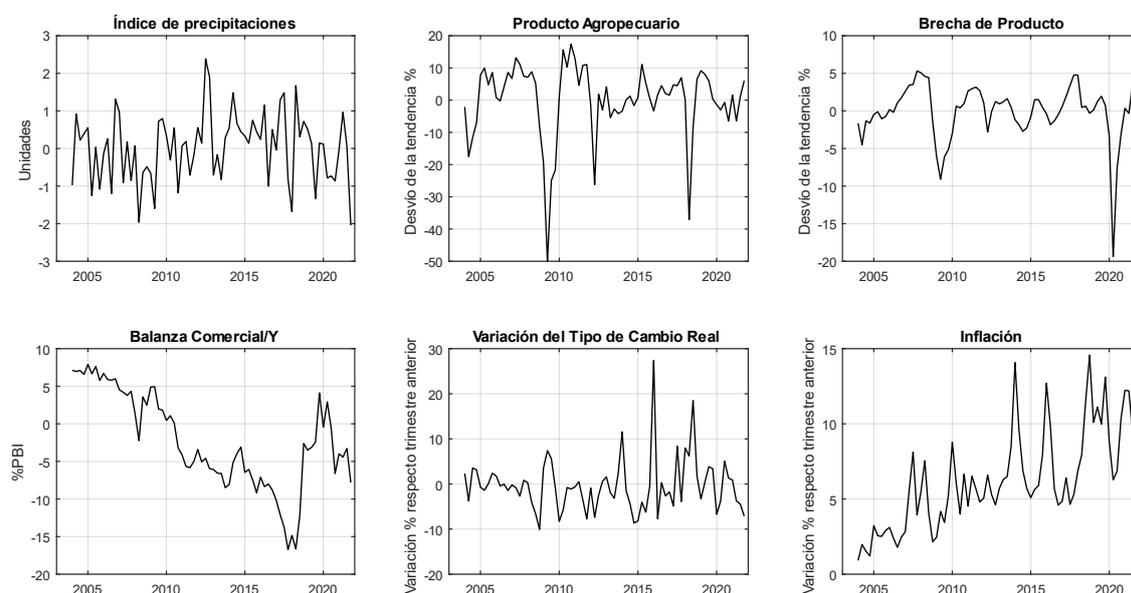
Variable	Sin intercepto	Con intercepto y sin tendencia	Con tendencia e intercepto	Primeras diferencias sin tendencia
Índice de Precipitaciones	-7.46***	-7.42***	-7.34***	
Brecha de producto agropecuario	-4.45***	-4.42***	-4.39***	
Brecha de producto	-3.61***	-3.57***	-3.53**	
Ratio Balanza Comercial / Producto	-1.53	-1.88	-2.34	-9.24***
Variación del tipo de cambio real	-7.23***	-7.21***	-7.18***	
Tasa de Inflación	-7.23***	-7.21***	-7.18***	

Nota: Los valores reportados corresponden al estadístico del ADF y deben contrastarse con el valor crítico del estadístico. La cantidad de rezagos de la variable dependiente se seleccionó en base al criterio de información de Schwarz. ***0.01, **0.05, *0.1. Fuente: Elaboración propia.

³ Se utilizó el índice elaborado por el Centro de Relevamiento y evaluación de Recursos Agrícolas y Naturales. Disponible en: <https://www.crean.unc.edu.ar/pdsi-2024-03/>

Los resultados de la estimación de las matrices de coeficientes y la matriz de varianzas y covarianzas del modelo se muestran en el anexo 2. Los criterios de información de *Akaike (AIC)*, *Hannan–Quinn (HQC)* y *Schwarz (SC)* indicaban incorporar sólo un rezago en la estimación, sin embargo, para capturar una dinámica más rica y evitar problemas de autocorrelación se tomaron dos rezagos. Las funciones impulso – respuesta y la varianza del error de pronóstico (*FEVD* por sus siglas en inglés) se calcularon mediante *Bootstrap* con 2000 repeticiones dado que permite relajar el supuesto de normalidad de los residuos y es especialmente útil en muestras pequeñas (Kilian y Lütkepohl, 2017).

Gráfico 5. Variables utilizadas en la estimación del modelo SVAR



Fuente: Elaboración propia en base a INDEC, BCRA, SMN y IERIC.

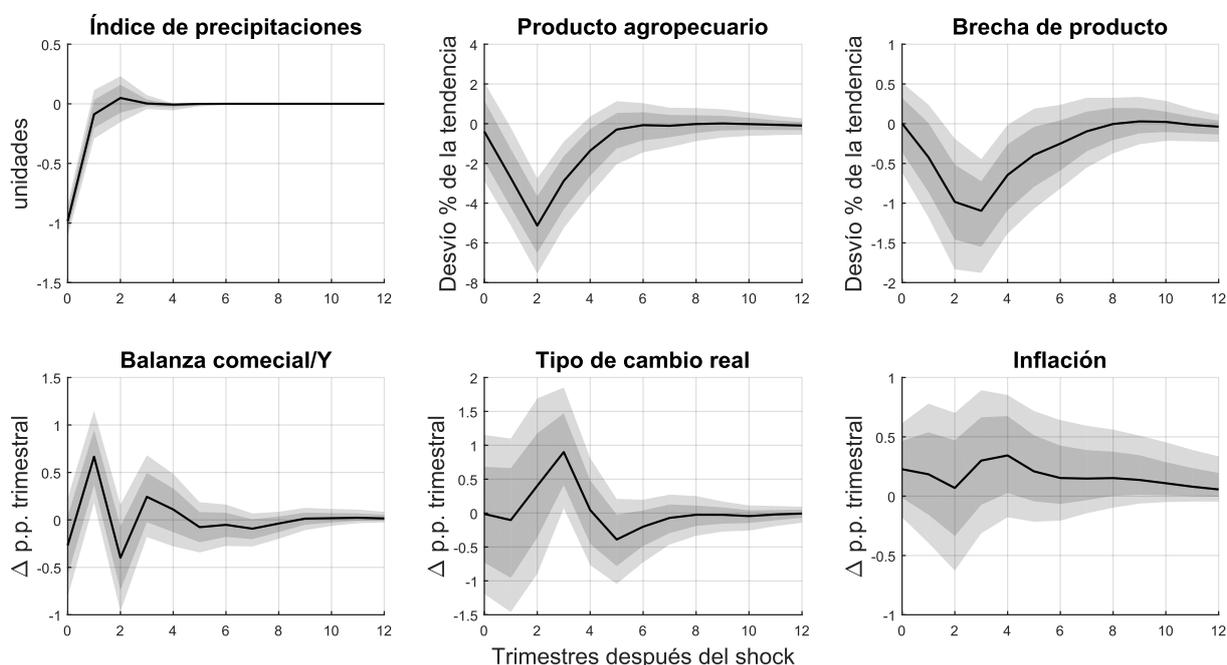
Para analizar los efectos de las sequías en las variables macroeconómicas, se multiplicaron las respuestas por -1 para obtener las respuestas a una disminución en las precipitaciones⁴. De este modo, las respuestas muestran la reacción de cada variable del sistema a un *shock* de un desvío estándar en las precipitaciones. En el gráfico 6 se presentan las funciones impulso – respuesta con esta configuración, la línea negra sólida muestra la mediana de la respuesta de cada variable al *shock* climático, el área gris claro el 90% y el área gris oscuro

⁴ El shock positivo incrementa el valor del índice mostrando un aumento de las precipitaciones.

indica el intervalo de confianza del 68%. En el gráfico 7, se presenta la descomposición de la varianza del error de pronóstico de cada variable (FEVD) que muestran en qué proporción contribuye el *shock* climático en la variación de cada una de las series macroeconómicas bajo estudio.

Un *shock* negativo de un desvío estándar (0,99 unidades) en las precipitaciones genera una caída en el producto agropecuario a partir del primer trimestre después de ocurrido el *shock* (momento donde comienza a ser estadísticamente significativa) hasta alcanzar un mínimo del orden del -5,15% con respecto a su tendencia en el segundo trimestre luego de ocurrido el *shock*, a partir de ese mínimo, vuelve a su estado inicial que llega en el cuarto trimestre. Por su parte, la brecha del producto también responde negativamente al *shock*, 1,13% en el tercer trimestre después del *shock* y al cuarto trimestre tiene una reversión a su estado inicial, donde la respuesta deja de ser estadísticamente significativa. Cabe resaltar que la respuesta de la brecha del producto tiene mayor rezago que el producto agropecuario, este hecho podría ser un indicio de la estructura temporal de los impactos y los efectos multiplicadores de la caída del producto agropecuario como consecuencia de los encadenamientos productivos. La variación trimestral del tipo de cambio real tiende a mostrar una depreciación. En el tercer trimestre, el peso se deprecia en aproximadamente un 0,93% debido a la sequía., que podría ser el resultado de las menores exportaciones esperadas como consecuencia de la sequía, sin embargo, la respuesta del ratio balanza comercial – Producto no muestra un patrón claro. Por último, la tasa de inflación tiene una respuesta muy incierta, este resultado es consistente con estudios similares en otros países en la medida que el precio de los bienes transables (alimentos) aumenta luego de la sequía, pero el de los no transables disminuye (Kamber et al., 2013).

Gráfico 6. Funciones Impulso – Respuesta a un *shock* de un desvío estándar al índice de precipitaciones.

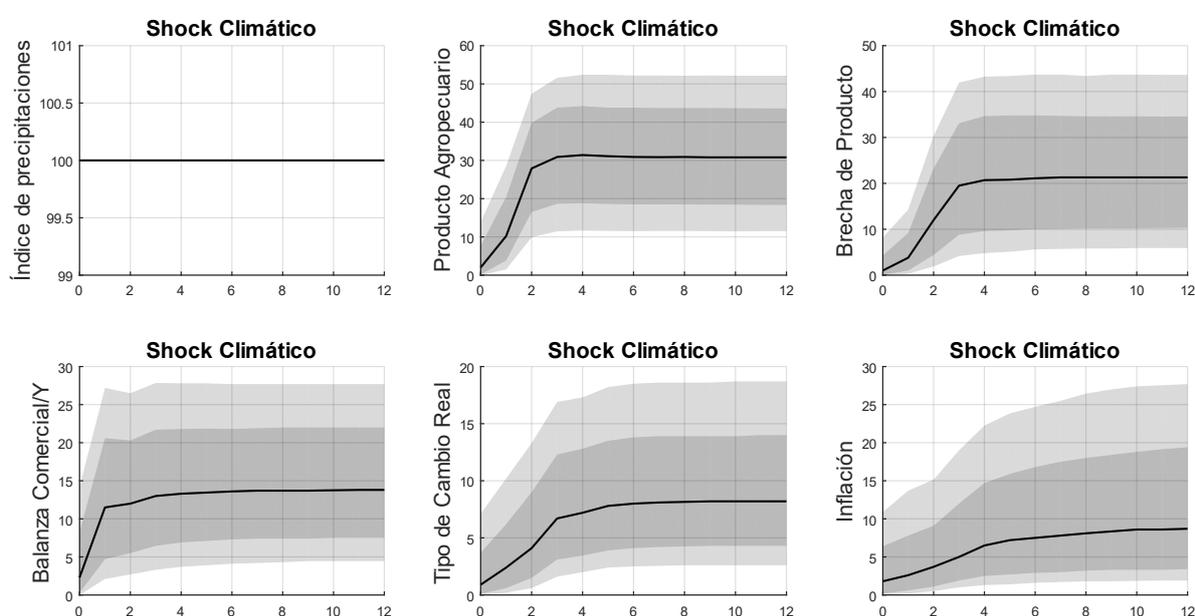


Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico 7 se muestra la descomposición de la varianza del error de pronóstico, la línea color negra muestra la mediana de las estimaciones, el área gris claro representa las estimaciones para un intervalo de confianza del 90% y el área gris oscuro para el 68%. Se puede observar que los *shocks* climáticos explican el 100% de la variabilidad del índice de precipitaciones ponderado por producción agrícola, esto confirma que la variable para identificar las sequías no está influenciada por ningún otro factor que no sea el climático tal como se esperaba. Por otra parte, los *shocks* climáticos, en particular las sequías representan aproximadamente el 30% de la variación en la actividad sectorial y cerca del 21% de la brecha del producto en el corto plazo. Estos resultados son mayores a los hallados por los análisis realizados para otros países emergentes, como el Paraguay, donde las sequías explican el 9,5% de la variación del producto y el 2,9% del ratio balanza comercial – producto (Baéz et al., 2023). Sin embargo, para el caso de Uganda los efectos de las sequías son más severos alcanzando a explicar un tercio de la variación de la brecha de producto y la mitad de la producción agrícola (Okot, 2020).

Cabe destacar, que las sequías explican modestamente las variaciones tanto en el corto como en el largo plazo del resultado de la balanza comercial (14,2%), de la variación del tipo de cambio real (8,4%) y de la tasa de inflación (8,3%). Estos resultados pueden estar asociados a la implementación de políticas monetarias y fiscales ante la presencia de las sequías por parte de las autoridades económicas, al régimen cambiario vigente y también a la coyuntura política e institucional (Akyapi et al., 2022; Noy, 2009).

Gráfico 7. Contribución de los *shocks* climáticos. Descomposición de la varianza del error de pronóstico (FEVD).



Fuente: Elaboración propia

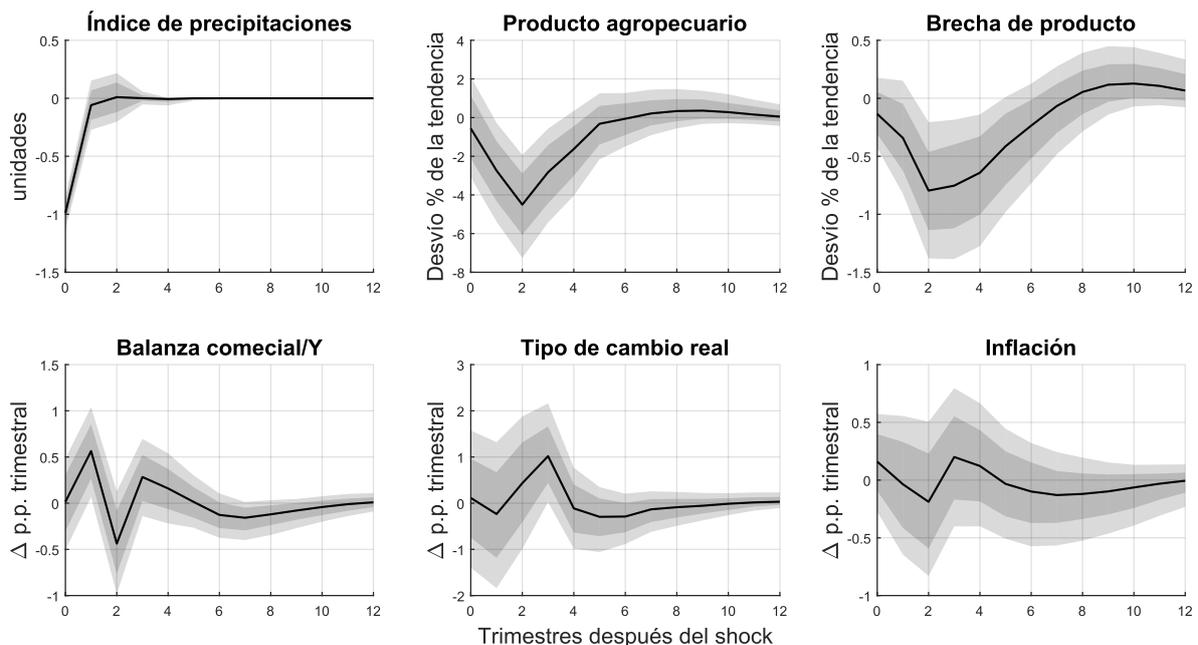
6. Robustez de los resultados

En esta sección se desarrollan tres estimaciones a partir del modelo principal de la sección anterior para analizar la robustez de los resultados. La primera estimación consiste en estudiar la sensibilidad de las respuestas del sistema al período utilizado para la estimación. En el segundo ejercicio de estimación, se utiliza la muestra completa (1 trimestre de 2004 hasta 4to trimestre de 2021) del modelo principal, pero se incluye la variable una variable que tome en cuenta la dinámica de los precios internacionales de los alimentos. Finalmente,

el tercer ejercicio presenta el análisis descomponiendo la balanza comercial en exportaciones e importaciones.

Para analizar la robustez de los resultados, se estima el modelo de la ecuación (1) con la muestra desde el primer trimestre de 2004 hasta el cuarto trimestre del 2019, de esta forma se evita la incorporación de los trimestres en los que ocurrió el *shock* de la pandemia Covid-19 dentro de la estimación que puede introducir cambios notables en los parámetros estimados, en las funciones impulso-respuesta y en la descomposición de la varianza del error de pronóstico (Bobeica y Hartwig, 2021). En el gráfico 8 se presentan los resultados, al igual que en la sección anterior, la línea negra representa la mediana de las estimaciones, el área gris oscuro incluye el intervalo de confianza al 68% y la gris claro el intervalo de confianza al 90%. Las respuestas son cualitativa y cuantitativamente equivalentes a los encontradas en el modelo estimado para el período que abarca desde el primer trimestre de 2004 hasta el último trimestre de 2021, no obstante, la brecha del producto y el producto agropecuario presentan respuestas levemente inferiores a un *shock* negativo de un desvío estándar en las precipitaciones (sequías).

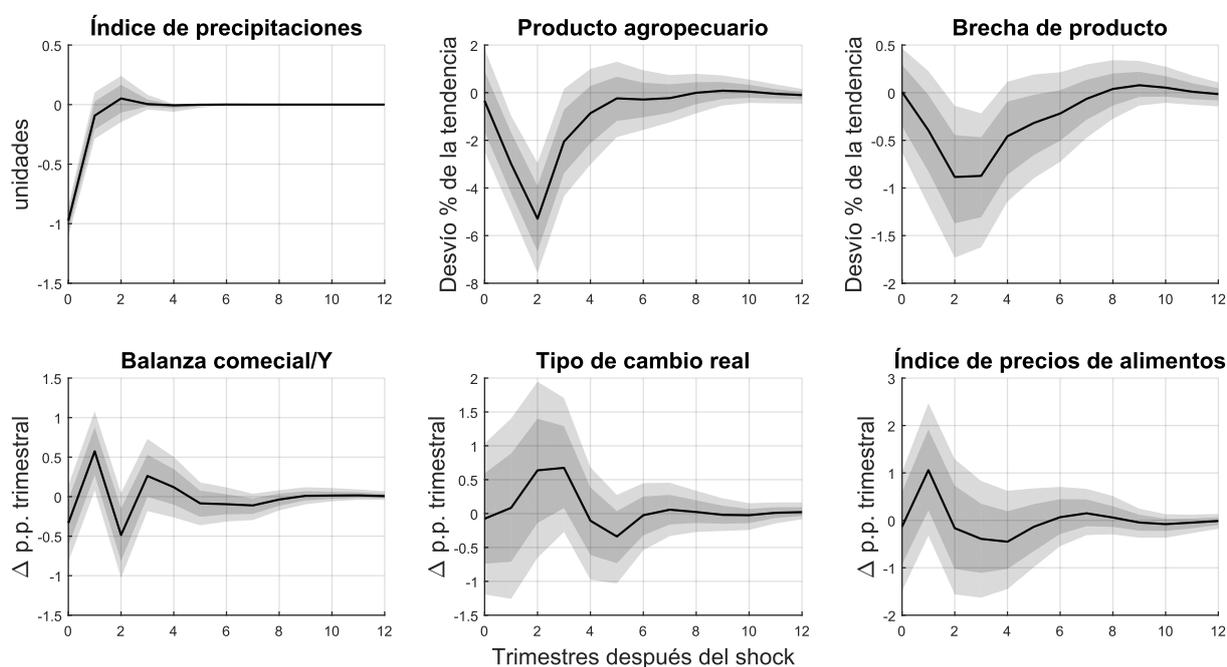
Gráfico 8. Funciones Impulso – Respuesta de un *shock* unitario al índice de precipitaciones (Muestra Primer Trimestre 2004 – Cuarto trimestre de 2019).



Fuente: Elaboración propia.

El segundo ejercicio consiste en incluir el índice de precios de los alimentos elaborado por el Banco Mundial al modelo SVAR estimado para excluir cualquier efecto de precios que pueda compensar la pérdida de producción por la ocurrencia de sequías por ser Argentina un actor importante en el mercado mundial de soja, sus derivados y de maíz. Las funciones impulso-respuesta presentadas en el gráfico 9, muestran que, aunque las sequías puedan incrementar levemente el precio internacional de los alimentos (1 p.p. respecto al trimestre previo con un nivel de confianza del 68%), el impacto de los *shocks* climáticos es negativo y estadísticamente significativo tanto a nivel sectorial (producto agropecuario) como para el resto de la economía (brecha de producto). Con respecto a la respuesta del tipo de cambio real, es estadísticamente significativa a un nivel de confianza del 68%, entre el tercer y cuarto trimestre después del *shock*, aunque la magnitud del impacto muestra una reducción con respecto al modelo principal.

Gráfico 9. Funciones Impulso – Respuesta a un *shock* de un desvío estándar al índice de precipitaciones (índice de precios de los alimentos BM).

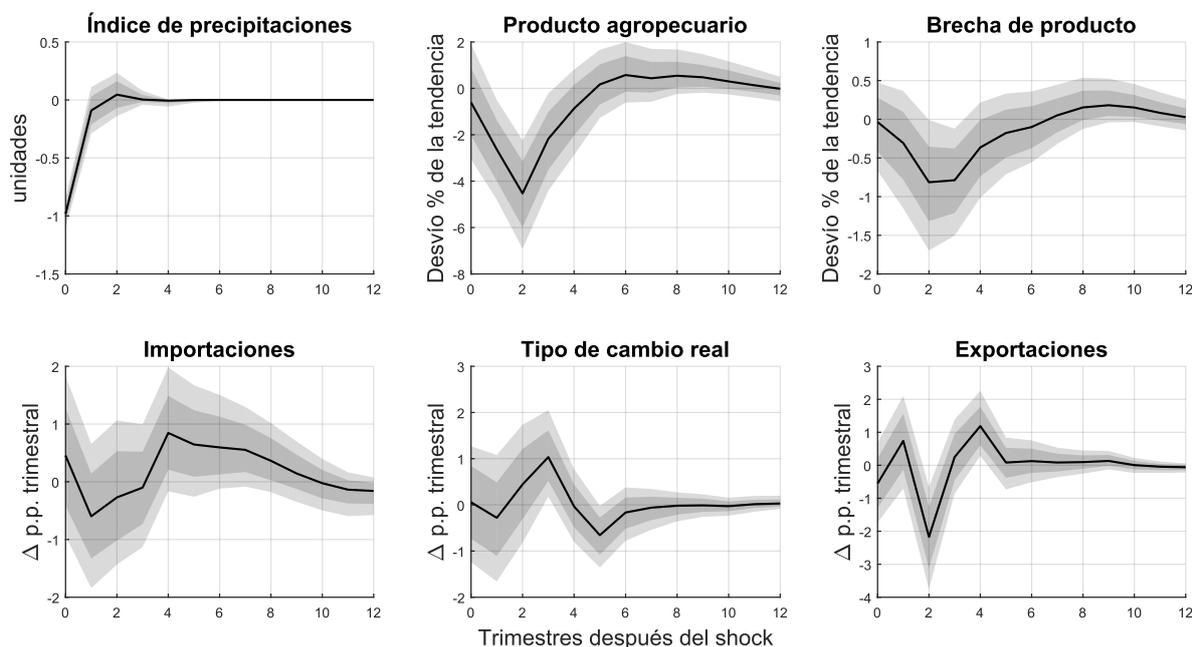


Fuente: Elaboración propia

El tercer ejercicio de robustez consiste en descomponer el efecto de los *shocks* climáticos en la balanza comercial en exportaciones e importaciones. Estas modificaciones permiten analizar la dinámica del comercio exterior frente a las sequías de forma más detallada.

Los resultados obtenidos muestran que las respuestas de la economía a las sequías son cualitativamente similares a las presentadas anteriormente para el producto agropecuario, la brecha de producto y el tipo de cambio real (ver gráfico 10). No obstante, para las dos primeras variables, las respuestas son de menor magnitud. Cabe destacar que, frente al *shock*, las exportaciones se reducen 2 p.p. en el segundo trimestre después del evento y las importaciones muestran una respuesta estadísticamente no significativa. De este modo, si se parte de una situación de equilibrio externo, las sequías pueden conducir a un déficit de balanza comercial.

Gráfico 10. Funciones Impulso – Respuesta a un *shock* de un desvío estándar al índice de precipitaciones (descomposición de la balanza comercial).



7. Conclusiones

En esta tesis se investigó los efectos de los *shocks* climáticos en general y las sequías en particular sobre la economía argentina. Se repasó el estado actual de la literatura y se

resumieron los principales consensos. Luego, se desarrolló la metodología aplicada para responder la pregunta de investigación para lo cual se elaboró un índice de precipitaciones ponderado por producción agrícola de la zona núcleo que fue considerado en la estimación del modelo SVAR con restricciones lineales de exogeneidad en las matrices de coeficientes de forma tal que las variables económicas no tengan efectos sobre la variable climática pero sí, que esta última, afecte a las variables económicas.

Entre los resultados principales se encontró que las sequías tienen un impacto general en la economía y no sólo en las actividades afectadas directamente. Concretamente, los *shocks* climáticos generan una caída del 5,15% en el producto agropecuario (medido a través de su VAB) y del -1,13% en la brecha del producto. En otras palabras, las sequías generan recesiones luego de una contracción del valor agregado bruto del sector agrícola. También se mostró que la variación del tipo de cambio real aumenta frente a los *shocks* climáticos. No obstante, la evidencia empírica generada no permitió afirmar que las sequías incrementen la tasa de inflación.

El aporte de este trabajo se enmarca en la creciente literatura que analiza la interacción entre economía y cambio climático, especialmente en los trabajos que estudian el impacto de la variabilidad climática en la macroeconomía generando evidencia sobre los efectos de las sequías (Akyapi et al., 2022; Gallic y Vermandel, 2020; Okot, 2020) para un país emergente como Argentina con alta dependencia de las exportaciones agrícolas cuyo riesgo principal está vinculado a clima y a los precios (Thomasz et al., 2017; 2019; 2023b).

El avance del cambio climático está acelerando la ocurrencia de eventos climáticos extremos que han aumentado en intensidad y frecuencia. En este contexto, las consecuencias económicas y sociales también muestran un crecimiento que debe ser estudiado para brindar soporte en la toma de decisiones y generar insumos para la elaboración de políticas públicas. Futuras investigaciones deberían explorar en detalle el rol de la política fiscal y generar evidencia sobre la respuesta de la política monetaria a los *shocks* climáticos en general y las sequías en particular. En otras palabras, deberían abordar el rol de la política económica frente a los *shocks* climáticos en Argentina, con especial énfasis en la respuesta que podrían llevar a cabo los gobiernos para poder morigerar las consecuencias económicas de las sequías.

Los resultados obtenidos mediante la metodología aplicada respecto al impacto de las sequías en la economía argentina constituyen un recurso invaluable para los formuladores

de políticas públicas a nivel macroeconómico proporcionando un análisis detallado de cómo las sequías inciden en diversas variables macroeconómicas. Además, ofrece una base sólida para la generación de información a utilizar en la toma de decisiones y la elaboración de estrategias de política económica. Sin embargo, una de las limitaciones de la metodología empleada es que no permite capturar la emergencia de políticas regulatorias en materia cambiaria que pueden incidir en los resultados y los controles de precios que pueden haber jugado un rol importante en la respuesta de la inflación a los *shocks* climáticos. Las conclusiones alcanzadas en este trabajo podrían ser utilizadas para diseñar medidas de mitigación de riesgos macroeconómicos, implementar estrategias de adaptación al cambio climático y asignar recursos de manera más eficiente durante períodos de crisis.

Esta tesis representa un paso significativo hacia la comprensión y abordaje del impacto de los fenómenos climáticos a nivel macroeconómico, especialmente en el contexto de las sequías en Argentina. A menudo, la literatura existente se centra en el análisis microeconómico y medidas de mitigación a nivel micro, sin considerar plenamente las implicancias a escala macroeconómica. Sin embargo, esta investigación establece una línea de base para el diseño de políticas a nivel macroeconómico. Si bien las medidas específicas pueden variar, desde la implementación de un fondo anticíclico de estabilización hasta ajustes en la política tributaria o diseño de instrumentos financieros por parte del Banco Central, la importancia radica en reconocer la necesidad de enfoques más amplios y coordinados que aborden los impactos económicos de la variabilidad climática a nivel nacional.

Bibliografía

Acevedo, S., Mrkaic, M., Novta, N., Pugacheva, E., & Topalova, P. (2020). The Effects of Weather Shocks on Economic Activity: What are the Channels of Impact? *Journal of Macroeconomics*, 65, 103207.

Aguiar, M., & Gopinath, G. (2007). Emerging Market Business Cycles: The Cycle Is the Trend. *Journal of Political Economy*, 115(1), 69-102.

Ahumada, H., & Cornejo, M. (2021). Are Soybean Yields Getting a Free Ride from Climate Change? Evidence from Argentine Time Series Data. *Econometrics*, 9(2), 24. <https://doi.org/10.3390/econometrics9020024>

Akyapi, B., Bellon, M., & Massetti, E. (2022, Julio). Estimating Macro-Fiscal Effects of Climate Shocks from Billions of Geospatial Weather Observations (WP/22/156). IMF Working Paper, Fiscal Affairs Department.

Anlló, G., Kosacoff, B., Ramos, A. (2007): “Crisis, recuperación y nuevos dilemas. La economía Argentina 2002-2007“. En Kosacoff, B. Crisis, recuperación y nuevos dilemas. La economía argentina 2002-2007. CEPAL Buenos Aires. Impreso en Naciones Unidas, Santiago de Chile.

Báez, J., Biedermann, G., & Ruíz Díaz, V. (2023). Drought shocks and the Paraguayan macroeconomy: A Bayesian SVAR Analysis. Editado por el Equipo de Investigación del Banco Central del Paraguay - Estudios Económicos. Disponible en: https://repositorio.bcp.gov.py/bitstream/handle/123456789/195/bm_nro15.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Barros, V., Vera, C., Agosta, E., Araneo, D., Camilloni, I., Carril, A.F., Doyle, M.E., Frumento, O., Nuñez, M., Ortiz de Zárate, M.I., Penalba, O., Rusticucci, M., Saulo, C., & Solman, S. (2014). Tercera Comunicación Nacional Sobre Cambio Climático. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Buenos Aires, Argentina.

Bert, F., Satorre, E. H., Toranzo, F. R., & Podestá, G. (2006). Climatic information and decision-making in maize crop production systems of the Argentinean Pampas. *Agricultural Systems*, 88(2-3), 180-204. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2005.03.007>

- Bloom, N. (Mayo 2009). The Impact of Uncertainty Shocks. *Econometrica*, 77(3), 623-685.
- Bobeica, E., & Hartwig, B. (2021). The COVID-19 shock and challenges for time series models. *ECB Working Paper Series* No. 2558. Recuperado de <https://www.ecb.europa.eu/pub/pdf/scpwps/ecb.wp2558~22b223a7c6.en.pdf>
- Bortz, P. G., & Toftum, N. (2023). Changes in rainfall, agricultural exports and reserves: macroeconomic impacts of climate change in Argentina. *Journal of Environmental Economics and Policy*, 1-16. <https://doi.org/10.1080/21606544.2023.2236987>
- Burke, M., Hsiang, S. M., & Miguel, E. (2015). Global non-linear effect of temperature on economic production. *Nature*, 527(7577), 235-239. doi:10.1038/nature15725.
- CEPAL. (2014). La economía del cambio climático en la Argentina: Primera aproximación. Impreso en Naciones Unidas. Santiago de Chile. Recuperado de <http://www.cepal.org/es/publicaciones/35901-la-economia-del-cambio-climatico-en-la-argentina-primera-aproximacion>
- Cetrángolo, O., Heymann, D., Ramos, A. (2007):” Macroeconomía en recuperación: La Argentina post-crisis”. En Kosacoff, B. Crisis, recuperación y nuevos dilemas. La economía argentina 2002-2007. CEPAL, Buenos Aires. Impreso en Naciones Unidas, Santiago de Chile.
- Cushman, D. O., & Zha, T. (1997). Identifying monetary policy in a small open economy under flexible exchange rates. *Journal of Monetary Economics*, 39(3), 433-448.
- D’Elía, C. (2009): “La economía de la Argentina 2002-2008”, Revista del CEI. 14, pp.43-48. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Ministerio de relaciones exteriores y culto de la República Argentina.
- Damill, M., Frenkel, R. (2009). “Las políticas macroeconómicas en la evolución reciente de la economía Argentina”, Nuevos documentos CEDES, No65. Ciudad autónoma de Buenos Aires. Editado por Buenos Aires. AR; Cedes.
- Dell, M., Jones, B. F., & Olken, B. A. (2012). Temperature Shocks and Economic Growth: Evidence from the Last Half Century. *American Economic Journal: Macroeconomics*, 4(3), 66–95. doi:10.1257/mac.4.3.66.

- Donadelli, M., Jüppner, M., Riedel, M., & Schlag, C. (2017). Temperature Shocks and Welfare Costs. *Journal of Economic Dynamics & Control*. Advance online publication. doi: 10.1016/j.jedc.2017.07.003.
- Drechsel, T., & Tenreyro, S. (2018). Commodity booms and busts in emerging economies. *Journal of International Economics*, 112, 200-218.
- Fomby, T., Ikeda, Y., & Loayza, N. V. (2011). The growth aftermath of natural disasters. *Journal of Applied Econometrics*. doi:10.1002/jae.1273
- Fuje, H., Yao, J., Mo Choi, S. & Mighri, H. (2023b). Fiscal Impacts of Climate Disasters in Emerging Markets and Developing Economies. *IMF Working Paper*, 2023(261), 1. <https://doi.org/10.5089/9798400262913.001>
- Gallic, E., & Vermandel, G. (2020). Weather shocks. *European Economic Review*, 124, 103409.
- Jones, B. F., & Olken, B. A. (2010). Climate Shocks and Exports. *American Economic Review: Papers & Proceedings*, 100, 454–459. doi:10.1257/aer.100.2.454.
- Jordà, Ò. (2005). Estimation and Inference of Impulse Responses by Local Projections. *American Economic Review*, 95 (1): 161-182.
- Kamber, G., McDonald, C., & Price, G. (2013). Drying out: Investigating the economic effects of drought in New Zealand (AN2013/02). Reserve Bank of New Zealand Analytical Note series. ISSN 2230-5505. Reserve Bank of New Zealand, PO Box 2498, Wellington, New Zealand.
- Kilian, L., & Lütkepohl, H. (2017). *Structural Vector Autoregressive Analysis*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108164818>
- Letson, D., Laciana, C. E., Bert, F., Weber, E. U., Katz, R. W., González, X. I., & Podestá, G. (2009). Value of perfect ENSO phase predictions for agriculture: evaluating the impact of land tenure and decision objectives. *Climatic Change*, 97(1-2), 145-170. <https://doi.org/10.1007/s10584-009-9600-8>
- Magrin, G., Gay García, C., Cruz Choque, D., Giménez, J.C., Moreno, A.R., Nagy, G.J., Nobre, C., & Villamizar, A. (2007). Latin America. En *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribución del Grupo de Trabajo II al Cuarto Informe de

Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático. Cambridge University Press.

Murgida, A. M., Travasso, M., González, S., & Rodríguez, G. (2014). Evaluación de impactos del cambio climático sobre la producción agrícola en la Argentina. *Medio Ambiente y Desarrollo*. <https://ideas.repec.org/p/ecr/col039/37197.html>

Neumeyer, P. A., & Perri, F. (Marzo 2005). Business cycles in emerging economies: the role of interest rates. *Journal of Monetary Economics*, 52(2), 345-380.

Noy, I. (2009). The macroeconomic consequences of disasters. *Journal of Development Economics*, 88, 221–231. doi: 10.1016/j.jdeveco.2008.02.004.

Okot, N. (2020). Weather shocks and monetary policy: An empirical DSGE for Uganda (Working Paper No. 27/2020). Bank of Uganda Working Paper Series.

Ortiz de Zárate, M. J., Ramayon, J. J. & Rolla, A. L. (2014). Agricultura y Ganadería: Impacto y vulnerabilidad al cambio climático. Posibles medidas de adaptación. 3era comunicación nacional de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre cambio climático.

PROVUL. (2023). Reporte 1/2023: Estimación pérdidas sequía campaña 2022/23 soja. Sistema de evaluación de pérdidas por sequías e inundaciones. Programa Vulnerabilidad Riesgo Climático, Facultad de Ciencias Económicas, Universidad de Buenos Aires.

Ravelo, A.C., Planchuelo, A.M., Aroche, R., Douriet Cárdenas, J.C., Hallack Alegría, M., Jimenez, R., Maureira, H., Peña Paz, T., Tiscornia, G., Zanvettor, R. and Zimmermann, R. (2016), “Monitoreo y evaluación de las sequías en América Central. Estudio de caso: Corredor seco de El Salvador, Honduras y Nicaragua ‘(serie de E)’”, Publications Office of the European Union,

Sgroi, L. C., Lovino, M. A., Berbery, E. H., & Müller, G. V. (2021). Characteristics of droughts in Argentina’s core crop region. *Hydrology and Earth System Sciences*, 25, 2475–2490. <https://doi.org/10.5194/hess-25-2475-2021>

Thomasz, E. O., Corfield, K., Vilker, A. S., & Osman, M. (2023a). Forecasting soybean production to enhance climate services for Agriculture in Argentina. *Climate Services*, 30, 100341.

Thomasz, E. O., Pérez-Franco, I., & García-García, A. (2024). Assessing the impact of climate change on soybean production in Argentina. *Climate Services*, 34, 100458.

Thomasz, E. O., Vilker, A. S., & Rondinone, G. (2019). The economic cost of extreme and severe droughts in soybean production in Argentina. *Contaduría y Administración*, 64(1), 1-24.

Thomasz, E. O., Vilker, A. S., Pérez-Franco, I., & García-García, A. (2023b). Economic Impact of Droughts in Agricultural Production in Argentina. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, 16(1), 63-90.

Thomasz, E., Rondinone, G., Vilker, A., & Eriz, M. (2017). *El impacto económico de los eventos climáticos extremos en Argentina. El caso de la soja en la zona núcleo ¿Riesgo climático o déficit de infraestructura?* Facultad de Ciencias Económicas, Universidad de Buenos Aires.

Uribe, M., & Schmitt-Grohé, S. (2017). *Open Economy Macroeconomics*. Princeton University Press.

Uribe, M., & Yue, V. Z. (2006). Country spreads and emerging countries: Who drives whom?. *Journal of International Economics*, 69(1), 6-36.

World Bank Group. (2022). *Informe de Clima y Desarrollo de País para Argentina*. Serie CCDR. World Bank, Washington, DC. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10986/38252>.
Licencia: CC BY-NC-ND.

Anexo

Anexo 1. Modelo SVAR con restricciones de exogeneidad lineal

El modelo VAR de forma estructural presentado en el trabajo es:

$$B_0 y_t = c + B_1 y_{t-1} + \dots + B_p y_{t-p} + u_t$$

Para poder estimarlo necesita ser reexpresado en su forma reducida al premultiplicar a ambos lados de la ecuación por B_0^{-1} :

$$y_t = v + A_1 y_{t-1} + \dots + A_p y_{t-p} + \varepsilon_t$$

$$\underbrace{\begin{bmatrix} \text{Índice de precipitaciones}_t \\ \text{Producto agrícola}_t \\ \text{Brecha de Producto}_t \\ TB_t/Y_t \\ RER_t \\ \text{Inflación}_t \end{bmatrix}}_{y_t} = v + \underbrace{\begin{bmatrix} a_1^{11} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ a_1^{21} & a_1^{22} & a_1^{23} & a_1^{24} & a_1^{25} & a_1^{26} \\ a_1^{31} & a_1^{32} & a_1^{33} & a_1^{34} & a_1^{35} & a_1^{36} \\ a_1^{41} & a_1^{42} & a_1^{43} & a_1^{44} & a_1^{45} & a_1^{46} \\ a_1^{51} & a_1^{52} & a_1^{53} & a_1^{54} & a_1^{55} & a_1^{56} \\ a_1^{61} & a_1^{62} & a_1^{63} & a_1^{64} & a_1^{65} & a_1^{66} \end{bmatrix}}_{A_1} \underbrace{\begin{bmatrix} \text{Índice de precipitaciones}_{t-1} \\ \text{Producto agrícola}_{t-1} \\ \text{Brecha de Producto}_{t-1} \\ TB_{t-1}/Y_{t-1} \\ RER_{t-1} \\ \text{Inflación}_{t-1} \end{bmatrix}}_{y_{t-1}} + \dots + A_p y_{t-p} + \varepsilon_t$$

Es importante aclarar que se introdujeron ceros en la matriz de coeficientes en el modelo de forma reducida para dar cuenta de que el índice de precipitaciones puede influir en las variables macroeconómicas pero el índice no puede estar influenciado por variables macroeconómicas.

Los errores del modelo de forma reducida se relacionan con los shocks estructurales del modelo de forma estructural de la siguiente forma:

$$\underbrace{\begin{bmatrix} \varepsilon_t^1 \\ \varepsilon_t^2 \\ \varepsilon_t^3 \\ \varepsilon_t^4 \\ \varepsilon_t^5 \\ \varepsilon_t^6 \end{bmatrix}}_{\varepsilon_t} = \underbrace{\begin{bmatrix} b_0^{11} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ b_0^{21} & b_0^{22} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ b_0^{31} & b_0^{32} & b_0^{33} & 0 & 0 & 0 \\ b_0^{41} & b_0^{42} & b_0^{43} & b_0^{44} & 0 & 0 \\ b_0^{51} & b_0^{52} & b_0^{53} & b_0^{54} & b_0^{55} & 0 \\ b_0^{61} & b_0^{62} & b_0^{63} & b_0^{64} & b_0^{65} & b_0^{66} \end{bmatrix}}_{B_0^{-1}} \underbrace{\begin{bmatrix} u_t^{sequia} \\ u_t^2 \\ u_t^3 \\ u_t^4 \\ u_t^5 \\ u_t^6 \end{bmatrix}}_{u_t}$$

El único shock identificado económicamente es u_t^{sequia} , muestra que un impacto contemporáneo en todas las variables del sistema como se detalla en el cuerpo del trabajo. Finalmente, el modelo de forma reducida puede ser expresado en forma compacta como:

$$y_t = [v, A_1, \dots, A_p]Z_{t-1} + \varepsilon_t$$

Anexo 2. Resultados estimación

La estimación de la matriz A1 resultante al primer rezago es:

0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,93	0,56	-0,08	-0,74	-0,15	0,58
0,46	0,00	0,72	0,00	-0,07	0,18
-0,54	0,02	-0,08	-0,38	0,03	0,14
0,37	-0,09	-0,40	-0,69	0,18	0,11
0,04	-0,04	0,10	-0,20	0,09	0,74

La matriz A2:

-0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,98	0,10	-0,24	-0,22	0,50	-0,60
0,74	0,07	-0,28	-0,39	0,06	-0,27
0,24	-0,10	0,43	0,06	0,06	0,04
-0,55	0,04	0,48	0,02	-0,04	-0,19
0,04	0,00	-0,06	-0,07	-0,08	0,10

Por último, la matriz de varianzas y covarianzas:

1,02	0,38	0,02	0,28	0,00	-0,24
0,38	77,94	9,97	-0,20	-11,15	-0,72
0,02	9,97	7,30	-1,01	1,26	0,52
0,28	-0,20	-1,01	4,67	2,71	0,42
0,00	-11,15	1,26	2,71	35,77	5,44
-0,24	-0,72	0,52	0,42	5,44	4,32