

CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DOCENCIA ECONÓMICAS, A.C.



COMERCIO INTERNACIONAL Y EMISIONES DE CO<sub>2</sub>: UN ANÁLISIS MEDIANTE  
MODELOS DE GRAVEDAD Y SERIES DE TIEMPO

TESINA

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN ECONOMÍA AMBIENTAL

PRESENTA

MARCO ANTONIO LARA RAMÍREZ

DIRECTOR DE LA TESINA: DR. LUIS FERNANDO CASTRO PEÑARRIETA

## **Agradecimientos**

*Este ha sido un largo viaje, en el cual he aprendido muchas cosas nuevas. Sin embargo, no habría podido llegar tan lejos de no haber sido por las personas que me han acompañado.*

*Quiero agradecer en primer lugar a mi asesor, el Dr. Luis Castro, por su gran paciencia, su enorme apoyo académico y personal, así como su disposición para guiarme desde las fases iniciales de este proyecto. También agradezco al Dr. Daniel Ventosa por sus valiosos comentarios y observaciones, que sin duda han enriquecido enormemente este trabajo. Además, a ambos por brindarme un espacio dentro de sus ocupadas agendas y por su disposición a compartir sus conocimientos conmigo.*

*También quiero dar las gracias a cada uno de los profesores de la MAEA por el rigor con el que formaron a la generación junto con la que egreso, así como por sus enseñanzas dentro y fuera del aula. En este camino fueron también importantes los ayudantes de profesores que me brindaron inspiración para continuar en este trayecto, especialmente a Valeria, Salvador y Nadia. También agradezco a la profesora Marta Madej y a los profesores Antonio Alonso, Eduardo Pedroza y Daniel Zizumbo por ofrecerme su amistad y ayuda en tiempos difíciles.*

*Finalmente, aunque no por ello menos importante, quiero dar las gracias a mi familia por su amor, su apoyo incondicional y por brindarme la motivación necesaria para poder continuar en este camino. Por último, quiero agradecer a Luis, mi primo que descubrí en Aguascalientes, por todas las formas en que hizo posible que la maestría fuera un proceso más ameno.*

## **Resumen**

*En este trabajo se analiza el vínculo entre comercio internacional y emisiones de CO<sub>2</sub> para un grupo de 33 economías latinoamericanas. En una primera sección se emplea el modelo de gravedad propuesto por Tiberghien (1962), mientras que en una segunda sección se estima un modelo panel de vectores autorregresivos (VAR). Se incorporan también los efectos de otras variables explicativas como el PIB y la población, entre otras. Como principal objetivo se busca analizar si existe un desplazamiento de emisiones hacia la región y de forma complementaria, si existe un vínculo entre la innovación y la calidad ambiental. Entre los hallazgos se encuentra que América Latina en su conjunto no muestra características de un desplazamiento de emisiones hacia la región y que existe una relación explicativa creciente del comercio hacia las emisiones de CO<sub>2</sub>, aunque esta tiene lugar de forma indirecta a través del PIB.*

*Palabras clave: Comercio internacional, emisiones de CO<sub>2</sub>, modelo de gravedad, modelos VAR*

*Clasificación JEL: C3, F14, F18*

# Contenido

<b>Introducción</b>	<b>1</b>
<b>1 Revisión de literatura</b>	<b>5</b>
<b>2 Datos</b>	<b>10</b>
<b>3 Modelos Econométricos</b>	<b>15</b>
3.1 Modelo de gravedad . . . . .	15
3.2 Modelo de Vectores Autorregresivos (VAR) . . . . .	18
3.3 Justificación de los métodos econométricos empleados . . . . .	20
<b>4 Resultados</b>	<b>22</b>
4.1 Modelo de gravedad . . . . .	22
4.2 Análisis de series de tiempo . . . . .	28
<b>5 Discusión</b>	<b>39</b>
<b>6 Conclusiones</b>	<b>43</b>
Referencias . . . . .	45
<b>Anexos</b>	<b>51</b>

# Lista de figuras

4.1	Condiciones de estabilidad de eigenvalores (Modelo VAR con 5 rezagos) . . . . .	30
4.2	Condiciones de estabilidad de eigenvalores (Modelo VAR con 2 rezagos) . . . . .	32
4.3	Representación gráfica de las funciones impulso respuesta (Modelo VAR con 2 rezagos) . . . . .	36
A.1	Comercio (tasa de crecimiento anual) . . . . .	51
A.2	PIB (tasa de crecimiento anual) . . . . .	52
A.3	Emisiones de CO2 (tasa de crecimiento anual) . . . . .	52
A.4	Cambio poblacional (tasa de crecimiento anual) . . . . .	53

# Lista de cuadros

2.1	Estadísticas descriptivas . . . . .	11
2.2	Grupo de países analizados en el modelo de gravedad . . . . .	12
2.3	Grupo de países analizados en el modelo VAR y fecha de inicio de observaciones . . . . .	13
4.1	Resultados modelos de gravedad . . . . .	23
4.2	Pruebas de correcta especificación para los modelos de gravedad . . . . .	26
4.3	Pruebas de raíces unitarias (variables en tasas de crecimiento) . . . . .	29
4.4	Pruebas de causalidad de Granger (VAR con 5 rezagos) . . . . .	31
4.5	Criterios de información (VAR con 5 rezagos) . . . . .	31
4.6	Resultados VAR (2 rezagos) . . . . .	33
4.7	Pruebas de causalidad de Granger (VAR con 2 rezagos) . . . . .	34
4.8	Descomposición de la varianza (Modelo VAR con 2 rezagos) . . . . .	38
A.1	Resultados VAR (5 rezagos) . . . . .	54
A.2	Coeficientes de las funciones impulso respuesta (Modelo VAR con 2 rezagos) . . . . .	55

# Introducción

¿Tiene la apertura al comercio internacional un efecto positivo en el desempeño medioambiental de los países? ¿O por el contrario, se ha traducido en un impacto negativo en la calidad medioambiental? ¿Cual ha sido el efecto concreto en América Latina y el Caribe?

Un referente en el tema es el trabajo de Antweiler et al. (2001), quienes encuentran que la apertura al comercio internacional sí ha implicado reducciones en las concentraciones de contaminantes, ello debido a los cambios que surgen en la estructura productiva nacional, aunque al mismo tiempo estos hallazgos se limitan únicamente al dióxido de sulfuro, así como a efectos a nivel global. De esta forma, es posible que otros gases como el CO<sub>2</sub>, uno de los principales causantes del cambio climático, no tengan este impacto positivo, o bien que estos resultados no sean los mismos si se analizan los efectos en los países de América Latina.

Dado lo anterior, es necesario destacar algunas particularidades que se presentan en esta región. La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) reconoce que América Latina es un proveedor clave de materias primas a nivel global (OCDE, 2017), y como prueba se tiene que éstas representaron en 2020 el 30.55 % del total de mercancías exportadas desde esta parte del mundo, lo cual contrasta con el promedio global de 9.52 % para las exportaciones de este tipo de productos (Banco Mundial, 2023).

Entre los cinco principales productos que exporta esta región, los tres primeros corresponden a materias primas (petróleo crudo, cobre y soya), mientras que en cuarto y quinto lugar se encuentran Unidades Digitales de Procesamiento (DPU's) para el análisis de datos, así como automóviles, los

cuales junto con otros productos son exportados principalmente a países como Estados Unidos, China, Canadá y Japón. En cambio, la composición de las importaciones es principalmente de bienes transformados, tales como derivados del petróleo, circuitos integrados, transmisores para telecomunicaciones, accesorios para equipos de cómputo y medicamentos (Banco Mundial, 2023).

Cabe destacar también que, el análisis detrás de las razones por las cuales los países deciden comercializar es posiblemente uno de los primeros temas investigados en la teoría económica (Krugman et al., 2018), donde el referente clásico en el estudio del comercio internacional es el trabajo de Heckscher (1919) y Ohlin (1935), quienes desarrollan un modelo basado en la teoría de David Ricardo para explicar los flujos de comercio bilateral a partir de las ventajas comparativas que presentan los países.

En tanto, a nivel empírico, uno de los enfoques más empleados es el modelo de gravedad propuesto por Tinbergen (1962), el cual plantea que el comercio bilateral entre dos países es directamente proporcional al tamaño de sus economías e inversamente proporcional a la distancia entre ambos. Posteriormente se han realizado ampliaciones a este modelo para incorporar el vínculo entre comercio internacional y medioambiente, aunque hasta ahora son limitados los estudios enfocados en América Latina y el Caribe.

Dado lo anterior, en el presente estudio se desarrollará, en una primera parte, un análisis mediante un modelo de gravedad, enfocado el comercio bilateral de esta región con el resto del mundo, en donde además se incorporará una medida de desempeño ambiental mediante las emisiones de CO<sub>2</sub>, partiendo del modelo propuesto por Kahouli y Omri (2017).

En una segunda sección, se lleva a cabo un análisis de series de tiempo, concretamente mediante el enfoque de vectores autorregresivos (VAR) así como pruebas de causalidad de Granger (1969), estimación de funciones impulso-respuesta y la descomposición de la varianza del error. Entre las aportaciones de esta segunda metodología es que permite modelar de forma simultánea el comportamiento de variables en las cuales se presume un alto grado de endogeneidad, además de que es posible analizar el impacto de shocks externos en el desempeño de las variables analizadas,

confiriendo además un carácter predictivo al presente estudio.

Cada uno de estos enfoques permiten obtener resultados desde perspectivas distintas, ya que por una parte el modelo de gravedad brinda información sobre efectos en países de origen y países de destino, aunque dichos resultados se agrupan para un solo estimador que corresponde a todos los periodos analizados. En cambio, al estimar un VAR se pueden conocer los efectos sobre cada una de las distintas variables que se emplean en el análisis, lo cual no es posible con el modelo de gravedad ya que la variable explicada siempre es el comercio bilateral.

De esta forma, el objetivo del presente trabajo es analizar si existe un desplazamiento de emisiones hacia América Latina y el Caribe, dada la existencia de regulaciones estrictas en países de origen, efecto conocido en la literatura como la hipótesis del refugio contaminante (*pollution haven hypothesis*) (Cole, 2004) o si por el contrario, una política ambiental más estricta se traduce en una mayor innovación en materia ambiental, efecto conocido como la hipótesis de Porter (Porter, 1991; Porter y Van der Linde, 1995).

En lo que respecta a la estructura de este trabajo, en el Capítulo 1 se lleva a cabo una revisión de literatura sobre las investigaciones más recientes que analizan el vínculo entre el comercio internacional y las emisiones de CO<sub>2</sub>, tanto desde la óptica del refugio contaminante (*pollution haven*) como desde la hipótesis de Porter.

Posteriormente, en el capítulo 2 se muestran algunas estadísticas descriptivas sobre los datos que se utilizan. Más adelante, en el capítulo 3, se presentan los modelos econométricos que se emplean, dividido a su vez en una subsección para el modelo de gravedad, otra para el modelo VAR, así como una tercera subsección en donde se justifica la utilización de cada uno de estos enfoques.

En el capítulo 4 se presentan los resultados obtenidos, nuevamente con un apartado específico para el modelo de gravedad y otro para el análisis de series de tiempo, ambas con sus correspondientes pruebas de correcta especificación. En la segunda subsección se incluyen además pruebas de causalidad de Granger, así como la estimación de funciones impulso-respuesta y descomposi-

ciones de la varianza para las variables en cuestión.

Finalmente, en el capítulo 5 se lleva a cabo una discusión de estos resultados, mientras que en el capítulo 6 se presentan las conclusiones de este trabajo. Se incluye también una sección de Anexos, los cuales se encuentran al final del documento.

# Capítulo 1

## Revisión de literatura

El informe *Los límites al crecimiento* (Meadows et al., 1972) inicia la discusión sobre el crecimiento demográfico y económico en el contexto de los límites físicos de recursos disponibles en el planeta. Sin embargo, es a partir de los años 90 que estas discusiones empiezan a formar parte de los debates académicos en por lo menos tres líneas de investigación que a continuación se señalan.

La primera es sobre la relación entre medio ambiente y comercio internacional. Esta línea es iniciada por Grossman y Krueger (1991, 1995), quienes analizan los impactos del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) en la calidad ambiental. A partir de lo anterior, ambos autores plantean la hipótesis de la curva ambiental de Kuznets, la cual supone que las etapas iniciales del desarrollo económico son más intensivas en el daño ambiental y posteriormente, a mayor nivel de desarrollo económico, decrece el impacto sobre los recursos naturales.

La segunda es desarrollada por Porter (1991) y Porter y Van der Linder (1995) sobre los impactos de la regulación ambiental en la innovación. La tesis central en esta segunda línea de investigación es que las regulaciones ambientales pueden tener efectos positivos en la productividad y competitividad de las empresas, idea que posteriormente es ampliada por Jaffe y Palmer (1997).

Finalmente, se encuentra la hipótesis del refugio contaminante (*pollution haven* en inglés) propuesta por Dasgupta (2002) y Cole (2004), bajo la cual se argumenta que los países con regulacio-

nes ambientales más estrictas presentan un desplazamiento espacial de sus actividades económicas con mayor intensidad de contaminantes hacia países con regulaciones más laxas que les permiten seguir funcionando.

Dado lo anterior, se presentan a continuación las contribuciones más recientes sobre el vínculo entre comercio internacional y emisiones de CO<sub>2</sub>, considerando también el papel de la regulación ambiental como un impulsor de la competitividad (hipótesis de Porter) o una fuente de desplazamiento de contaminación (hipótesis del refugio contaminante).

Entre los trabajos que analizan los impactos del comercio internacional sobre las emisiones de CO<sub>2</sub> se encuentra el de Cialani (2016), quien lleva a cabo un modelo de corrección de error y cointegración a fin de estudiar la relación entre comercio internacional, ingreso *per cápita* y emisiones de CO<sub>2</sub> entre países miembros y no miembros de la OCDE, además de analizar el sentido de la causalidad de Granger para estas tres variables. La autora encuentra que efectivamente existe un vector de cointegración para estas tres variables, aunque con divergencias estructurales significativas conforme a si los países pertenecen o no a la OCDE.

Otro referente en la literatura reciente sobre este tema se encuentra en el trabajo de Kahouli y Omri (2017), los cuales estiman un modelo de ecuaciones simultáneas en el contexto de un modelo de gravedad en comercio internacional y medioambiente, empleando como variables dependientes el comercio internacional y la inversión extranjera directa sobre una muestra heterogénea de países. Estos autores realizan a su vez una estimación de panel estático y dinámico, en donde encuentran que el efecto de las emisiones sobre el comercio es negativo y significativo, mientras que el impacto de las emisiones sobre la inversión extranjera directa es no significativo.

Destaca también el trabajo de Deng et al. (2020), quienes llevan a cabo un análisis de corrección de error (VEC) y pruebas de causalidad de Granger para conocer la relación entre PIB *per cápita*, emisiones de CO<sub>2</sub> y consumo energético en 10 países de Sudamérica. En dicho trabajo los autores realizan estimaciones individuales por país, con lo cual pueden notar que, a pesar de que existe una relación explicativa entre estas tres variables, los efectos varían de acuerdo al país que se analice.

Por su parte, Vallina-Hernández et al. (2020) efectúan uno de los pocos estudios existentes para América Latina con el enfoque de gravedad. Incluyen regresores como el número de patentes por país, el comercio dentro de una misma industria, así como la participación de las mujeres en la fuerza laboral, sin embargo no incorporan variables de tipo ambiental, lo cual se busca ampliar en el presente trabajo.

Alvarado et al. (2021) no realizan un análisis desde el modelo de gravedad, pero si estudian cómo la calidad ambiental puede ser explicada por el comercio internacional, la innovación y la contribución de la agricultura al PIB, con estimaciones para distintas regiones del mundo, entre las que se incluye América Latina. Estos autores siguen la metodología de cointegración en datos panel, la cual se encuentra dentro de los enfoques de series de tiempo. Entre sus principales hallazgos para América Latina encuentran que existe un vector de cointegración a largo plazo, el cual muestra que la calidad del aire en la región es explicada de forma positiva por la innovación, la contribución de la agricultura al PIB y el comercio internacional.

Sobre el vínculo entre el modelo de gravedad y la Hipótesis de Porter, se encuentran enfoques como el propuesto por Cantore y Cheng (2018), quienes analizan el impacto de patentes e impuestos en las exportaciones de bienes enfocados en la reducción de contaminantes o al uso eficiente de los recursos naturales, denominados por los autores como bienes ambientales. Destacan que la presencia de impuestos verdes reducen las importaciones de bienes medioambientales y favorecen la producción nacional de los mismos, lo cual si bien es señalado por dichos autores como una serie de instrumentos atractivos para promover el desarrollo industrial, existe también una discusión sobre los posibles efectos de la política ambiental como una estrategia para cubrir prácticas de competencia desleal (*dumping*) (Brenton, 2019; Rauscher, 2017)

En tanto, la relación entre emisiones de CO<sub>2</sub> y comercio internacional, ante la cual las energías renovables desempeñan un papel clave, es analizada por Kuik et al. (2019), quienes hacen un análisis mediante un modelo de gravedad, considerando la capacidad instalada para estas energías en distintos países. Entre los efectos encontrados, destacan que, cuando un país tiene una capaci-

dad instalada más desarrollada, ello influye positivamente en sus exportaciones de tecnología en energías renovables, aunque en el caso de la energía eólica los efectos son en mayor magnitud y además son más estables en el tiempo que en el caso de la energía fotovoltaica.

Otros trabajos (Bolea et al., 2020; Duarte et al., 2018) complementan el análisis del modelo de gravedad mediante el uso de una matriz insumo-producto para distintas regiones del mundo. Este enfoque permite trazar con mayor precisión el origen y destino de distintos desplazamientos de emisiones. Si bien en estos estudios no se hacen referencias específicas a América Latina, Duarte et al. (2018) identifican que México es un país de destino para el desplazamiento de emisiones provenientes de exportaciones con origen en Estados Unidos.

Continuando con estudios basados la matriz insumo-producto, Zhang et al. (2019) analizan también desplazamientos de emisiones, aunque enfocados en el comercio entre los países del grupo de los BRICS (Brasil, Rusia, India, China y Sudáfrica). Dado el peso que tiene la economía china a nivel global, la mayoría de los resultados obtenidos se centran en dicho país, aunque los autores presentan también algunos hallazgos para el caso de Brasil, como por ejemplo que este país ocupa el tercer lugar dentro del BRICS en lo que refiere a importaciones chinas intensivas en emisiones, especialmente de sectores como equipo eléctrico y óptico, maquinaria en general, así como equipamiento para transportes y en cambio, ocupa un lugar relativamente bajo en lo que respecta a la intensidad de CO<sub>2</sub> de sus exportaciones, dado que estas son principalmente de insumos agrícolas y productos de industrias ligeras (Zhang et al., 2019).

En el trabajo realizado para Corea del Sur por Kim y Tromp (2021) además del estudio de la matriz insumo producto, los autores llevan a cabo un análisis de descomposición estructural a fin de conocer el vínculo entre emisiones de CO<sub>2</sub> y comercio internacional para ese país. Si bien ello difiere del modelo VAR y la descomposición de la varianza que se realiza en el presente trabajo, ambos enfoques coinciden en poder brindar una imagen más completa sobre dinámicas de carácter estructural donde suceden múltiples interrelaciones.

También en los estudios más recientes sobre la relación entre comercio internacional y emisio-

nes de CO<sub>2</sub>, autores como Yamano y Guilhoto (2020) separan, para países miembros de la OCDE y algunas economías emergentes, tanto los efectos de emisiones con origen en la producción de bienes, como las emisiones explicadas a partir del consumo final, con lo cual argumentan, es posible tener una mejor contabilidad sobre las redes globales de producción y sus impactos medioambientales.

Finalmente, en otras investigaciones enfocadas hacia países en vías de desarrollo, Iheonu et al. (2021) analizan el impacto del crecimiento económico, el comercio internacional y los niveles de urbanización sobre las emisiones de CO<sub>2</sub> en países de África Subsahariana. El enfoque metodológico que siguen parte también del análisis de series de tiempo, aunque los autores lo dirigen hacia una regresión cuantílica, con lo cual pueden estimar los efectos específicos en países con distintos niveles de emisiones.

# Capítulo 2

## Datos

En el cuadro 2.1 se presentan algunas estadísticas descriptivas de las variables a analizar. La principal base de datos utilizada proviene del Centro de Estudios Prospectivos y de Información Internacional (CEPII) y ha sido complementada con información de los Indicadores Mundiales de Desarrollo del Banco Mundial, así como del sitio *Our World in Data* de la Universidad de Cambridge y de fuentes como el Fondo Monetario Internacional y (FMI) la Organización mundial de Comercio (OMC).

La variable dependiente para el modelo de gravedad es el comercio bilateral, el cual consiste en el flujo bilateral de bienes y servicios entre los países  $i$  y  $j$  (suma de importaciones y exportaciones) medido en millones de USD nominales, tal como lo reporta la Dirección de Estadísticas Comerciales del FMI (FMI, 2022).

El Producto Interno Bruto, medido en millones de USD nominales, la población en millones de habitantes, y el número de patentes registradas, provienen de los Indicadores Mundiales del Desarrollo (Banco Mundial, 2022).

Las emisiones de CO<sub>2</sub> se encuentran medidas en millones de toneladas y la variable fue obtenida del sitio *Our World in Data* (Ritchie et al., 2020). Por su parte, la variable contigüidad, detalla si dos países tienen una frontera común, mientras que la variable distancia mide la cantidad

de kilómetros entre las dos ciudades más pobladas de cada país. Estas dos últimas variables son proporcionadas por la herramienta GeoDist del CEPII (CEPII, 2022).

Finalmente, la variable Acuerdo Comercial Regional consiste en una variable *dummy* que indica si dos países cuentan con algún tipo de acuerdo comercial común, de acuerdo a lo reportado por el Sistema de Información en Acuerdos Comerciales Regionales de la OMC (OMC, 2022).

Cuadro 2.1: Estadísticas descriptivas

	Media	Desv. Est.	Min	Max
<b>Países latinoamericanos</b>				
Comercio bilateral ( <i>millones de USD</i> )	135	3,224	0	370,789
PIB ( <i>millones de USD</i> )	53,613	202,986	12	2,476,695
Población ( <i>millones de habitantes</i> )	12	28	0.04	211
Emisiones de CO2 ( <i>millones de toneladas</i> )	28	74	0.004	558
Número de patentes	2,354	5,027	0	30,884
Distancia ciudades más pobladas ( <i>km</i> )	9,556	4,531	6	19,951
Contigüidad ( <i>variable dummy</i> )	0.01	0.10	0	1
Acuerdo comercial regional ( <i>variable dummy</i> )	0.06	0.23	0	1
<b>Datos a nivel global</b>				
Comercio bilateral ( <i>millones de USD</i> )	400	4,460	0	480,689
PIB ( <i>millones de USD</i> )	159,468	878,268	9	21,433,226
Población ( <i>millones de habitantes</i> )	26	104	0.003	1,398
Emisiones de CO2 ( <i>millones de toneladas</i> )	106	508	0.004	10,490
Número de patentes	15,945	79,316	0	1,542,002
Distancia entre ciudades más pobladas ( <i>km</i> )	8,089	4,576	2	19,951
Contigüidad ( <i>variable dummy</i> )	0.02	0.12	0	1
Acuerdo comercial regional ( <i>variable dummy</i> )	0.06	0.23	0	1

Fuente: elaboración propia

Para el modelo de gravedad, la estimación considera todas las variables descritas en el cuadro 2.1 y corresponde a los años 1982 a 2019 para el grupo de 27 países que se presentan a continuación, en el cuadro 2.2.

Cuadro 2.2: Grupo de países analizados en el modelo de gravedad

Argentina	Antigua y Barbuda	Bahamas	Belice	Bolivia
Brasil	Barbados	Chile	Colombia	Costa Rica
Cuba	Rep. Dominicana	Ecuador	Guatemala	Guyana
Honduras	Haití	Jamaica	México	Nicaragua
Panamá	Perú	Paraguay	El Salvador	Trinidad y Tobago
Uruguay	Venezuela			

Fuente: elaboración propia

En cambio, para el modelo VAR en el análisis de series de tiempo, la estimación comprende de 1962 a 2019 para 22 países latinoamericanos, mientras que, para 11 restantes, el análisis empieza en fechas posteriores, aunque concluye también en 2019, ello debido a la disponibilidad de datos, tal como se puede observar en el cuadro 2.3 (la excepción es Venezuela, cuyas observaciones inician en 1962 pero concluyen en 2014). En esta segunda sección se incluyen como variables el PIB, el comercio total desde el país  $i$  (suma de exportaciones e importaciones), las emisiones de CO2 y el crecimiento de la población.

La diferencia del periodo de estudio entre estos dos enfoques se debe a que en el modelo de gravedad, en donde se incluye información sobre el número de patentes, éstas son reportadas desde 1982, lo cual hace que el número de observaciones y en consecuencia, el modelo estimado, inicie desde dicho año. Por otra parte, en el enfoque de series de tiempo se requieren datos con una frecuencia uniforme, es decir que exista el menor número posible de observaciones faltantes (*missing values*) en las variables de estudio. Por lo anterior, en la estimación del modelo VAR no se incluyó el número de patentes ya que es frecuente encontrar valores faltantes en los datos reportados. En ese sentido, con el modelo VAR se reduce parte de la información que se puede

Cuadro 2.3: Grupo de países analizados en el modelo VAR y fecha de inicio de observaciones

Argentina (1963)	Antigua y Barbuda (1978)	Bahamas (1962)
Belice (1962)	Bolivia (1962)	Brasil (1962)
Barbados (1975)	Chile (1962)	Colombia (1962)
Costa Rica (1962)	Cuba (1971)	Dominica (1979)
Rep. Dominicana (1962)	Ecuador (1962)	Granada (1978)
Guatemala (1962)	Guyana (1962)	Honduras (1962)
Haiti (1962)	Jamaica (1962)	San Cristóbal y Nieves (1982)
Santa Lucía (1981)	México (1962)	Nicaragua (1962)
Panamá (1962)	Perú (1962)	Paraguay (1966)
El Salvador (1966)	Suriname (1962)	Trinidad y Tobago (1962)
Uruguay (1962)	San Vicente y las Granadinas (1977)	Venezuela (1962)*

\* Para Venezuela la estimación inicia en 1962, pero concluye en 2014, dada la disponibilidad de datos. En todos los demás países, la estimación del modelo VAR concluye en 2019

Fuente: elaboración propia

obtener ya que no se considera el efecto de las patentes por las razones previamente descritas, pero en cambio se ganan observaciones al considerar los efectos desde 1962 a 2019.

En lo relativo a los valores que exhiben cada una de las variables, se observan diferencias significativas en los valores que toman éstas entre los países latinoamericanos con respecto al resto del mundo, las cuales se señalan a continuación.

En lo que respecta al comercio bilateral, se observa en el cuadro 2.1 que la media anual del flujo entre dos países a nivel global es de 400 millones de USD, mientras que en países latinoamericanos dicha cifra se ubica por debajo de la media con operaciones promedio de 135 millones de USD. El valor máximo desde un país latinoamericano es de 370,789 millones de USD, los cuales corresponden al flujo entre México y Estados Unidos en el año 2019. En tanto, a nivel global, el mayor flujo comercial corresponde a China con Estados Unidos en 2018 con un total de 480,689 millones de USD comercializados entre ambos países.

Con respecto al PIB, se observa también que los países latinoamericanos se ubican por debajo de la media. A nivel global el mayor Producto Interno Bruto corresponde a Estados Unidos en

2019 (21,433,266 millones de USD), mientras que entre los países latinoamericanos el valor más alto corresponde a Brasil en 2011 (2,476,695 millones de USD).

La media de población por país en América Latina y el Caribe se encuentra también por debajo del promedio global. A nivel mundial, la mayor población la reporta China en el año 2019 con 1,398 millones de habitantes, mientras que en América Latina el país más poblado es Brasil, que al año 2019 contaba con 211 millones de habitantes.

En lo que respecta a las emisiones de CO<sub>2</sub>, en el caso de América Latina las emisiones promedio se ubican en cerca de una cuarta parte de las emisiones globales. A nivel mundial el mayor emisor de CO<sub>2</sub> es China con 10,490 millones de toneladas emitidas en 2019, mientras que en América Latina es Brasil con un total de 558 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> emitidas a la atmósfera en el año 2014.

Finalmente, al analizar el número de patentes, nuevamente los países latinoamericanos se encuentran por debajo de la media global. Así, se tiene que China es el país con mayor número de patentes en un año, con 1,542,002 registros en 2019, en tanto que Brasil lidera entre los latinoamericanos con 30,884 patentes registradas en 2013.

# Capítulo 3

## Modelos Econométricos

### 3.1. Modelo de gravedad

El modelo de gravedad en economía internacional tiene sus orígenes en el trabajo seminal de Tinbergen (1962). A partir de este enfoque se plantea que el comercio bilateral entre dos países es directamente proporcional al tamaño de sus economías e inversamente proporcional a la distancia entre ambos.

Su principal ampliación ha sido en la naturaleza del estimador, donde Santos Silva y Teneyro (2006, 2011) han propuesto que, debido a la frecuencia de ceros en las observaciones, es más eficiente utilizar un estimador pseudo-Poisson de máxima verosimilitud (PPML), basándose a su vez el trabajo de Gourieroux et al. (1984).

Otra extensión importante al modelo de gravedad corresponde a la estimación del panel de forma dinámica, lo cual es propuesto inicialmente por Bun y Klaassen (2002), siguiendo a su vez el enfoque de GMM desarrollado por Arellano y Bond (1991) y Arellano y Bover (1995). Se tiene asimismo una variante desde el enfoque de GMM, mediante una especificación estática por variable instrumental, la cual es propuesta por Jochmans y Verardi (2019).

De esta forma, para la parte correspondiente al modelo de gravedad se emplean cuatro modelos

diferentes, cada uno con un tipo de especificación distinta, aunque también comparten todos la linealización del modelo mediante logaritmos a fin de facilitar la lectura de las estimaciones.

Para el primer modelo estático, que corresponden a la especificación por Máxima Verosimilitud Pseudo-Poisson (PPML) el modelo a estimar es el siguiente:

$$\begin{aligned} \ln Com_{ijt} = & \beta_0 + \beta_1 \ln PIB_{it} + \beta_2 \ln PIB_{jt} + \beta_3 \ln Pob_{it} + \beta_4 \ln Pob_{jt} + \beta_5 \ln CO2_{it} \\ & + \beta_6 \ln CO2_{jt} + \beta_7 \ln Pat_{it} + \beta_8 \ln Pat_{jt} + \beta_9 Cont_{ij} + \beta_{10} \ln Dist_{ij} + \beta_{11} AcCom_{ijt} + u_{ijt} \end{aligned} \quad (3.1)$$

Donde la variable dependiente es el comercio bilateral entre los países  $i$  y  $j$  en el tiempo  $t$ . El subíndice  $i$  indica el país de origen, mientras que el subíndice  $j$  indica el país de destino. De esta forma del lado derecho tenemos el intercepto, el PIB del país de origen, el PIB del país de destino, la población del país de origen, la población del país de destino, las emisiones de CO2 del país de origen, las emisiones de CO2 del país de destino, el número de patentes en el país de origen, el número de patentes en el país de destino, así como tres variables bilaterales: contigüidad, distancia y acuerdos comerciales y finalmente el término de error.

Cabe señalar que existe una discusión en la literatura sobre la interacción de los acuerdos comerciales y los flujos de comercio bilateral. Se ha descrito que, los países que firman acuerdos comerciales o que forman parte de uniones monetarias por lo general cuentan ya con un alto nivel de comercio bilateral, pero al mismo tiempo la pertenencia a acuerdos también se traduce en un mayor intercambio comercial, generando así una situación de endogeneidad (Head y Mayer, 2014; Jochmans y Verardi, 2019; Santos Silva y Tenreyro, 2010).

Por lo anterior, para el modelo IV-GMM estimado se busca corregir la endogeneidad presente en la firma de acuerdos comerciales. Así, como instrumentos para esta variable se utilizan: 1) si entre ambos países ha existido alguna relación colonial, 2) si éstos han tenido un colonizador común y 3) si ambos países han sido alguna vez un solo país, ello de acuerdo a lo propuesto

por Egger et al. (2011) y Jochmans y Verardi (2022). Así se tiene que la especificación para este modelo es la siguiente:

$$\begin{aligned} \ln Com_{ijt} = & \beta_0 + \beta_1 \ln PIB_{it} + \beta_2 \ln PIB_{jt} + \beta_3 \ln Pob_{it} + \beta_4 \ln Pob_{jt} + \beta_5 \ln CO2_{it} \\ & + \beta_6 \ln CO2_{jt} + \beta_7 \ln Pat_{it} + \beta_8 \ln Pat_{jt} + \beta_9 Cont_{ij} + \beta_{10} \ln Dist_{ij} + \beta_{11} AcCom_{ijt} + u_{ijt} \end{aligned} \quad (3.2)$$

$$\text{Donde } AcCom_{ijt} = \gamma_1 Col_{ijt} + \gamma_2 ColonizadorComun_{ijt} + \gamma_3 MismoPais_{ijt} + v_{ijt}$$

En tanto, para la parte dinámica, el modelo que corresponde al Método Generalizado de Momentos en una etapa (también llamado GMM en diferencias o Dif-GMM) es:

$$\begin{aligned} \Delta \ln Com_{ijt} = & \Delta \lambda \ln Com_{ijt-1} + \Delta \beta_1 \ln PIB_{it} + \Delta \beta_2 \ln PIB_{jt} \\ & + \Delta \beta_3 \ln Pob_{it} + \Delta \beta_4 \ln Pob_{jt} + \Delta \beta_5 \ln CO2_{it} + \Delta \beta_6 \ln CO2_{jt} \\ & + \Delta \beta_7 \ln Pat_{it} + \Delta \beta_8 \ln Pat_{jt} + \Delta \beta_9 AcCom_{ijt} + \Delta u_{ijt} \end{aligned} \quad (3.3)$$

Esta especificación difiere de la presentada en la ecuación 3.1, ya que en todas las variables se aplica el operador de diferencias  $\Delta$ , el cual incluso da nombre al estimador. Por otra parte puede observarse también que se incluye la variable explicativa con un rezago como un regresor adicional, al tiempo que se suprimen la constante y las variables invariantes en el tiempo como la contigüidad y la distancia, ya que al ser un estimador en diferencias, incluir estas variables genera un problema de multicolinealidad.

En cambio, para el Método Generalizado de Momentos en dos etapas o en sistema (Sys-GMM) el modelo a estimar es:

$$\begin{aligned} \ln Com_{ijt} = & \lambda \ln Com_{ijt-1} + \beta_0 + \beta_1 \ln PIB_{it} + \beta_2 \ln PIB_{jt} \\ & + \beta_3 \ln Pob_{it} + \beta_4 \ln Pob_{jt} + \beta_5 \ln CO2_{it} + \beta_6 \ln CO2_{jt} + \beta_7 \ln Pat_{it} \\ & + \beta_8 \ln Pat_{jt} + \beta_9 Cont_{ij} + \beta_{10} \ln Dist_{ij} + \beta_{11} AcCom_{ijt} + u_{ijt} \end{aligned} \quad (3.4)$$

El cual comparte todos los regresores de la ecuación 3.1, aunque al igual que en el mode-

lo GMM de una etapa, se añade la variable explicativa rezagada como un regresor para aportar dinamismo al modelo.

Finalmente, cabe señalar que en todos los casos, la matriz de varianzas y covarianzas se encuentra agrupada de acuerdo al identificador de cada país latinoamericano, ello a fin de permitir la correlación dentro de cada grupo de observaciones.

### 3.2. Modelo de Vectores Autorregresivos (VAR)

De acuerdo con Abrigo y Love (2016), la especificación general para un modelo VAR en datos panel con un número homogéneo de  $p$  rezagos es la siguiente:

$$Y_{it} = Y_{it-1}A_1 + Y_{it-2}A_2 \dots + Y_{it-p+1}A_{p-1} + Y_{it-p}A_p + X_{it}B + u_i + \varepsilon_{it} \quad (3.5)$$

$$\text{Donde } i \in \{1, 2, \dots, N\}, t \in \{1, 2, \dots, T_i\}$$

En la ecuación anterior  $Y_{it}$  es un vector  $(1 \times k)$  de variables dependientes,  $X_{it}$  es un vector  $(1 \times l)$  de variables exógenas,  $u_i$  y  $\varepsilon_{it}$  son vectores  $(1 \times k)$  de efectos fijos y errores idiosincráticos, respectivamente. En tanto,  $A_1, A_2, \dots, A_{p-1}, A_p$ , de dimensión  $(k \times k)$  y  $B$ , de dimensión  $(l \times k)$ , corresponden a las matrices de parámetros a estimar, para las variables endógenas y exógenas, respectivamente (Abrigo y Love, 2016).

En concreto, la estimación VAR para el presente trabajo consiste en el siguiente sistema de ecuaciones:

$$\begin{aligned} PIB_{it} = & \alpha_{i1}PIB_{i,t-1} + \alpha_{i2}Comercio_{i,t-1} + \alpha_{i3}CO2_{i,t-1} + \beta_{i1}Poblacion_{i,t-1} + \\ & \dots \alpha_{i,n-2}PIB_{i,t-p} + \alpha_{i,n-1}Comercio_{i,t-p} + \alpha_{i,n}CO2_{i,t-p} + \beta_{i,n}Poblacion_{i,t-p} + \varepsilon_{it} \end{aligned} \quad (3.6)$$

$$\begin{aligned}
Comercio_{it} = & \alpha_{i1}Comercio_{i,t-1} + \alpha_{i2}PIB_{i,t-1} + \alpha_{i3}CO2_{i,t-1} + \beta_{i1}Poblacion_{i,t-1} + \\
& \dots\alpha_{i,n-2}Comercio_{i,t-p} + \alpha_{i,n-1}PIB_{i,t-p} + \alpha_{i,n}CO2_{i,t-p} + \beta_{i,n}Poblacion_{i,t-p} + \varepsilon_{it}
\end{aligned} \tag{3.7}$$

$$\begin{aligned}
CO2_{it} = & \alpha_{i1}CO2_{i,t-1} + \alpha_{i2}PIB_{i,t-1} + \alpha_{i3}Comercio_{i,t-1} + \beta_{i1}Poblacion_{i,t-1} + \\
& \dots\alpha_{i,n-2}CO2_{i,t-p} + \alpha_{i,n-1}PIB_{i,t-p} + \alpha_{i,n}Comercio_{i,t-p} + \beta_{i,n}Poblacion_{i,t-p} + \varepsilon_{it}
\end{aligned} \tag{3.8}$$

Siguiendo la notación de la ecuación 3.5 las  $\alpha$  representan los elementos de la matriz  $A$ , la cual contiene los parámetros para las variables endógenas, mientras que las  $\beta$  corresponden a los elementos de  $B$ , que es la matriz de variables exógenas. Dado lo anterior, puede notarse que como variables endógenas se tienen al PIB, al comercio y a las emisiones de CO2, mientras que la población es tratada como una variable exógena.

La principal justificación para tratar el crecimiento poblacional como variable exógena, se debe a que tanto el PIB, como el comercio y las emisiones de CO2 son variables con un fuerte componente económico y que por lo tanto se asume que existe una alta interdependencia entre estas, mientras que la población (y en consecuencia el crecimiento poblacional) es una variable de carácter demográfico y que por lo tanto esta responde a otras dinámicas que pueden ser económicas, pero también sociales, culturales o el avance en el sistema de salud, entre otras. (Bucci, 2015; Mierau y Turnovsky, 2014; Pasinetti, 1993).

Otro elemento a destacar es el número de rezagos, al cual se le ha asignado el índice  $p$ . Para el presente trabajo se estimó primero un modelo con 5 rezagos y posteriormente, a partir de los resultados de criterios de información de Schwarz, Akaike y Hannan-Quinn, el modelo se re-estimó con 2 rezagos, el cual corresponde al análisis más detallado que se realiza en la sección de resultados.

También, al igual que en la sección del modelo de gravedad, la matriz de varianzas y covarianzas se encuentra agrupada de acuerdo al identificador de cada país latinoamericano, ello a fin de permitir la correlación dentro de cada grupo de observaciones.

### **3.3. Justificación de los métodos econométricos empleados**

El uso de un estimador Pseudo Poisson de Máxima Verosimilitud (PPML) en el modelo de gravedad es inicialmente propuesto por Santos Silva y Teneyro (2006). En particular los autores muestran que PPML mejora la estimación en presencia de heteroscedasticidad, ya que OLS tiende a sobre-reportar efectos del pasado colonial o la distancia geográfica.

Un problema adicional que resuelve el estimador de PPML es el número frecuente de ceros que pueden hallarse en la variable dependiente, los cuales corresponden a la ausencia de comercio entre dos países en un determinado año (Santos Silva y Teneyro, 2011). Como alternativa se ha sugerido emplear un estimador de Mínimos Cuadrados no Lineales (NLLS), sin embargo Santos Silva y Teneyro (2006) muestran también que la estimación por NLLS es ineficiente y que requiere asumir cierta distribución sobre los errores, mientras que PPML es más eficiente y consistente, incluso cuando la función de varianza no se encuentra correctamente especificada.

Un problema que PPML no resuelve y que resulta además importante en el contexto del modelo de gravedad es el de la endogeneidad. Un estimador de Variable Instrumental (IV) por OLS es consistente aunque ineficiente en presencia de heteroscedasticidad, ante lo cual un estimador de IV por GMM aumenta la eficiencia (Baum et al., 2003).

Sin embargo, cabe destacar que una estimación de IV por GMM es susceptible al sesgo por muestras finitas, el cual sucede especialmente cuando los instrumentos empleados son débiles. En cambio, en el estimador GMM dinámico que a continuación se describe, este problema logra solventarse al aplicar diferencias y remover efectos individuales (Bond y Windmeijer, 2002).

En este sentido, el estimador de GMM en diferencias propuesto por Arellano y Bond (1991) toma las primeras diferencias de la especificación inicial y posteriormente estima esta transformación por GMM, mientras que en la extensión planteada por Arellano y Bover (1995) se calcula un sistema con dos ecuaciones, que consiste en la versión sin transformar y la versión en primeras diferencias, es decir, se construye un estimador GMM en dos etapas (Roodman, 2009).

Ambos estimadores (Dif-GMM y Sis-GMM) funcionan en situaciones donde: 1) el número de individuos es mayor que el número de periodos en el tiempo,<sup>1</sup> 2) la variable dependiente es dinámica, por lo que depende de sus propios valores pasados, 3) las variables dependientes no son estrictamente exógenas, 4) dentro de las observaciones de cada individuo hay sospecha de autocorrelación serial y de heteroscedasticidad y 5) se asume que los mejores instrumentos disponibles se encuentran ya especificados en el modelo (Roodman, 2009).

Una ventaja del modelo de gravedad, en cualquiera de las 4 especificaciones aquí señaladas, es que permite conocer los efectos sobre el comercio internacional a partir de una serie de variables que diferencian entre valores para los países de origen y valores para los países de destino. Sin embargo, el estimador que se obtiene (salvo en el caso de los modelos GMM en una y dos etapas, aunque también de forma limitada), no brinda información sobre como dichos efectos pueden no ser inmediatos, sino que se dan con cierto rezago en el tiempo.

Dado lo anterior, una de las principales ventajas de los modelos de series de tiempo es que estos permiten incorporar rezagos en las variables explicativas y de esta forma conocer que tan inmediatos o rezagados son los efectos sobre la variable dependiente.

De manera adicional a lo anterior, un modelo VAR al ser un sistema de ecuaciones simultáneas, permite modelar relaciones entre múltiples variables de las cuales se sospecha un alto grado de endogeneidad, pero al mismo tiempo permitiendo incorporar el efecto de variables exógenas sobre este sistema.

Finalmente y como se verá también más adelante, a partir de los modelos VAR es posible obtener información adicional, como la estimación de Funciones Impulso Respuesta (IRF), las cuales permiten plantear escenarios sobre el comportamiento de una determinada variable ante un shock externo en otra variable dentro del modelo, o bien estimar la descomposición de la varianza del error predicho (FEVD), la cual ayuda a conocer el poder predictivo de una variable sobre otra.

---

<sup>1</sup> Tal como se señaló en la sección de datos, en el presente trabajo, la  $T$  para el modelo de gravedad va del año 1980 a 2019 (39 periodos), mientras que la  $N$  consiste en 6,864 pares de países.

# Capítulo 4

## Resultados

### 4.1. Modelo de gravedad

En el cuadro 4.1 se presenta el resultado de los 4 modelos estimados para esta subsección, teniendo como base las relaciones comerciales del América Latina consigo misma y con el resto del mundo. Debe recordarse que cuando se hace referencia a países de origen en el modelo de gravedad, el texto refiere al grupo de países latinoamericanos señalados en el cuadro 2.2, mientras que los países destino comprenden tanto al grupo anterior como al resto de países reportados en las estadísticas comerciales del FMI, los cuales ascienden a un total de 208.

Para el caso del PIB de origen, en las dos estimaciones estáticas (PPML y IV-GMM) se observa un signo negativo, es decir que a medida que el producto en el país de origen aumenta, disminuyen sus flujos de comercio bilateral. En cambio, en una de las dos estimaciones dinámicas (Sis-GMM) se observa un signo positivo, es decir que el comercio bilateral se incrementa a medida que aumenta el PIB en los países de origen, efecto que puede deberse a que en los modelos dinámicos se incluye la variable dependiente rezagada.

En lo que respecta al PIB del país de destino, se tiene que a medida que éste incrementa, aumenta también el comercio bilateral de los países latinoamericanos hacia sus socios comerciales.

Cuadro 4.1: Resultados modelos de gravedad

	(PPML)	(IV-GMM)	(Dif-GMM)	(Sis-GMM)
LogPIB (origen)	-0.016* (0.009)	-0.375** (0.156)	0.178 (0.118)	0.344*** (0.112)
LogPIB (destino)	0.052*** (0.005)	0.727*** (0.086)	1.436*** (0.159)	0.659*** (0.129)
LogPoblación (origen)	0.029** (0.012)	0.414*** (0.147)	-2.331 (1.793)	0.748*** (0.272)
LogPoblación (destino)	-0.001 (0.003)	-0.001 (0.038)	0.767 (2.562)	0.035 (0.244)
LogEmisiones de CO2 (origen)	0.002 (0.013)	0.280 (0.202)	0.015 (0.329)	-0.772*** (0.236)
LogEmisiones de CO2 (destino)	-0.002 (0.005)	0.004 (0.066)	-0.600 (0.594)	0.319 (0.317)
LogPatentes (origen)	0.063*** (0.012)	0.899*** (0.150)	0.163* (0.097)	0.183*** (0.068)
LogPatentes (destino)	0.018*** (0.004)	0.282*** (0.059)	0.065 (0.216)	-0.035 (0.136)
LogDistancia	-0.113*** (0.008)	-1.611*** (0.145)		-0.704 (0.454)
Contigüidad	-0.011 (0.013)	-0.494 (0.320)		8.612*** (2.611)
Acuerdo Comercial Regional	0.026** (0.012)	1.819*** (0.615)	-0.509* (0.285)	-0.969*** (0.208)
L1.LogComercio total			0.072* (0.039)	0.335*** (0.023)
Constante	2.250*** (0.111)	10.082*** (1.724)		-8.873* (4.900)
Observaciones	41702	41702	30668	38846

Errores estándar entre paréntesis

\*  $p < 0,10$ , \*\*  $p < 0,05$ , \*\*\*  $p < 0,01$

Fuente: elaboración propia

Lo anterior implica que, el flujo de comercio internacional es mayor a medida que aumenta el tamaño de una economía, de forma que el efecto es más contundente cuando se analiza el PIB del país de destino, a diferencia del PIB de origen.

La población del país de origen tiene también un efecto positivo y significativo en el flujo comercial bilateral, lo cual implica que a medida que aumenta la población en países de América Latina, existe una mayor demanda por productos que se producen en el exterior y de la misma forma, aumenta el flujo de bienes que los países latinoamericanos ofrecen a sus socios comerciales.

Para el caso de la población en países de destino no se obtienen resultados significativos en los cuatro modelos especificados, por lo que puede concluirse que este factor no desempeña un papel preponderante en el comercio bilateral de los países latinoamericanos.

En lo que respecta a las emisiones de CO<sub>2</sub>, estas no resultan significativas en la mayoría de los modelos estimados, tanto en países de origen, como de destino. Únicamente se obtiene un resultado significativo en el modelo Sis-GMM para las emisiones de origen, presentándose un signo negativo, aunque cabe destacar que este resultado no es suficientemente robusto ya que se observa únicamente en una de cuatro especificaciones.

Para el caso de las patentes en los países de origen, estas tienen un efecto positivo y significativo en los cuatro modelos estimados. Lo anterior implicaría que, a medida que aumenta el número de patentes en los países latinoamericanos, su flujo comercial aumenta. Este resultado es también consistente con la Hipótesis de Porter, ya que se observa que la innovación (medida a través del número de patentes) tiene un efecto positivo en la competitividad (medida mediante el comercio bilateral).

En lo relativo a las patentes en el lugar de destino, se observa en dos de cuatro modelos estimados, que a medida que estas aumentan, también aumenta el comercio bilateral, lo cual significa que el flujo comercial se ve también beneficiado por la innovación en los países de destino.

En lo que respecta a la distancia, se obtienen resultados consistentes con lo esperado en un modelo de gravedad, ya que, a medida que aumenta la distancia entre dos socios comerciales,

se observa que el intercambio tiende a disminuir, puesto que con ello se aumentan los costos de transacción.

Compartir frontera con un socio comercial, en el caso de los países latinoamericanos no se traduce necesariamente en mayor comercio, ya que solo se observan efectos significativos en uno de cuatro modelos estimados. Lo anterior puede deberse a que los países de la región son posibles competidores en el entorno global, ya que al compartir frontera pueden compartir características físicas que determinan los productos que se comercializan, especialmente cuando se trata de materias primas.

Por otra parte, existen divergencias en cuanto a los efectos de los acuerdos comerciales, ya que en dos de los modelos estimados (PPML y IV-GMMs) se observan efectos positivos, mientras que en otros dos (Sis-GMM y Dif-GMM) se observan efectos negativos. Existen al respecto dos posibles interpretaciones, la primera es de carácter metodológico, ya que los signos positivos se encuentran en los modelos estáticos, mientras que los signos negativos corresponden a los modelos dinámicos, por lo que es posible que esta divergencia se deba a la naturaleza de los estimadores y a la inclusión de la variable dependiente rezagada en los modelos dinámicos. Sin embargo, una posible segunda explicación puede atribuir estas diferencias a los acuerdos regionales en específico, ya que es posible que la membresía a algunos bloques comerciales si favorezca el comercio bilateral, mientras que en otros el efecto sea contraproducente.

Finalmente, cuando se agrega la variable explicativa rezagada se observan efectos significativos y positivos en las dos especificaciones que la incluyen, por lo cual puede concluirse además que el comercio bilateral en el tiempo presente está siendo explicado por los niveles de comercio que se observan, por lo menos, en un año anterior. Este resultado además de ser relevante para el modelo de gravedad, también permite realizar la conexión con el modelo VAR, ya que en este se incorporan rezagos en las variables explicativas.

Adicionalmente, en el cuadro 4.2 se presentan los resultados de las pruebas de correcta especificación de los modelos presentados, concretamente la prueba Hansen, la F de instrumentos débiles

y la condición de ortogonalidad para el modelo IV-GMM, mientras que para los modelos de GMM dinámico se realizan pruebas de autocorrelación serial del orden 1 al 6, así como las pruebas de Sargan y Hansen.

Cuadro 4.2: Pruebas de correcta especificación para los modelos de gravedad

	(IV-GMM)	(Dif-GMM)	(Sis-GMM)
AR(1)		-8.89***	-15.19***
AR(2)		-2.75***	1.27
AR(3)		-1.18	0.18
AR(4)		-0.24	0.23
AR(5)		-1.28	-0.98
AR(6)		-1.47	-0.83
Prueba Sargan		1006.89***	1551.83***
Prueba Hansen	19.03***	386.50***	471.00***
Instrumentos débiles (F robusta)	8.97***		
Condición de ortogonalidad ( $\chi^2$ )	0.70		

\*  $p < 0,10$ , \*\*  $p < 0,05$ , \*\*\*  $p < 0,01$

Fuente: elaboración propia

Para las pruebas de autocorrelación serial la hipótesis nula es la no presencia de autocorrelación. Con respecto a las pruebas Sargan y Hansen la  $H_0$  es que las restricciones de sobreidentificación son válidas. Por otra parte, al probar instrumentos débiles, si el valor obtenido por la F robusta es menor a 10, nos encontramos en presencia de instrumentos débiles (Cameron y Trivedi, 2010). Finalmente, para la condición de ortogonalidad la hipótesis nula es que la variable instrumentada es exógena.

Iniciando con el modelo IV-GMM, al observar la F robusta para los instrumentos empleados, se identifica un valor menor a 10 por lo que nos encontramos en presencia de instrumentos débiles. Tal como se señaló en la sección anterior, la variable a instrumentar es si los países tienen firmado algún

acuerdo comercial en común, mientras que los instrumentos empleados son: 1) si entre ambos países ha existido alguna relación colonial, 2) si éstos han tenido un colonizador común y 3) si ambos países han sido alguna vez un solo país, de acuerdo a lo propuesto por Egger et al. (2011) y Jochmans y Verardi (2022). La principal justificación para el uso de estos instrumentos es que brindan información sobre la decisión de los países de formar o no parte de acuerdos comerciales, en especial sobre elementos históricos que pueden tener un impacto en la decisión de participar en un bloque comercial, pero que al mismo tiempo no explican el comercio bilateral en el presente (Egger et al., 2011; Gokmen et al., 2020).

Si junto con lo anterior se observa el resultado de la prueba sobre la condición de ortogonalidad, se tiene que la firma de acuerdos comerciales es una variable exógena. Este resultado es consistente con lo hallado por Jochmans y Verardi (2022), quienes concluyen después de probar con distintos tipos de instrumentos que no hay evidencia de endogeneidad en esta variable en el modelo de gravedad. Asimismo, como puede observarse en el cuadro 4.1, si se compara el modelo PPML con IV-GMM, las variables significativas y sus signos son los mismos, lo cual respalda la ausencia de endogeneidad para esta variable en particular, aunque como se verá más adelante, la endogeneidad continúa presente en el modelo mediante otras variables. De esta forma, se puede concluir que los acuerdos comerciales son explicativos del comercio bilateral, pero no así en el sentido contrario.

En lo que respecta a las pruebas de autocorrelación serial para los modelos dinámicos, observamos que para el estimador GMM de una etapa (Dif-GMM) la autocorrelación serial es significativa en el primer y segundo orden y posteriormente pierde significancia, mientras que en el estimador de dos etapas (Sis-GMM) la autocorrelación es significativa únicamente en el primer periodo.

Lo anterior se explica por la naturaleza de los estimadores y por el tipo de instrumentos que se emplean, dado que, en el caso del estimador de una etapa, se utiliza como instrumento la diferencia de la variable dependiente rezagada un periodo ( $\Delta y_{t-1}$ ), lo cual hace que, si el modelo se encuentra correctamente especificado, la correlación serial sea persistente hasta el segundo periodo. Para el caso del estimador en dos etapas el instrumento utilizado es el mismo, pero como se emplea en la

primera etapa la versión sin transformar y en la segunda la versión en diferencias de la ecuación especificada, ello hace que la autocorrelación serial solo sea significativa en el primer periodo.

Con respecto a las pruebas Sargan y Hansen, nuevamente, se rechaza la  $H_0$  de que las restricciones de sobre-identificación son válidas. Sin embargo, las pruebas de autocorrelación serial indican que el modelo se encuentra correctamente especificado. Existe en este sentido una discusión por parte de Parente y Santos Silva (2012), quienes señalan que la validez de las restricciones de sobre-identificación no es condición necesaria ni suficiente para la validez de las condiciones de momentos, dado que lo anterior ofrece además poca información sobre si los instrumentos están o no correlacionados con el error.

## **4.2. Análisis de series de tiempo**

El primer paso para la estimación de un modelo VAR consiste en la realización de pruebas de raíces unitarias para conocer el orden de integración de las variables y determinar si estas son estacionarias, es decir que tienen una media constante y una varianza que no depende del tiempo. Para el caso de la presente investigación se realizaron las pruebas de Im, Persaran y Shin (2003) las cuales son específicas para series de tiempo en panel, así como las pruebas de Dickey Fuller Aumentada (ADF) y Phillips-Peron en su versión para datos panel propuesta por Choi (2001).

Todos estos resultados se muestran a continuación en el cuadro 4.3. Cabe destacar que para todas las pruebas listadas anteriormente, la hipótesis nula es que, para la serie en cuestión, en sus valores para todos los individuos del panel, se presentan raíces unitarias, es decir, que son series no estacionarias.

Tal como puede observarse, las cuatro series analizadas (PIB, Comercio total, CO2 y crecimiento poblacional) cumplen con ser variables estacionarias sin diferenciar, es decir que son series del tipo  $I(0)$ . Como referencia adicional, en las figuras A.1 a la A.4 en la sección de anexos se muestra el comportamiento gráfico de cada una de estas series.

Cuadro 4.3: Pruebas de raíces unitarias (variables en tasas de crecimiento)

Variable	Im, Pesaran y Shin		Dickey–Fuller Aumentada		Phillips-Perron	
	Constante	Constante y tendencia	Constante	Constante y tendencia	Constante	Constante y tendencia
PIB	-21.6525***	-22.4348***	-13.7886***	-11.5378***	-28.1985***	-26.2961***
Comercio	-23.8520***	-24.5820***	-16.8739***	-15.3979***	-31.7216***	-30.0054***
CO2	-27.6905***	-28.7274***	-17.1563***	-16.5663***	-38.4404***	-37.4824***
Población	-10.5985***	-11.4170***	-12.1793***	-10.7517***	-16.9947***	-14.7021***

\*  $p < 0,10$ , \*\*  $p < 0,05$ , \*\*\*  $p < 0,01$

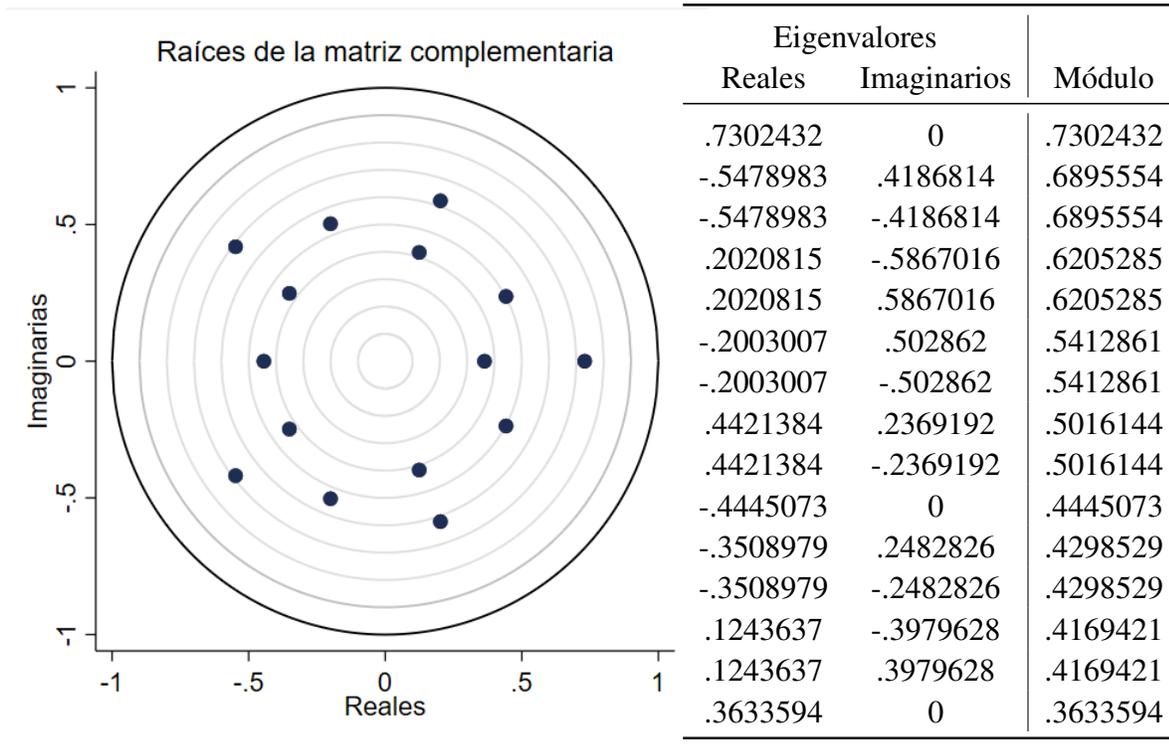
Fuente: elaboración propia

Una práctica recurrente en la estimación de modelos VAR consiste en realizar una primera estimación del modelo con un número dado de rezagos para posteriormente verificar si dicho número de rezagos es el más eficiente y en caso de ser necesario, re-estimar el modelo en el óptimo.

Inicialmente se estimó un modelo VAR con 5 rezagos, del cual se presentan algunos resultados complementarios como la condición de estabilidad del modelo (Figura 4.1), así como las pruebas de causalidad de Granger obtenidas a partir de dicho VAR (Cuadro 4.4). Como se verá más adelante, el número óptimo de rezagos tuvo que reducirse a 2, por lo que los resultados completos para la estimación del modelo VAR con 5 rezagos se presentan en el cuadro A.1 en la sección de Anexos.

Iniciando con la condición de estabilidad, de acuerdo con Lütkepohl (2005) si todos los eigenvalores de la matriz complementaria en la estimación de un VAR tienen un módulo menor a 1, entonces el VAR en cuestión es un modelo estable, lo cual significa que sus resultados son estacionarios y que por lo tanto, este puede emplearse correctamente para hacer inferencia. Tal como puede observarse en la figura 4.1 para el modelo VAR con 5 rezagos, se cumplen las condiciones de estabilidad necesarias.

Figura 4.1: Condiciones de estabilidad de eigenvalores (Modelo VAR con 5 rezagos)



Fuente: elaboración propia

En lo que respecta a las pruebas de causalidad de Granger para el modelo VAR con 5 rezagos, estas se presentan en el cuadro 4.4. A partir de estos resultados, se puede inferir que la naturaleza del modelo a estimar es altamente endógena, dado que existen bidireccionalidades (*feedbacks*) en todos los sentidos, lo cual a su vez justifica el empleo de un modelo de tipo VAR.

Cabe aclarar que las pruebas de causalidad de Granger se limitan a evaluar la capacidad predictiva de una serie sobre otra, es decir la existencia de precedencia de la serie A sobre la serie B, por lo que su interpretación debe realizarse en este sentido.

En lo que respecta al número óptimo de rezagos, los resultados se presentan en el cuadro 4.5. De acuerdo con Abrigo y Love (2016) el primer criterio a tener en cuenta es el J-pvalue, el cual corresponde a la prueba Hansen de sobreidentificación ( $H_0$ : las restricciones de sobreidentificación son válidas). Por lo anterior, debe elegirse aquel modelo con J-pvalue mayor a 0.05, ya que en caso

contrario es posible que el modelo no se encuentre correctamente especificado.

Cuadro 4.4: Pruebas de causalidad de Granger (VAR con 5 rezagos)

Variable explicativa	Variable explicada	$\chi^2$
Comercio	PIB	10.003*
CO2	PIB	42.100***
Comercio + CO2	PIB	55.155***
PIB	Comercio	28.356***
CO2	Comercio	13.540**
PIB + CO2	Comercio	103.876***
PIB	CO2	31.629***
Comercio	CO2	23.473***
PIB + Comercio	CO2	84.974***

\*  $p < 0,10$ , \*\*  $p < 0,05$ , \*\*\*  $p < 0,01$

Fuente: elaboración propia

Cuadro 4.5: Criterios de información (VAR con 5 rezagos)

Rezagos	J-pvalue	BIC	AIC	HQIC
1	0.000	-229.218	7.883	-80.641
2	0.840	-234.067	-44.385	-115.205
3	0.639	-172.423	-30.163	-83.277
4	0.678	-116.088	-21.247	-56.657
5	0.914	-61.461	-14.040	-31.745

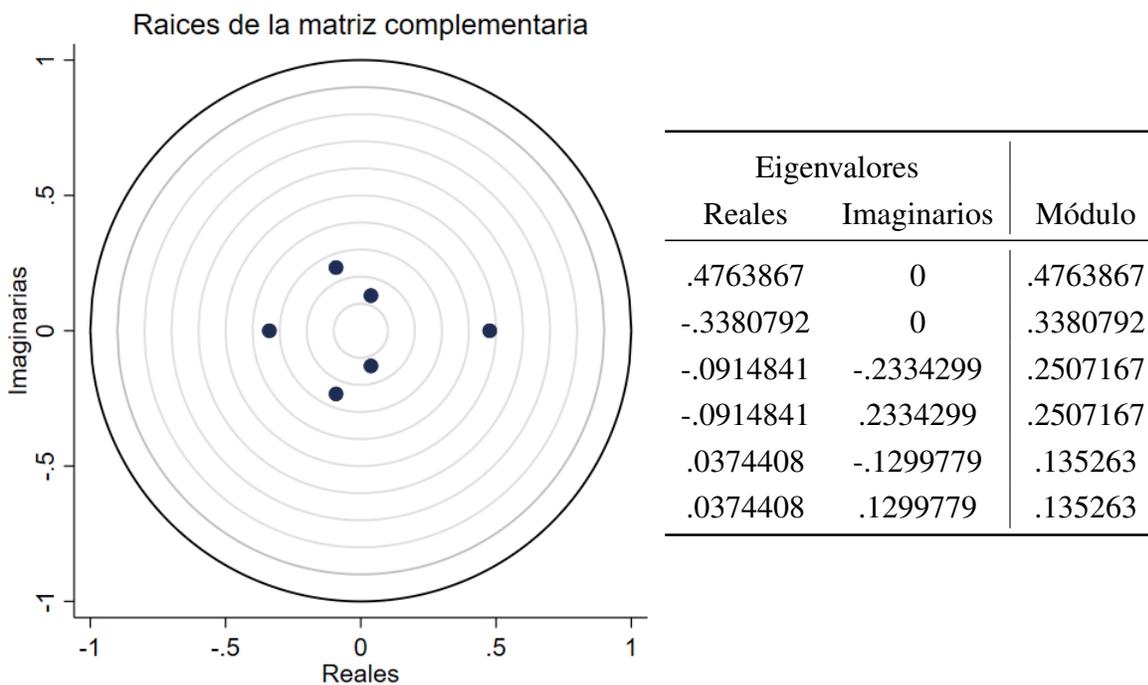
Fuente: elaboración propia

Como puede observarse en el cuadro 4.5 el modelo con un rezago no puede ser elegido, ya que su J-pvalue es menor a 0.05. Quedan por lo tanto como posibles modelos aquellos de 2 a 5 rezagos. En los criterios de Schwarz (BIC), Akaike (AIC) y Hannan-Quinn (HQIC) se busca el coeficiente con el menor valor, por lo que el modelo VAR con 2 rezagos es el óptimo.

Dado lo anterior, a continuación se presenta la reestimación del VAR, en esta ocasión con 2 rezagos. Puede observarse en la figura 4.2 que este modelo cumple también con las condiciones

de estabilidad, ya que todos los eigenvalores tienen un módulo menor a 1, por lo que el modelo es válido para hacer inferencia y plantear escenarios.

Figura 4.2: Condiciones de estabilidad de eigenvalores (Modelo VAR con 2 rezagos)



Fuente: elaboración propia

De esta forma, en el cuadro 4.6 se muestran estos nuevos resultados, los cuales se utilizan como base en todo lo que resta de esta sección. Debe recordarse además, que un modelo VAR consiste en un sistema de ecuaciones, por lo que los coeficientes se estiman de forma simultánea para todas las variables que forman parte del modelo. Sin embargo, para fines de facilitar la lectura se desglosan los resultados considerando cada una de las variables endógenas como variables dependientes.

Cuando el PIB es la variable dependiente, se observa en el cuadro 4.6 que el propio PIB con un rezago tiene un carácter explicativo con un signo positivo, pero no así para el segundo rezago. Con respecto al comercio como variable explicativa, tanto el primer como el segundo rezago tienen un efecto positivo y significativo sobre el PIB. Para el caso de las emisiones de CO<sub>2</sub>, estas tienen un

impacto sobre el PIB únicamente en el segundo rezago. Finalmente en el caso de la población, que por ser una variable exógena se estima sin rezagos, se obtiene un resultado significativo pero negativo sobre el PIB.

Cuadro 4.6: Resultados VAR (2 rezagos)

	Variable dependiente		
	PIB	Comercio	CO2
L1.PIB	0.191*** (0.036)	0.349*** (0.110)	0.153*** (0.031)
L2.PIB	0.042 (0.032)	0.166* (0.092)	0.008 (0.034)
L1.Comercio	0.025*** (0.009)	-0.029 (0.063)	0.001 (0.010)
L2.Comercio	0.015*** (0.005)	0.023 (0.037)	0.053 (0.043)
L1.CO2	0.012 (0.021)	0.070 (0.084)	-0.132*** (0.040)
L2.CO2	0.054*** (0.016)	0.131* (0.069)	0.006 (0.042)
Población	-0.002*** (0.000)	-0.003 (0.002)	-0.004 (0.003)

Errores estándar entre paréntesis

\*  $p < 0,10$ , \*\*  $p < 0,05$ , \*\*\*  $p < 0,01$

Fuente: elaboración propia

Cuando el comercio es la variable dependiente, se observa que esta es explicada de forma positiva por el PIB, tanto con uno como con dos rezagos. Para el caso del comercio, a diferencia del PIB, los primeros dos valores rezagados de esta propia variable no tienen un efecto sobre sí misma. Con respecto al papel de las emisiones de CO2, en su segundo rezago estas tienen un impacto positivo sobre el comercio. Por último, la población no tiene efectos significativos sobre

el comercio.

Finalmente, en lo relativo a las emisiones de CO<sub>2</sub>, estas son explicadas únicamente por dos variables en el modelo: por el primer rezago del PIB y por el primer rezago de sí mismas. Lo anterior tiene implicaciones importantes para esta investigación, ya que un cambio en las tasas de comercio exterior por parte de países latinoamericanos no tiene un efecto observable sobre las emisiones de CO<sub>2</sub> en el modelo VAR con 2 rezagos.

Los resultados anteriores se ven confirmados por lo obtenido en las pruebas de causalidad de Granger del cuadro 4.7. Nuevamente se observa la existencia de bidireccionalidades en la mayoría de las variable explicativas, sin embargo puede notarse también que ni el CO<sub>2</sub> ayuda a predecir el comportamiento del comercio, no tampoco el comercio es predictivo de las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Si bien dichos resultados podrían resultar desalentadores para el presente trabajo, cabe destacar que siguen existiendo relaciones significativas cuando se considera el efecto conjunto de dos variables. Por ejemplo, el comercio junto con las emisiones de CO<sub>2</sub> tienen un efecto predictivo sobre el PIB. De la misma forma, el PIB junto con el CO<sub>2</sub> son predictivos del comercio. Asimismo, el PIB junto con el comercio son predictivos de las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Cuadro 4.7: Pruebas de causalidad de Granger (VAR con 2 rezagos)

Variable explicativa	Variable explicada	$\chi^2$
Comercio	PIB	10.155***
CO <sub>2</sub>	PIB	25.595***
Comercio + CO <sub>2</sub>	PIB	32.764***
PIB	Comercio	11.450***
CO <sub>2</sub>	Comercio	4.396
PIB + CO <sub>2</sub>	Comercio	13.301**
PIB	CO <sub>2</sub>	24.796***
Comercio	CO <sub>2</sub>	3.949
PIB + Comercio	CO <sub>2</sub>	33.569***

\*  $p < 0,10$ , \*\*  $p < 0,05$ , \*\*\*  $p < 0,01$

Fuente: elaboración propia

A continuación se muestran los resultados de las Funciones Impulso Respuesta (IRF) para las variables endógenas del modelo, junto con los resultados de la descomposición de la varianza (FEVD). Cabe destacar que, en los resultados de esta sección se emplea una descomposición de Cholesky, por lo que el orden en el que se presentan las variables endógenas es un elemento clave.

El orden que se emplea es PIB/Comercio/CO<sub>2</sub>, lo cual significa que el PIB tiene un impacto inmediato sobre sí mismo, sobre el Comercio y las emisiones de CO<sub>2</sub>, pero que el Comercio, por estar en el segundo lugar incide únicamente sobre sí mismo y sobre las emisiones de CO<sub>2</sub>. En tanto, la última variable (CO<sub>2</sub>) no tiene efectos explicativos inmediatos sobre las variables previas.

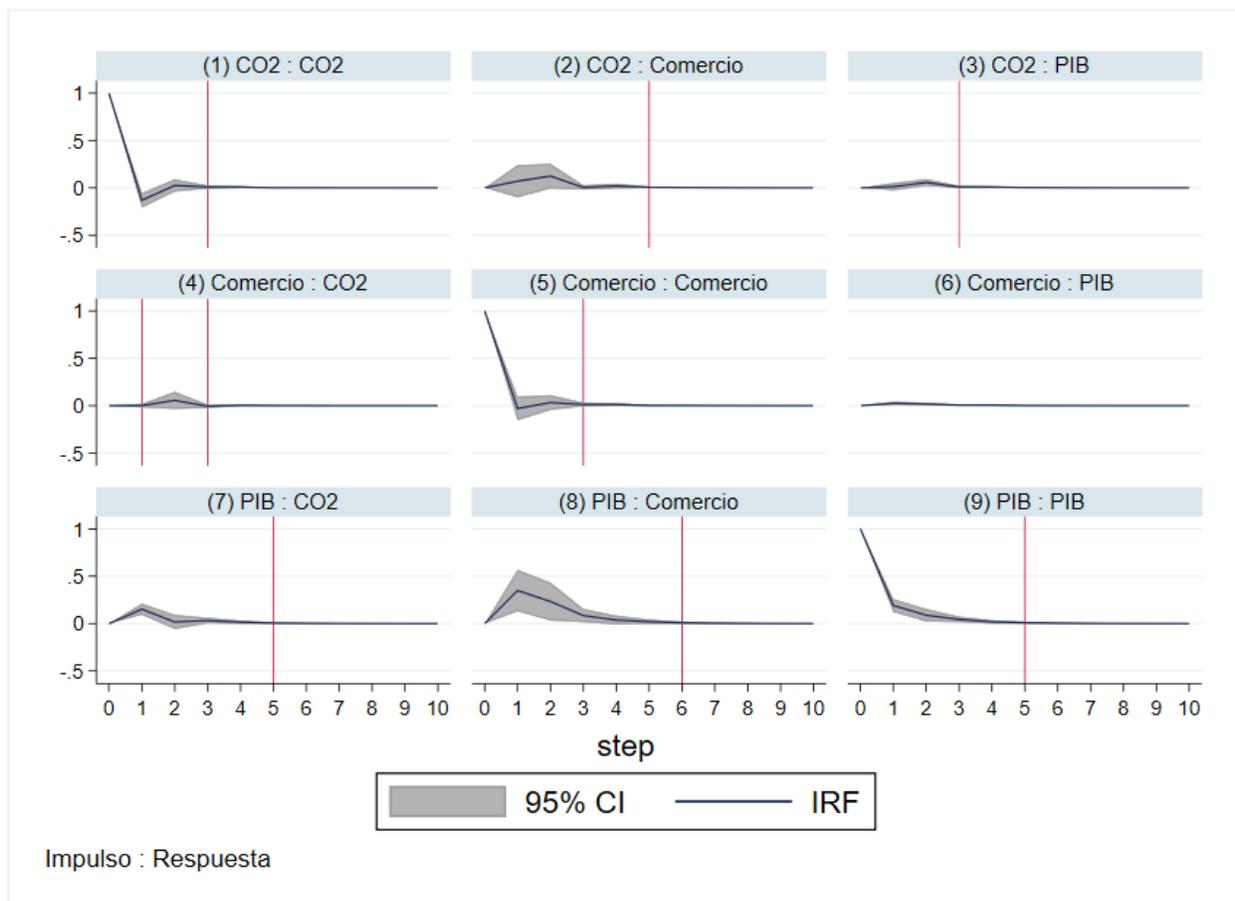
En la figura 4.3 se plantean escenarios sobre como sería el comportamiento de la variable de respuesta ante un shock en la variable de impulso. Cabe destacar que estas funciones modelan particularmente la respuesta que puede observarse ante perturbaciones externas en una variable sobre la otra. Los coeficientes detallados de las IRF se presentan en el cuadro A.2 de la sección de Anexos.

De esta forma, en la diagonal de la figura 4.3 (viñetas 1, 5 y 9) se observa el comportamiento de las variables ante shocks de ellas mismas. Algo que puede notarse es que tanto las emisiones de CO<sub>2</sub> como el comercio recuperan más pronto el estado de equilibrio, es decir el valor cero, al cual retornan en aproximadamente 3 periodos. En cambio, el PIB es una variable que demora más tiempo en volver al punto de equilibrio, tardando aproximadamente 5 periodos.

Puede apreciarse también en la figura 4.3 que el impacto de una perturbación en las emisiones sobre el comercio (viñeta 2) tiene un mayor efecto que la relación inversa, es decir una perturbación del comercio sobre las emisiones (viñeta 4), incluso a pesar del ordenamiento dado *a priori*. En la primera relación (CO<sub>2</sub> sobre Comercio, viñeta 2) se observa que el shock va desde el periodo cero hasta el quinto, mientras que un shock del comercio sobre las emisiones (viñeta 4) abarca únicamente del periodo 1 al 3. Lo anterior implica que las emisiones de CO<sub>2</sub> tienen un mayor efecto del que inicialmente se suponía sobre las perturbaciones en el comercio.

En lo que respecta a la relación del Comercio hacia el PIB (viñeta 6) se observa que el efecto

Figura 4.3: Representación gráfica de las funciones impulso respuesta (Modelo VAR con 2 rezagos)



Fuente: elaboración propia

del shock es prácticamente nulo, lo cual sí responde al ordenamiento que se dio a las variables (PIB/Comercio/CO2). Por lo anterior, se observa también que de PIB a comercio (viñeta 8) el efecto de una perturbación externa es de mayor magnitud y se extiende desde el periodo 0 hasta el 6. De la misma forma, el efecto de un shock en las emisiones de CO2 sobre el PIB (viñeta 3) es de menor intensidad y duración que el de el PIB sobre las emisiones de CO2 (viñeta 7), lo cual responde nuevamente al ordenamiento dado.

Dado lo anterior, puede destacarse que el PIB como variable de impulso es la que origina shocks con una mayor duración en el tiempo (viñetas 7, 8 y 9), seguida por el comercio como variable de shock, donde su impacto de mayor intensidad es sobre las emisiones de CO2. En el

sentido opuesto, el PIB como variable de respuesta es poco responsiva ante shocks en el comercio o las emisiones de CO<sub>2</sub>, pero en cambio bastante responsiva ante sus propias alteraciones.

Para concluir con esta sección, en el cuadro 4.8 se presentan los resultados de la descomposición de la varianza de los errores de pronóstico (FEVD) para las variables endógenas del modelo VAR con 2 rezagos. De acuerdo con Lütkepohl (2005), esta descomposición puede interpretarse como una contabilidad de las innovaciones en el modelo, lo cual implica conocer que porcentaje de la varianza esta siendo explicado a partir de cuáles variables.

Tal como puede apreciarse en el cuadro 4.8, tanto el PIB como el Comercio y las emisiones de CO<sub>2</sub>, pueden modelarse como procesos autorregresivos, dado que estas variables logran explicarse a sí mismas en alrededor de 98 %, 91 % y 95 %, respectivamente.

Otra variable que logra ser explicada por parte del modelo es el comercio como respuesta a un cambio porcentual en el PIB, el cual es explicado en un 6 % en el primer periodo, 7 % en el segundo periodo y en 8 % para los periodos subsecuentes.

Aunque con un menor poder predictivo, tanto el PIB como el comercio logran explicar en un 2 % la variabilidad en las emisiones de CO<sub>2</sub>, ello a partir del segundo y tercer periodo, respectivamente.

Finalmente se observa que existen relaciones con una capacidad predictiva muy débil (menor al 1 %), tales como el impacto del comercio sobre el PIB, el impacto de las emisiones de CO<sub>2</sub> también sobre el PIB, así como el efecto de las emisiones de CO<sub>2</sub> sobre el comercio.

Cuadro 4.8: Descomposición de la varianza (Modelo VAR con 2 rezagos)

Variable de respuesta y horizonte de pronóstico	Variable de impulso		
	PIB	Comercio	CO2
0	0	0	0
1	1	0	0
2	.9945854	.0052222	.0001924
3	.9873978	.0082809	.0043212
4	.9870546	.0085395	.0044059
5	.9867277	.0087998	.0044725
6	.9866982	.0088193	.0044825
7	.9866867	.0088275	.0044859
8	.9866847	.0088289	.0044864
9	.9866841	.0088293	.0044865
10	.9866841	.0088294	.0044866
0	0	0	0
1	.0616759	.9383241	0
2	.0733774	.9258711	.0007515
3	.0807317	.9162138	.0030547
4	.0816392	.9153069	.003054
5	.0818681	.9150244	.0031076
6	.0819192	.9149694	.0031115
7	.0819318	.914955	.0031133
8	.0819344	.9149521	.0031135
9	.081935	.9149513	.0031136
10	.0819352	.9149513	.0031136
0	0	0	0
1	.0113984	.0032245	.985377
2	.0240222	.0031481	.9728297
3	.0261536	.0215221	.9523243
4	.0267082	.0216858	.951606
5	.0269574	.0217713	.9512712
6	.0269878	.0217772	.9512349
7	.026997	.0217811	.9512219
8	.0269989	.0217813	.9512199
9	.0269993	.0217815	.9512192
10	.0269994	.0217815	.9512191

Fuente: elaboración propia

# Capítulo 5

## Discusión

Es necesario contrastar los resultados obtenidos en la sección anterior con dos preguntas planteadas al inicio de este trabajo: ¿tiene la apertura al comercio internacional un efecto positivo en el desempeño medioambiental de los países latinoamericanos? ¿Existen desplazamientos de emisiones hacia América Latina?

De acuerdo con lo obtenido en el modelo de gravedad, un aumento en las emisiones de CO<sub>2</sub> en los países de América Latina puede significar una reducción en los niveles de comercio bilateral, sin embargo este es un resultado poco robusto, ya que solamente en uno de cuatro modelos estimados se obtiene un coeficiente significativo.

Se observa también que en países de destino, las emisiones de CO<sub>2</sub> no son explicativas del comercio bilateral. Lo anterior significa, que desde el modelo de gravedad se descarta que América Latina sea un refugio contaminante. Ello no implica que rechace por completo esta hipótesis, sino que por el contrario se analiza con mayor detenimiento en la sección correspondiente al modelo VAR.

Existen otras variables que si son explicativas del comercio bilateral. Por ejemplo, el PIB en los países de destino tiene un efecto positivo, lo cual implica que entre mayor sea el tamaño de la economía de los socios de América Latina, ello incrementa el comercio bilateral. Este resultado es

particularmente consistente con lo esperado para un modelo de gravedad, como también lo es el efecto negativo que se observa al considerar la distancia entre socios comerciales.

Puede identificarse también en el modelo de gravedad, que el número de patentes (tanto en países latinoamericanos como fuera de ellos) tiene un impacto positivo y significativo en el flujo comercial bilateral. Ello implica que la innovación se traduce en un mayor comercio bilateral, incrementando la competitividad de los países. Si bien este resultado podría dar indicios sobre el cumplimiento de la hipótesis de Porter, es necesario indagar más a fondo para conocer el efecto específico de las patentes que responden a una mejora en la calidad ambiental. Esto es por ahora un reto en términos de la disponibilidad de datos, dado que la información más desagregada hasta el momento sobre patentes ambientales está centrada en países miembros de la OCDE y en algunas economías emergentes (OCDE, 2023)

Otro elemento a destacar del modelo de gravedad es la diferencia de signos que se tiene en el impacto de los acuerdos comerciales. Tal como se mencionó en la sección de resultados, estas diferencias pueden deberse a la naturaleza de los estimadores, ya que los signos positivos corresponden a los modelos estáticos, mientras que los signos negativos provienen de los modelos dinámicos. Sin embargo, es posible que estos efectos se expliquen por la pertenencia a ciertos bloques comerciales. Kahouli y Omri (2017) tienen hallazgos en este sentido, ya que en su modelo de gravedad encuentran que, pertenecer a MERCOSUR por ejemplo, tiene un efecto mayormente negativo en el comercio bilateral, mientras que ser parte del TLCAN arroja efectos positivos.

Sobre el impacto de los acuerdos bilaterales, se obtiene como resultado que esta variable no es endógena en el modelo, lo cual es consistente con lo hallado por Jochmans y Verardi (2022). Dicho lo anterior, los resultados obtenidos muestran que son los acuerdos comerciales los que explican el flujo comercial bilateral y no a la inversa. En este mismo sentido logra observarse que las variables sobre el pasado colonial en la región no son suficientemente explicativas de los acuerdos comerciales firmados en el tiempo presente, ya que los principales socios comerciales de los países latinoamericanos en el periodo analizado son Estados Unidos y China, países con los

que la región en general, no comparte características coloniales o de afinidad histórica.

Con respecto a los restados obtenidos en el modelo VAR, se observa que el efecto explicativo de las emisiones de CO<sub>2</sub> sobre el comercio, es positivo y significativo cuando se analiza el CO<sub>2</sub> en su segundo rezago. Ello implicaría entonces que a medida que los países de la región contaminan más, también comercializan más. Cabe destacar también, que de acuerdo con las pruebas de causalidad de Granger realizadas, los niveles de comercio son mejor predichos cuando se incorpora el efecto conjunto de las emisiones de CO<sub>2</sub> y del Producto Interno Bruto (PIB). Lo anterior también clarificaría por qué en el modelo de gravedad esta relación es poco robusta, ya que en dicho modelo se consideran únicamente relaciones contemporáneas entre dos variables.

En el caso de la relación inversa, es decir el impacto del comercio sobre las emisiones, dicho efecto no es significativo ni en el primer ni en el segundo rezago. Ello implica que, para el grupo de países analizados, la relación entre comercio y emisiones de CO<sub>2</sub> no es bidireccional. Por lo anterior, no hay indicios de que la apertura al comercio se traduzca de forma directa en mayores o menores niveles de contaminación en el conjunto de países latinoamericanos.

Sin embargo, al igual que en el caso anterior, existe evidencia de que el Comercio y el PIB predicen de forma conjunta las emisiones de CO<sub>2</sub>, mediante una cadena de transmisión donde el comercio explica al PIB y el PIB explica al CO<sub>2</sub>. En ambos casos la relación es positiva, por lo que, mayores niveles de comercio, de forma indirecta, sí se traducen en mayores niveles de contaminación.

Finalmente, en la estimación las funciones impulso-respuesta, cuando el CO<sub>2</sub> es la variable de respuesta, una perturbación en el PIB representa el shock de mayor duración sobre esta variable, el cual tarda aproximadamente 5 periodos en volver al estado de equilibrio, mientras que cuando el comercio o las propias emisiones son la variable del impulso, el shock tiene una duración menor.

Lo anterior tiene también implicaciones de política pública, ya que si los tomadores de decisiones se encuentran interesados en modificar el comportamiento de las emisiones de CO<sub>2</sub>, deben considerar en primer lugar incidir sobre el comportamiento del Producto Interno Bruto y en segun-

do lugar, sobre la participación de las importaciones y exportaciones en la economía nacional, ello a fin de tener efectos con una mayor duración en el tiempo.

# Capítulo 6

## Conclusiones

El principal hallazgo del presente trabajo es que América Latina en su conjunto, no presenta las características para ser definido como un *pollution heaven*. Sin embargo, con ello no se excluye que existan potenciales efectos de desplazamiento de emisiones si se analizan los impactos específicos por subgrupos de países en América Latina o bien de forma individual para identificar aquellos países que si enfrentan efectos de desplazamiento.

En este mismo sentido, en posteriores trabajos se podrían agrupar los países de la región por los bloques comerciales a los que pertenecen a fin de identificar si dentro de estos bloques se presentan características de refugios contaminantes o bien si la membresía a dichos bloques efectivamente se traduce en mejores condiciones comerciales.

También es necesario extender el análisis al total de países existentes a nivel global o bien a aquellos países con mayores niveles de ingreso o con mayores concentraciones de emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera. Si bien existen ya análisis enfocados especialmente a dichos países, la principal contribución de este trabajo consiste en contrastar los resultados del modelo de gravedad con un modelo de vectores autorregresivos (VAR), por lo que este enfoque puede ser aplicado también para ampliar el análisis.

Otro hallazgo del presente estudio consiste en la identificación de efectos sobre el comercio

y las emisiones, que, o bien son indirectos mediante la inclusión de una tercera variable o bien, son efectos con cierto rezago en el tiempo. De esta forma, se concluye que, mayores emisiones se traducen en mayores niveles de comercio, aunque con cierto rezago explicativo, además de que el comercio no impacta de forma directa en mayores o menores emisiones de CO<sub>2</sub>, pero si lo hace de forma indirecta y positiva.

Un elemento que inicialmente se buscaba incorporar al modelo VAR era el número total de patentes, sin embargo debido a la alta frecuencia de observaciones faltantes, el análisis de series de tiempo con dicha variable no era factible. En ese sentido, en trabajos posteriores podría incluirse esta variable en el modelo VAR, pero reduciendo el espectro de observaciones a aquellos países y/o años con datos más consistentes.

Finalmente, queda también como sugerencia para futuras investigaciones poder incluir el efecto específico de las patentes relacionadas con innovaciones en materia ambiental, a fin de poder verificar con mayor robustez la hipótesis de Porter. Si bien, como se mencionó anteriormente, los datos se encuentran limitados a los países miembros de la OCDE, podrían analizarse los efectos en concreto en países latinoamericanos miembros de esa organización como México o Chile.

## Referencias

- Abrigo, M. R., y Love, I. (2016). “Estimation of panel vector autoregression in stata.” *The Stata Journal*, 16(3), 778–804.
- Alvarado, R., Ortiz, C., Jiménez, N., Ochoa-Jiménez, D., y Tillaguango, B. (2021). “Ecological footprint, air quality and research and development: The role of agriculture and international trade.” *Journal of Cleaner Production*, 288, 125589.
- Antweiler, W., Copeland, B. R., y Taylor, M. S. (2001). “Is free trade good for the environment?” *American economic review*, 91(4), 877–908.
- Arellano, M., y Bond, S. (1991). “Some tests of specification for panel data: Monte Carlo evidence and an application to employment equations.” *The Review of Economic Studies*, 58(2), 277–297.
- Arellano, M., y Bover, O. (1995). “Another look at the instrumental variable estimation of error-components models.” *Journal of Econometrics*, 68(1), 29–51.
- Banco Mundial. (2022). *World Development Indicators*. <https://datatopics.worldbank.org/world-development-indicators/>.
- Banco Mundial. (2023). *World Integrated Trade Solution (WITS)*. <https://wits.worldbank.org/countrysnapshot/en/LCN/textview>.
- Baum, C. F., Schaffer, M. E., y Stillman, S. (2003). “Instrumental variables and GMM: Estimation and testing.” *The Stata Journal*, 3(1), 1–31.
- Bolea, L., Duarte, R., y Sanchez-Choliz, J. (2020). “Exploring carbon emissions and international inequality in a globalized world: A multiregional-multisectoral perspective.” *Resources, Conservation and Recycling*, 152, 104516.
- Bond, S. R., y Windmeijer, F. (2002). “Finite sample inference for gmm estimators in linear panel data models.” *CEMMAP Working Paper No. CWP04/02*.
- Brenton, T. (2019). *The greening of Machiavelli: the evolution of international environmental*

- politics* (Vol. 4). Routledge.
- Bucci, A. (2015). “Product proliferation, population, and economic growth.” *Journal of Human Capital*, 9(2), 170–197.
- Bun, M. J., y Klaassen, F. (2002). *The importance of dynamics in panel gravity models of trade*. UvA Econometrics Discussion Paper; No. 2002/18.
- Cameron, A. C., y Trivedi, P. K. (2010). *Microeconometrics using Stata*. Stata Press.
- Cantore, N., y Cheng, C. F. C. (2018). “International trade of environmental goods in gravity models.” *Journal of Environmental Management*, 223, 1047–1060.
- CEPII. (2022). *Geodist*. [http://www.cepii.fr/CEPII/en/bdd\\_modele/bdd\\_modele\\_item.asp?id=6](http://www.cepii.fr/CEPII/en/bdd_modele/bdd_modele_item.asp?id=6).
- Choi, I. (2001). “Unit root tests for panel data.” *Journal of international money and Finance*, 20(2), 249–272.
- Cialani, C. (2016). “CO2 emissions, GDP and trade: a panel cointegration approach.” *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 24(3), 193–204.
- Cole, M. A. (2004). “Trade, the pollution haven hypothesis and the environmental Kuznets curve: examining the linkages.” *Ecological Economics*, 48(1), 71–81.
- Dasgupta, S., Laplante, B., Wang, H., y Wheeler, D. (2002). “Confronting the Environmental Kuznets Curve.” *Journal of Economic Perspectives*, 16(1), 147–168.
- Deng, Q., Alvarado, R., Toledo, E., y Caraguay, L. (2020). “Greenhouse gas emissions, non-renewable energy consumption, and output in South America: the role of the productive structure.” *Environmental Science and Pollution Research*, 27(13), 14477–14491.
- Duarte, R., Pinilla, V., y Serrano, A. (2018). “Factors driving embodied carbon in international trade: a multiregional input–output gravity model.” *Economic Systems Research*, 30(4), 545–566.
- Egger, P., Larch, M., Staub, K. E., y Winkelmann, R. (2011). “The trade effects of endogenous preferential trade agreements.” *American Economic Journal: Economic Policy*, 3(3), 113–143.

- FMI. (2022). *Direction of trade statistics*. <https://data.imf.org/?sk=9D6028D4-F14A-464C-A2F2-59B2CD424B85>.
- Gokmen, G., Vermeulen, W. N., y Vézina, P.-L. (2020). “The imperial roots of global trade.” *Journal of Economic Growth*, 25, 87–145.
- Gourieroux, C., Monfort, A., y Trognon, A. (1984). “Pseudo maximum likelihood methods: Applications to Poisson models.” *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 52(3), 701–720.
- Granger, C. W. (1969). “Investigating causal relations by econometric models and cross-spectral methods.” *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 37(3), 424–438.
- Grossman, G. M., y Krueger, A. B. (1991). *Environmental impacts of a North American Free Trade Agreement*. National Bureau of Economic Research Cambridge, Mass., USA.
- Grossman, G. M., y Krueger, A. B. (1995). “Economic growth and the environment.” *The Quarterly Journal of Economics*, 110(2), 353–377.
- Head, K., y Mayer, T. (2014). “Gravity equations: Workhorse, toolkit, and cookbook.” En *Handbook of international economics* (Vol. 4, pp. 131–195). Elsevier.
- Heckscher, E. F. (1919). “The effect of foreign trade on the distribution of income.” En H. Ellis y L. Metzler (Eds.), *Readings in the theory of international trade* (pp. 272–300). Blackiston.
- Iheonu, C. O., Anyanwu, O. C., Odo, O. K., y Nathaniel, S. P. (2021). “Does economic growth, international trade, and urbanization uphold environmental sustainability in sub-Saharan Africa? Insights from quantile and causality procedures.” *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 28222–28233.
- Im, K. S., Pesaran, M. H., y Shin, Y. (2003). “Testing for unit roots in heterogeneous panels.” *Journal of Econometrics*, 115(1), 53–74.
- Jaffe, A. B., y Palmer, K. (1997). “Environmental regulation and innovation: a panel data study.” *Review of Economics and Statistics*, 79(4), 610–619.
- Jochmans, K., y Verardi, V. (2019). *Instrumental variable estimation of gravity equations*. Cam-

- bridge Working Papers in Economics 1994. University of Cambridge.
- Jochmans, K., y Verardi, V. (2022). “Instrumental-variable estimation of exponential-regression models with two-way fixed effects with an application to gravity equations.” *Journal of Applied Econometrics*, 37(6), 1121–1137.
- Kahouli, B., y Omri, A. (2017). “Foreign direct investment, foreign trade and environment: new evidence from simultaneous-equation system of gravity models.” *Research in International Business and Finance*, 42, 353–364.
- Kim, T. J., y Tromp, N. (2021). “Analysis of carbon emissions embodied in South Korea’s international trade: Production-based and consumption-based perspectives.” *Journal of Cleaner Production*, 320, 128839.
- Krugman, P. R., Obstfeld, M., y Melitz, M. (2018). *International economics: Theory and policy. Eleventh edition*. Pearson Education.
- Kuik, O., Branger, F., y Quirion, P. (2019). “Competitive advantage in the renewable energy industry: evidence from a gravity model.” *Renewable Energy*, 131, 472–481.
- Lütkepohl, H. (2005). *New introduction to multiple time series analysis*. Springer Science & Business Media.
- Meadows, D. H., Meadows, D. L., Randers, J., y Behrens, W. W. (1972). *The limits to growth*. Universe Books.
- Mierau, J. O., y Turnovsky, S. J. (2014). “Capital accumulation and the sources of demographic change.” *Journal of Population Economics*, 27, 857–894.
- OCDE. (2017). *Active with Latin America and the Caribbean*. OECD Global Relations Secretariat.
- OCDE. (2023). *Patents in environment-related technologies*.  
<https://stats.oecd.org/index.aspx?queryid=29068>.
- Ohlin, B. (1935). *Interregional and international trade*. Harvard University Press.
- OMC. (2022). *Regional Trade Agreements Database*.

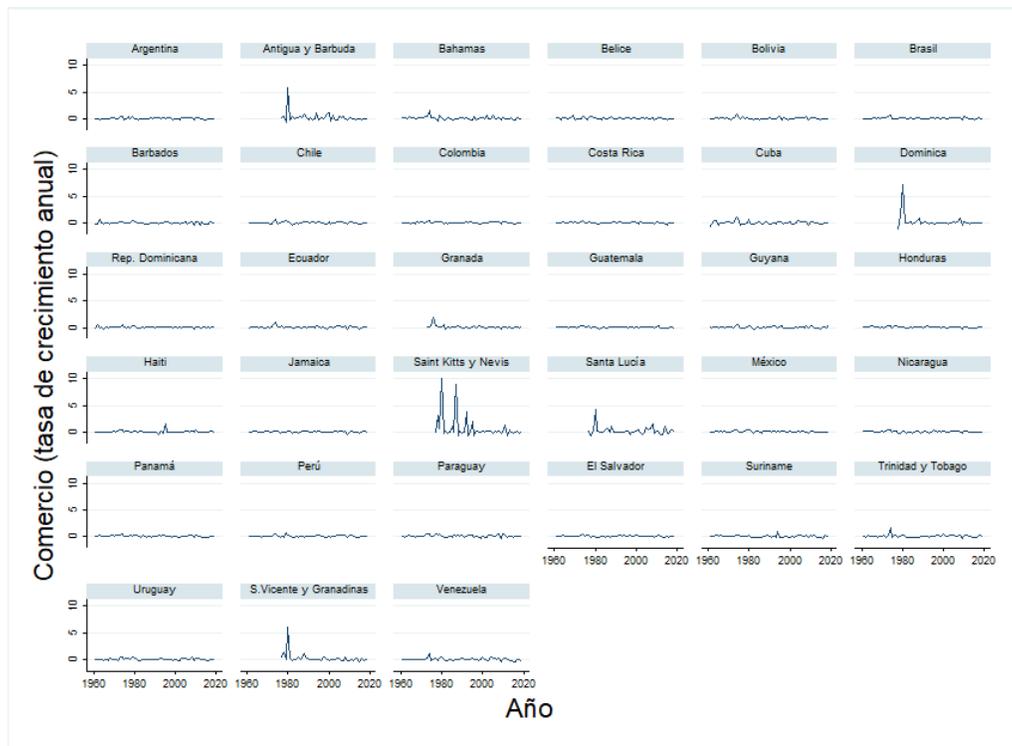
- <https://rtais.wto.org/UI/PublicMaintainRTAHome.aspx>.
- Parente, P. M., y Santos Silva, J. (2012). “A cautionary note on tests of overidentifying restrictions.” *Economics Letters*, 115(2), 314–317.
- Pasinetti, L. (1993). *Structural economic dynamics*. Cambridge University Press.
- Porter, M. (1991). “America’s green strategy.” *Scientific American*, 264, 168.
- Porter, M., y Van der Linde, C. (1995). “Green and competitive: ending the stalemate.” *Harvard Business Review*, 73(5), 120–134.
- Rauscher, M. (2017). “On ecological dumping.” En J. M. Dean (Ed.), *International trade and the environment* (2.<sup>a</sup> ed., p. 107-125). Routledge.
- Ritchie, H., Roser, M., y Rosado, P. (2020). “CO2 and greenhouse gas emissions.” *Our World in Data*. <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>.
- Roodman, D. (2009). “How to do xtabond2: An introduction to difference and system GMM in Stata.” *The Stata Journal*, 9(1), 86–136.
- Santos Silva, J., y Tenreyro, S. (2006). “The log of gravity.” *The Review of Economics and Statistics*, 88(4), 641–658.
- Santos Silva, J., y Tenreyro, S. (2010). “Currency unions in prospect and retrospect.” *Annual Review of Economics*, 2(1), 51–74.
- Santos Silva, J., y Tenreyro, S. (2011). “Further simulation evidence on the performance of the Poisson pseudo-maximum likelihood estimator.” *Economics Letters*, 112(2), 220–222.
- Tinbergen, J. (1962). *Shaping the world economy: suggestions for an international economic policy*. The Twentieth Century Fund.
- Vallina, A. M., de la Fuente-Mella, H., y Fuentes-Solís, R. (2020). “International trade and innovation: delving in Latin American commerce.” *Academia Revista Latinoamericana de Administracion*, 33(3/4), 535-547.
- Yamano, N., y Guilhoto, J. (2020). “CO2 emissions embodied in international trade and domestic final demand: Methodology and results using the OECD Inter-Country Input-Output

Database.” *OECD Science, Technology and Industry Working Papers 2020/11*.

Zhang, Z., Xi, L., Bin, S., Yuhuan, Z., Song, W., Ya, L., . . . Guang, S. (2019). “Energy, CO2 emissions, and value added flows embodied in the international trade of the BRICS group: A comprehensive assessment.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 116*, 109432.

# Anexos

Figura A.1: Comercio (tasa de crecimiento anual)



Fuente: elaboración propia con base en FMI (2022)

Figura A.2: PIB (tasa de crecimiento anual)



Fuente: elaboración propia con base en Banco Mundial (2022)

Figura A.3: Emisiones de CO2 (tasa de crecimiento anual)



Fuente: elaboración propia con base en Banco Mundial (2022)

Figura A.4: Cambio poblacional (tasa de crecimiento anual)



Fuente: elaboración propia con base en Banco Mundial (2022)

Cuadro A.1: Resultados VAR (5 rezagos)

	Variable dependiente		
	PIB	Comercio	CO2
L1.PIB	0.173*** (0.039)	0.295*** (0.070)	0.124*** (0.035)
L2.PIB	0.015 (0.035)	0.021 (0.040)	0.004 (0.020)
L3.PIB	0.042 (0.030)	0.032 (0.042)	-0.040 (0.050)
L4.PIB	-0.006 (0.022)	-0.007 (0.042)	-0.009 (0.024)
L5.PIB	-0.029 (0.040)	-0.047 (0.054)	0.002 (0.023)
L1.Comercio	0.032* (0.017)	-0.068** (0.033)	0.013*** (0.004)
L2.Comercio	0.017** (0.007)	0.008 (0.028)	0.015 (0.015)
L3.Comercio	0.017** (0.007)	0.026* (0.014)	0.017 (0.019)
L4.Comercio	0.005 (0.005)	-0.045*** (0.015)	0.020 (0.015)
L5.Comercio	0.013** (0.006)	0.120 (0.082)	0.017 (0.011)
L1.CO2	0.000 (0.019)	0.092 (0.070)	-0.117*** (0.035)
L2.CO2	0.050*** (0.016)	0.164** (0.064)	0.041 (0.037)
L3.CO2	0.035 (0.024)	0.093 (0.071)	0.064 (0.055)
L4.CO2	0.031 (0.028)	0.122* (0.068)	0.020 (0.030)
L5.CO2	0.047 (0.037)	0.053 (0.043)	0.010 (0.028)
Población	-0.002** (0.001)	0.001 (0.003)	-0.001 (0.002)

Errores estándar entre paréntesis

\*  $p < 0,10$ , \*\*  $p < 0,05$ , \*\*\*  $p < 0,01$

Fuente: elaboración propia

Cuadro A.2: Coeficientes de las funciones impulso respuesta (Modelo VAR con 2 rezagos)

Variable de respuesta y horizonte de pronóstico	Variable de impulso		
	CO2	PIB	Comercio
0	1	0	0
1	-.1318311	.1525011	.0012576
2	.0254	.0174959	.0565831
3	.0084377	.0324422	-.0058696
4	.0073562	.0157732	.003919
5	.0005362	.0059426	.0010831
6	.0014869	.0029608	.0008322
7	.0003643	.001514	.0001938
8	.0002618	.0006857	.0001748
9	.0000955	.0003299	.0000587
10	.000057	.0001577	.0000348
0	0	1	0
1	.0120999	.1910408	.0253893
2	.0566082	.0887587	.0188246
3	.0086545	.0444128	.005816
4	.0074083	.0191054	.0057065
5	.0028691	.0096522	.0015746
6	.0016726	.0046328	.0010082
7	.0006514	.0021777	.0004207
8	.0003624	.0010357	.0002239
9	.0001572	.0004969	.0000965
10	.0000795	.0002357	.0000496
0	0	0	1
1	.0699906	.3488223	-.0289888
2	.1234877	.2334171	.0329975
3	.0043731	.0851751	.0132815
4	.0190736	.0377487	.0125132
5	.0051875	.0202678	.002411
6	.0035222	.0093059	.0023056
7	.0012527	.004404	.0008021
8	.0007703	.0021104	.0004668
9	.0003073	.0010099	.0001906
10	.0001649	.0004778	.0001031

Fuente: elaboración propia