

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ciencias Sociales y Humanística

Impacto de Shocks Externos e Inversión Extranjera Directa sobre la Productividad

Total en Países Andinos 1995-2019

ADMI-1253

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Grado en Economía

Presentado por:

Domenica Nicole Carranza Loor

María José Silvers Vera

Guayaquil - Ecuador

Año: 2025

Agradecimientos

Mi más sincero agradecimiento a mis padres, Marjury Vera y Juan Silvers, quienes han sido mi pilar fundamental, inspirándome cada día a superarme y a nunca rendirme. A mi abuela María Vélez que, aunque no esté presente, siempre está con nosotros.

A mis tías Gema Plaza y Jenniffer Plaza, por ser un gran apoyo y guías en cada etapa de mi vida, siempre brindándome aliento y confianza. Y a mi tío Jorge Plaza gracias por esa complicidad y respaldo que siempre han estado presentes.

Extiendo también mi gratitud a mi compañera Domenica Carranza, con quien no solo compartí responsabilidades académicas, sino que también cultivé una amistad invaluable que la universidad me regaló y que atesoro profundamente.

Agradecimientos

De manera especial, agradezco a mis amados padres, Jenny Loor y Edison Carranza, quienes han sido mi pilar fundamental, inspirándome cada día a superarme y a nunca rendirme. A mis hermanas, Dayana y Stefany Carranza, por su constante presencia y por ser mi mayor fuente de fortaleza y ejemplo. A mi pequeña Sofí, por su fiel compañía.

A mi abuelita Alejandrina Maquilón, por su apoyo incondicional y por enseñarme a resistir y esforzarme. Y a mis madrinas Lidia y Ana, por brindarme aliento y confianza.

Extiendo también mi gratitud a mi compañera María José Silvers, con quien no solo compartí responsabilidades académicas, sino que también cultivé una amistad invaluable que la universidad me regaló y que atesoro profundamente.

Finalmente, agradezco a nuestro tutor de tesis, Juan Domínguez, por su gratificante orientación, y a la ESPOL y sus docentes, cuyas herramientas y enseñanzas han sido fundamentales en mi formación.

Declaración Expresa

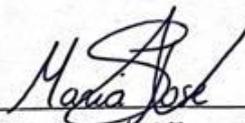
Nosotras, María José Silvers Vera y Domenica Nicole Carranza Loor, acordamos y reconocemos que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra, con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales, se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

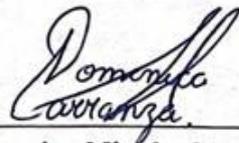
La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada, que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por nosotras durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique a los autores que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 22 de mayo del 2025.



María José Silvers Vera



Domenica Nicole Carranza Loor

Evaluadores

María Cristina Aguirre Valverde

Profesor de Materia

Juan Manuel Domínguez Andrade

Tutor de proyecto

Resumen

El estudio analiza la influencia de shocks externos, en particular los precios de commodities y la inversión extranjera directa (IED), sobre la productividad total de los factores (PTF) en los países de la Comunidad Andina. Se parte de la hipótesis de que estos efectos son significativos y heterogéneos, lo que justifica la necesidad de comprender si impulsan mejoras sostenidas en la productividad o solo generan efectos temporales. Para abordar esta problemática, se aplicaron técnicas econométricas avanzadas, incluyendo pruebas de cointegración de Johansen, un modelo de Vectores de Corrección de Errores (VECM) y Funciones de Impulso-Respuesta, utilizando un panel de datos de Bolivia, Colombia, Ecuador y Perú en el período 1995-2019. Los resultados mostraron que la IED respondió activamente a los ciclos de precios de los commodities, aunque su efecto directo sobre la PTF fue nulo. Asimismo, se evidenció que los términos de intercambio y el gas natural ejercieron impactos negativos y persistentes, mientras que el petróleo y el cobre generaron efectos positivos, pero transitorios. Se concluye que los beneficios de los shocks positivos no se traducen en mejoras estructurales de productividad en la región andina, lo que resalta la vulnerabilidad de estas economías a factores externos.

Palabras Clave: Términos de intercambio, precios de commodities, modelo VECM, Comunidad Andina, volatilidad externa.

Abstract

The study analyzes the influence of external shocks, particularly commodity prices and foreign direct investment (FDI), on total factor productivity (TFP) in Andean Community countries. It is based on the hypothesis that these effects are significant and heterogeneous, which justifies the need to understand whether they generate sustained improvements in productivity or only temporary effects. To address this issue, advanced econometric techniques were applied, including Johansen cointegration tests, a Vector Error Correction Model (VECM), and Impulse-Response Functions, using a balanced panel of data for Bolivia, Colombia, Ecuador, and Peru during the period 1995–2019. The results showed that FDI responded actively to commodity price cycles, although its direct effect on TFP was null. Moreover, terms of trade and natural gas exerted negative and persistent impacts, while oil and copper generated positive but transitory effects. It is concluded that the benefits of positive shocks do not translate into structural improvements in productivity in the Andean region, highlighting the vulnerability of these economies to external factors.

Keywords: *Terms of trade, commodity prices, VECM model, Andean Community, external volatility.*

Índice General

Resumen.....	I
Abstract.....	II
Índice General.....	III
Abreviaturas.....	VI
Simbología.....	VII
Índice de figuras.....	VIII
Índice de tablas.....	VIII
Capítulo 1.....	1
1.1 Introducción.....	2
1.2 Descripción del Problema.....	3
1.3 Justificación del Problema.....	5
1.4 Objetivos.....	7
1.4.1 Objetivo general.....	7
1.4.2 Objetivos específicos.....	7
1.5 Marco teórico.....	8
1.5.1 Enfermedad Holandesa en la Comunidad Andina.....	9
1.5.2 Otros mecanismos que afectan la PTF.....	10
Capítulo 2.....	12
2.1 Metodología.....	13
2.2 Selección de variables.....	13
2.3 Origen de los datos.....	14
2.4 Selección metodológica.....	15
2.5 Diseño conceptual y operativo.....	16
2.6 Especificación del modelo principal.....	16
2.6.1. Modelo estático inicial (MCO) como análisis preliminar.....	17
2.6.2 Modelos dinámicos.....	18

2.6.3 El modelo VECM.....	19
2.6.4 Funciones de Impulso-Respuesta (FIR)	19
2.7. Población y muestra.....	20
2.8. Justificación final del diseño.....	20
Capítulo 3	21
3.1 Resultados y análisis.....	22
3.2 Regresión MCO de impacto de shocks externos	27
3.3 Regresiones individuales por país.....	29
3.4 Análisis de estacionariedad y orden de integración.....	31
3.5 Selección del número óptimo de rezagos.....	33
3.6 Prueba de cointegración de Johansen	33
3.7 Interpretación de los vectores de cointegración.....	35
3.8 Estimación del modelo VECM	37
3.8.1 Interpretación de los coeficientes de corto plazo.....	37
3.8.2 Interpretación de los coeficientes a largo plazo	42
3.9 Funciones de Impulso-Respuesta.....	44
3.9.1 Shock de las variables sobre la PTF de la Comunidad Andina	47
3.10 Validación de errores	48
3.10.1 Prueba de normalidad	48
3.10.2 Prueba de homocedasticidad	49
3.10.3 Prueba de autocorrelación	50
3.11 Limitaciones.....	51
Capítulo 4	53
4.1 Conclusiones y recomendaciones	54
4.1.1 Conclusiones.....	54
4.1.2 Recomendaciones	56
Referencias.....	9

Apéndice A	16
------------------	----

Abreviaturas

ADF	Prueba de Dickey-Fuller Aumentada
CAN	Comunidad Andina
FIR	Funciones de Impulso-Respuesta
IED	Inversión Extranjera Directa
MCO	Mínimos Cuadrados Ordinarios
PTF	Productividad Total de los Factores
TI	Términos de Intercambio
VAR	Vectores Autorregresivos
VECM	Modelo de Vectores de Corrección de Errores

Simbología

PTF	Productividad Total de los Factores.
IED	Inversión Extranjera Directa.
TI	Términos de Intercambio.
Y_t	Vector de variables endógenas del modelo en el período t.
α (Alfa)	Coefficiente de corrección del error (velocidad de ajuste) en el modelo VECM.
β (Beta)	Coefficiente de la relación de largo plazo (vector de cointegración).
Γ (Gamma)	Matriz, contiene los coeficientes de corto plazo en el modelo VECM.
Δ (Delta)	Operador de primera diferencia (indica el cambio de una variable).
ε (Épsilon)	Término de error del modelo.
Π (Pi)	Matriz de impacto, contiene la información de las relaciones de largo plazo en el VECM.
H_0	Hipótesis Nula.
H_1	Hipótesis Alternativa.
R	Rango de cointegración (indica el número de relaciones de equilibrio a largo plazo).

Índice de figuras

Figura 3.1. Función Impulso-Respuesta - shocks sobre la PTF	45
Figura 3.2. Función Impulso-Respuesta - shocks estructurales sobre todas las variables	45

Índice de tablas

Tabla 3.1. Estadística descriptiva Commodities	22
Tabla 3.2. Estadística descriptiva de Ecuador	23
Tabla 3.3. Estadística descriptiva de Perú	24
Tabla 3.4. Estadística descriptiva de Bolivia	26
Tabla 3.5. Estadística descriptiva de Colombia	27
Tabla 3.6. Regresión lineal múltiple - Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO).....	28
Tabla 3.7. Estimación mediante MCO por país entre PTF y los precios de Commodities.....	30
Tabla 3.8. Prueba Dickey-Fuller PTF	31
Tabla 3.9. Prueba Dickey-Fuller TI.....	31
Tabla 3.10. Prueba Dickey-Fuller IED.....	31
Tabla 3.11. Prueba Dickey-Fuller Petróleo.....	31
Tabla 3.12. Prueba Dickey-Fuller Cobre.....	32
Tabla 3.13. Prueba Dickey-Fuller Gas Natural	32
Tabla 3.14. Prueba Dickey-Fuller aplicada a la primera diferencia de la PTF	32
Tabla 3.15. Prueba Dickey-Fuller aplicada a la primera diferencia de la IED.....	32
Tabla 3.16. Selección del orden de rezagos según criterios de información.....	33
Tabla 3.17. Prueba de cointegración Johansen para un modelo bivariado.....	34
Tabla 3.18. Prueba de cointegración Johansen para un modelo multivariado	34
Tabla 3.19. Vectores de cointegración	36
Tabla 3.20. Estimaciones de los coeficientes de corto plazo para la ecuación de PTF en el modelo VECM	37
Tabla 3.21. Estimaciones de los coeficientes de corto plazo para la ecuación de IED en el modelo VECM	39
Tabla 3.22. Estimaciones de los coeficientes de corto plazo para la ecuación de TI en el modelo VECM	41
Tabla 3.23. Estimaciones de los coeficientes de corrección del error (α).....	43

Tabla 3.24. Función Impulso-Respuesta sobre la PTF ante shocks estructurales (10 periodos) ..	46
Tabla 3.25. Resultados de la prueba de Anderson-Darling para residuos del modelo VECM	49
Tabla 3.26. Resultados de la prueba ARCH-LM para heterocedasticidad condicional en el modelo VECM	50
Tabla 3.27. Resultados de la prueba de Ljung-Box para autocorrelación en residuos del modelo VECM	51

Capítulo 1

1.1 Introducción

El desempeño económico de América Latina en los últimos años ha mostrado un crecimiento ralentizado, con una tasa inferior al 3,8 % registrada en el período 2000-2019, según el Balance Preliminar de las Economías de la CEPAL (2023). Un amplio consenso académico, respaldado por la CEPAL (2016) y Hofman, Mas, Aravena y Guevara (2017), atribuye este estancamiento a un persistente desafío de productividad. Desde la contabilidad del crecimiento, la productividad total de los factores (PTF) ha registrado, en promedio, valores negativos en las dos últimas décadas.

Hofman et al. (2017) señalan que esta baja productividad está estrechamente ligada a la alta volatilidad macroeconómica de la región, muchas veces asociada a la “paradoja de la abundancia”. En este contexto, la gran dotación de recursos naturales no renovables ha incrementado la dependencia de los mercados externos, dejando a las economías expuestas a la inestabilidad de los precios internacionales de los commodities. Un ejemplo de este tipo de vulnerabilidad es la llamada Enfermedad Holandesa (Corden & Neary, 1982), cuyos efectos dependen de la estructura económica y la respuesta institucional de cada país.

La relación entre precios de commodities y productividad ha sido analizada empíricamente. Kataryniuk y Martinez-Martin (2017) estiman que, en una economía emergente exportadora promedio, una caída del 10 % en los precios internacionales de materias primas puede reducir entre 0,7 % y 1 % el crecimiento de la PTF. Esto muestra que los shocks de precios no solo afectan los ingresos fiscales o la balanza comercial, sino también la eficiencia productiva a nivel agregado.

Además de la volatilidad de los precios de exportación, el acceso al financiamiento internacional constituye otro factor externo relevante. En particular, los flujos de inversión

extranjera directa (IED) han sido identificados como una fuente de desarrollo económico para países en vías de industrialización (Abad & Mideros, 2022). Sin embargo, su impacto ha sido desigual, tanto entre países como entre sectores (Gutiérrez Villca, 2020). En el caso andino, la IED ha tendido a concentrarse en sectores extractivos con bajo contenido tecnológico y escasos encadenamientos productivos, lo que ha limitado su contribución a mejoras sostenidas en la productividad (Alvarado, Iñiguez, & Ponce, 2017; CEPAL, 2023).

A la luz de estos antecedentes, este estudio analiza el impacto de dos shocks externos: las variaciones en los precios internacionales de commodities y los flujos de IED sobre la PTF en la Comunidad Andina durante el período 1995-2019, con el objetivo de evaluar si sus efectos son transitorios o permanentes.

1.2 Descripción del Problema

En los últimos 44 años, las economías latinoamericanas han atravesado crisis económicas, políticas y sociales que han limitado un crecimiento sostenido de la productividad (Gutiérrez Villca, 2020). Entre los factores externos que condicionan este desempeño destacan la volatilidad de los precios de los commodities y la IED (Kataryniuk & Martinez-Martin, 2017).

Un caso ilustrativo fue el “superciclo de los commodities” de la década de 2000, que impulsó un crecimiento acelerado en países exportadores de materias primas (Gruss, 2014). El fin de este ciclo trajo una brusca desaceleración: entre 2014 y 2019, el crecimiento regional se ubicó muy por debajo del observado en la década previa (CEPAL, 2023).

El impacto de los cambios en los precios internacionales no ha sido homogéneo dentro de la Comunidad Andina. En Colombia, el auge petrolero de 2004-2013 estuvo acompañado por una apreciación cambiaria y la consecuente contracción de sectores no extractivos (Durán &

López, 2017). En Ecuador, el segundo *boom* petrolero¹ (2001-2014) impulsó el crecimiento del sector no transable², explicado más por el aumento del gasto público que por la apreciación cambiaria³ (Mejía Matute & Pinos Luzuriaga, 2021). Bolivia, en cambio, mantiene una estructura de enclave hidrocarburífero que restringe la reasignación de recursos entre sectores y la hace más vulnerable al denominado efecto gasto (Cerezo Aguirre, 2011). Perú, por su parte, consiguió atenuar los impactos adversos sobre la manufactura gracias a la aplicación de políticas fiscales y cambiarias prudentes (Sánchez Dávila, 2023).

La alta concentración exportadora también influye en la orientación de la IED, que se ha dirigido principalmente a sectores primarios en la región (CEPAL, 2021). Ejemplos recientes muestran que en 2019 las exportaciones de petróleo de Colombia y Ecuador superaron los 13 mil y 7,7 mil millones de dólares respectivamente (Banco Mundial, 2019; Universidad Técnica de Ambato, 2020), mientras que las exportaciones de cobre de Perú alcanzaron los 13 mil millones (Gestión, 2020) y las de gas natural de Bolivia rondaron los 2.720 millones (Comunidad Andina, 2020).

En consecuencia, la dependencia simultánea de los precios de commodities y de flujos de IED concentrados en sectores extractivos expone a los países andinos a la volatilidad externa y limita su capacidad de sostener mejoras estructurales en la PTF.

¹ Periodo durante el cual se produce un rápido incremento en los ingresos por exportaciones de petróleo o recursos energéticos, usualmente asociado a precios internacionales elevados, generando expansiones fiscales y económicas temporales. Como señala el Fondo Monetario Internacional (2021), “cuando los países experimentan un gran aumento repentino en los ingresos, a menudo debido a descubrimientos de recursos naturales o a un alza en los precios de las materias primas, las consecuencias pueden ser perjudiciales”.

² Conjunto de bienes y servicios producidos y consumidos localmente que no se comercian internacionalmente, como la construcción, los servicios personales o el comercio interno. Según el Fondo Monetario Internacional (2021), “el sector de bienes no transables incluye típicamente el comercio minorista, la industria de servicios y la construcción”.

³ Incremento del valor de la moneda nacional respecto a otras divisas, lo que encarece las exportaciones y abarata las importaciones. De acuerdo con el Fondo Monetario Internacional (2021), “el aumento de los ingresos en divisas provoca una apreciación de la moneda nacional, lo que hace que las demás exportaciones del país sean más caras y menos competitivas”. Investopedia (2022) añade que esta es una característica típica de la enfermedad holandesa.

1.3 Justificación del Problema

Se analiza cómo los cambios en el mercado internacional, como la caída de los precios de los commodities y los flujos de inversión extranjera directa (IED), afectan la productividad total de los factores (PTF) en los países de la Comunidad Andina, cuyas economías dependen fuertemente de la exportación de materias primas y son altamente sensibles a eventos externos que comprometen su estabilidad macroeconómica (Gruss, 2014; Kataryniuk & Martínez-Martín, 2017).

En este sentido, Daude y Fernández-Arias (2010) señalan que entre el 50 % y el 70 % de la brecha de ingreso per cápita entre América Latina y los países desarrollados, en particular Estados Unidos, se debe a diferencias en la productividad total de los factores (PTF). Elevar la PTF es, por tanto, fundamental para lograr un crecimiento sostenido y reducir desigualdades estructurales. En el caso de los países andinos, la productividad ha mostrado una trayectoria históricamente inestable, determinada en gran medida por factores externos como los precios de las materias primas y la entrada de inversión extranjera directa concentrada en sectores extractivos. Entre 2004 y 2014, el auge en los precios de los commodities permitió un crecimiento promedio de la PTF del 0,9% anual; sin embargo, entre 2014 y 2018, la caída de estos precios provocó una contracción de hasta 1,2%, lo cual evidencia que el crecimiento previo no se sustentó en mejoras estructurales de eficiencia (Moreno & Deza, 2022).

Cabe destacar que no todos los shocks externos son necesariamente adversos. El estudio de Cavalcanti, Mohaddes y Raissi (2015) muestra que un incremento sostenido en los términos de intercambio de commodities (CToT) puede impulsar el PIB per cápita. No obstante, la volatilidad de estos términos tiende a atenuar dicho efecto positivo, especialmente en países con baja capacidad institucional y fiscal. Es fundamental comprender que lo que perjudica el crecimiento económico no es únicamente la abundancia de recursos, sino, sobre todo, la

inestabilidad asociada a sus precios. Este impacto negativo se manifiesta principalmente a través de una menor acumulación de capital físico y humano, y no por una caída directa en la productividad total de los factores (PTF).

A diferencia del estudio de Cavalcanti et al. (2015), el presente trabajo no se centra en los términos de intercambio de commodities, sino que incorpora el análisis de los términos de intercambio (TI) general como un elemento complementario. Este enfoque permite explorar posibles relaciones adicionales relevantes para el crecimiento económico, aunque sin esperar replicar los mismos resultados, ya que la composición de los precios de exportación e importación es más amplia y heterogénea que la de los commodities.

Por su parte, la inversión extranjera directa (IED) ha tenido efectos heterogéneos en las economías receptoras, lo que plantea interrogantes sobre su verdadero aporte al desarrollo. En ciertos contextos, ha promovido la transferencia tecnológica y el fortalecimiento de capacidades locales; sin embargo, en otros casos, se ha concentrado en sectores extractivos con escasos encadenamientos productivos, como lo señala la CEPAL (2021), al advertir que buena parte de la IED en América Latina se ha dirigido a sectores primarios, como minería y energía, sin generar suficientes vínculos con el resto de la economía. Esta dualidad sugiere que el impacto agregado de la IED sobre la productividad total de los factores (PTF) podría no ser estadísticamente significativo o incluso resultar ambiguo, dependiendo de si prevalecen los efectos de derrame tecnológico o la concentración en enclaves económicos de bajo valor agregado, tal como sostiene Gutiérrez Villca (2020), quien destaca que este impacto puede ser incierto si no se establecen condiciones adecuadas para maximizar sus beneficios.

Aunque el estudio de Alvarado et al. (2017) se centra en el vínculo entre la IED y el crecimiento económico, sus hallazgos son reveladores. El efecto de la IED es positivo y significativo en países de ingresos altos, pero en los de ingresos medios y bajos su impacto

tiende a ser débil, desigual o incluso negativo. Esto refuerza la percepción de que la IED, lejos de ser un motor automático de desarrollo, no genera beneficios sostenibles si no se acompaña de ciertas condiciones estructurales e institucionales, como advierte también la CEPAL (2020), al señalar que los beneficios de la IED dependen de capacidades institucionales, políticas industriales activas y marcos regulatorios adecuados.

En consecuencia, comprender los determinantes de la PTF es esencial para el diseño de políticas públicas efectivas en economías en desarrollo. Según Gutiérrez Villca (2020), “la búsqueda de los determinantes de largo plazo de la productividad en una economía en vías de desarrollo es fundamental, dado que permite focalizar las acciones de política a efectos de impulsar el crecimiento económico”. Además, se destaca que la productividad total de los factores (PTF) es la principal fuente del crecimiento económico a largo plazo, por lo que resulta fundamental que los responsables de formular políticas comprendan sus determinantes. En ese sentido, identificar si los impactos sobre la productividad son estructurales o transitorios permite orientar mejor la respuesta pública, ya sea mediante transformaciones o con medidas contra cíclicas específicas.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

- Analizar el impacto de los shocks externos de los precios de los commodities y de la inversión extranjera directa sobre la productividad total de los factores (PTF) para la Comunidad Andina (CAN) entre 1995 y 2019, determinando la naturaleza transitoria o permanente de dichos impactos.

1.4.2 Objetivos específicos

- Estimar un modelo VECM que permita identificar las relaciones de corto y largo plazo entre la PTF, los shocks externos y la IED.

- Aplicar Funciones de Impulso-Respuesta para evaluar la magnitud y duración de los efectos de los shocks sobre la productividad total de los factores.
- Comparar los resultados obtenidos entre los países miembros de la Comunidad Andina, considerando sus diferencias en estructura exportadora y grado de dependencia de los commodities.

1.5 Marco teórico

La Productividad Total de los Factores (PTF) se refiere a la parte del crecimiento económico que no se explica únicamente por el aumento del capital o el trabajo, y se asocia con el progreso tecnológico, la calidad del capital humano, la eficiencia institucional y otros elementos estructurales que mejoran la eficiencia económica (Zymek, 2024). En América Latina, buena parte de la brecha en ingreso per cápita respecto a Estados Unidos se atribuye a un desempeño desigual de la PTF (Daude & Fernández-Arias, 2010).

Desde esta perspectiva, Gutiérrez Villca (2020) identifica cuatro dimensiones clave que influyen en la productividad de países de América del Sur: económica, social, tecnológica y organizacional. Dentro de la dimensión económica, variables como los términos de intercambio y la inversión extranjera directa (IED) suelen tener efectos positivos, mientras que factores estructurales como la informalidad y la desigualdad limitan las mejoras en productividad.

Este análisis cobra especial relevancia en el caso de la Comunidad Andina (CAN), cuya actividad económica depende en gran medida de la exportación de materias primas y de la entrada de capitales (Gruss, 2014; CEPAL, 2023). Esta dependencia expone a la región a la volatilidad de los precios internacionales, generando un reto constante para sostener mejoras en la PTF. Un fenómeno ampliamente estudiado en este contexto es la llamada “Enfermedad

Holandesa”, que describe los efectos adversos que pueden surgir tras una bonanza exportadora de recursos naturales.

1.5.1 Enfermedad Holandesa en la Comunidad Andina

El impacto de las fluctuaciones de los precios de las materias primas no ha sido uniforme en la Comunidad Andina (CAN), a pesar de la alta dependencia regional de los commodities. La evidencia muestra un impacto heterogéneo condicionado por las estructuras económicas y la gestión de la renta en cada país.

Colombia, durante su auge petrolero (2004–2013), presentó una clara manifestación de los tres síntomas clásicos del fenómeno: entrada masiva de divisas, apreciación cambiaria y contracción de los sectores no extractivos. Esto afectó especialmente a la agricultura y la manufactura, debido al llamado "efecto de movimiento de factores", que reorientó recursos hacia el sector extractivo más rentable (Duran & López, 2017).

En Ecuador, durante el *Segundo boom* petrolero (2001–2014), se observaron síntomas distintos. Aunque hubo crecimiento del sector no transable, no se puede atribuir principalmente a una apreciación cambiaria, ya que el país está dolarizado. Más bien, predominó el *efecto gasto*, donde el aumento del gasto público impulsado por los ingresos petroleros dinamizó el consumo y la inversión interna, afectando indirectamente a los sectores transables (Mejía Matute & Pinos Luzuriaga, 2021).

En Bolivia, el caso es atípico, debido a que su sector hidrocarburífero funciona bajo un esquema de “enclave”, con baja vinculación con el resto de la economía. Aunque aún no se ha manifestado plenamente la enfermedad, existe una amenaza futura a través del *efecto gasto*, ya que el ingreso de divisas podría generar presiones inflacionarias y una apreciación del tipo de

cambio real, comprometiendo la competitividad agrícola e industrial (Cerezo Aguirre, 2011; De Mevius & Albarracín, 2008).

Por último, Perú ha logrado mitigar los efectos negativos del fenómeno. A pesar de su alta dependencia de la minería, la aplicación de políticas fiscales contracíclicas y la intervención del Banco Central para evitar una apreciación excesiva del tipo de cambio han permitido una mayor estabilidad macroeconómica y una menor afectación a la PTF (Sánchez Dávila, 2023). La magnitud y el sentido de estos impactos dependen en gran medida de la estructura exportadora y de la capacidad de respuesta institucional de cada país. Curcio y Vilker (2014) muestran que los shocks de precios en soja, petróleo y cobre afectan significativamente el crecimiento económico, aunque sus efectos pueden ser amortiguados mediante políticas de ahorro fiscal y marcos institucionales sólidos.

En esta línea, Roch (2019) construyó un índice de shocks de términos de intercambio de commodities (CToT) que permite identificar impactos diferenciados según la estructura exportadora de cada país. Sus hallazgos indican que estos shocks explican cerca de un tercio de la varianza del PIB, inversión, consumo y tipo de cambio real en países exportadores de materias primas. Asimismo, políticas como la flexibilidad cambiaria, metas de inflación y reglas fiscales han demostrado ser eficaces para mitigar la transmisión de estos choques.

1.5.2 Otros mecanismos que afectan la PTF

El comportamiento de la PTF también está condicionado por el uso que se da a los ingresos extraordinarios derivados del alza de precios de los commodities. Por ejemplo, el caso del cobre muestra cómo mayores ingresos por exportación pueden, si se gestionan adecuadamente, traducirse en inversión pública. En Perú, el aumento del canon minero se asoció con mayores inversiones locales (Aragón & Rud, 2013), aunque no siempre se tradujeron en mejoras sostenidas en productividad por problemas de informalidad y falta de diversificación.

En el caso del petróleo, países como Ecuador y Colombia suelen experimentar un crecimiento de corto plazo vinculado a mayores ingresos fiscales, pero también enfrentan efectos negativos a largo plazo por la volatilidad del recurso, la pérdida de competitividad y el rezago en inversión en sectores no extractivos (Cavalcanti, Mohaddes & Raissi, 2015).

Además, en sectores como el agrícola, el aumento en precios de insumos como el gas natural (clave para los fertilizantes) puede reducir la eficiencia productiva. A nivel global, un alza del 1 % en el precio de fertilizantes puede elevar los precios de alimentos en un 0,45 % (Bogmans et al., 2022), impactando especialmente a países andinos con baja capacidad tecnológica.

Finalmente, la inversión extranjera directa (IED), aunque crucial, ha mostrado resultados mixtos. En la CAN, suele concentrarse en sectores extractivos, con escasa transferencia tecnológica y pocos encadenamientos productivos, limitando su efecto positivo sobre la PTF (Alvarado et al., 2017; CEPAL, 2021).

Capítulo 2

2.1 Metodología.

Se exploraron diversos enfoques econométricos. La contabilidad del crecimiento, aplicada por Hofman et al. (2017), resultó útil para medir la PTF al descomponer el crecimiento en insumos productivos, pero presenta una limitación importante: trata la productividad como el residuo no explicado, sin identificar sus determinantes. Por su parte, los modelos de panel dinámico estimados mediante GMM, empleados por Ramírez Rondán y Aquino (2006), ofrecen solidez teórica para abordar problemas de endogeneidad; sin embargo, su aplicación exige condiciones rigurosas sobre la validez de los instrumentos y un tamaño de panel adecuado, requisitos que no se cumplieron en este caso.

Por lo tanto, se utilizaron directamente los valores de la PTF estimados previamente por la Penn World Table (PWT) y se adoptó un enfoque basado en Modelos de Vectores de Corrección de Errores (VECM). Esta elección, en línea con el trabajo de Curcio y Vilker (2014) para economías sudamericanas, fue la más viable porque permitió distinguir explícitamente entre los efectos transitorios (corto plazo) y permanentes (largo plazo) de los shocks. A diferencia de los modelos estáticos, el VECM estuvo diseñado para analizar sistemas de variables no estacionarias que compartían un equilibrio a largo plazo, una característica fundamental de las series macroeconómicas en economías dependientes de commodities.

2.2 Selección de variables

La selección de variables respondió a la evidencia empírica y teórica sobre economías abiertas y dependientes de recursos naturales, buscando capturar los mecanismos de transmisión de los shocks externos a la productividad.

- Productividad Total de los Factores (PTF): Se usó como variable dependiente. Su evolución capturó las mejoras en la eficiencia y el progreso tecnológico. En línea con los hallazgos de Hofman et al. (2017) para América Latina, el análisis descriptivo de este

estudio (ver Tablas 3.1. a 3.5 del Capítulo 3) muestra un desempeño deficiente de la PTF para los países andinos durante el período de análisis.

- **Inversión Extranjera Directa (IED):** Se esperaba un efecto teóricamente ambiguo. Aunque la IED puede actuar como un canal de transferencia tecnológica, la falta de capacidades institucionales y tecnológicas, junto con su concentración en sectores extractivos con escasa integración productiva, tiende a limitar sus beneficios.
- **Términos de Intercambio (TI):** Se esperaba que shocks positivos en los TI tuvieran un efecto positivo a corto plazo sobre la PTF al aumentar la capacidad de compra del país. Sin embargo, la literatura también advierte que una alta volatilidad puede generar efectos adversos, ya que esta introduce incertidumbre macroeconómica y desincentiva la inversión. De hecho, Cavalcanti et al. (2015) argumentan que un factor importante que perjudica el crecimiento es la volatilidad.
- **Precios de commodities (petróleo, cobre, gas natural):** Dada la alta dependencia de las economías andinas, se esperaba que la volatilidad de estos precios tuviera un efecto fuerte y directo sobre la PTF. Como se detalla en el Capítulo 3, se anticipaba una fuerte heterogeneidad en el impacto de estos precios, donde algunos commodities podrían mostrar un efecto positivo y otros uno negativo.

2.3 Origen de los datos

Se construyó un panel de datos balanceado con observaciones anuales para Bolivia, Colombia, Ecuador y Perú para el período 1995-2019 utilizando fuentes de datos reconocidas internacionalmente:

- La productividad total de los factores (PTF) se obtuvo de la Penn World Table (PWT) versión 10.0 (Feenstra, Inklaar y Timmer, 2015). Esta fuente fue el estándar en la literatura de crecimiento, ya que proporcionó estimaciones de PTF calculadas a partir de

una función de producción Cobb-Douglas que consideraba la calidad del capital humano y físico, permitiendo una comparación rigurosa entre países.

- Los datos de términos de intercambio (TI) y de inversión extranjera directa (IED) se extrajeron de los Indicadores de Desarrollo Mundial (WDI) del Banco Mundial.
- Los precios de los commodities (petróleo Brent, cobre y gas natural) se obtuvieron del “Pink Sheet” del Banco Mundial, un repositorio estándar para precios de materias primas.

Para el análisis, todas las series fueron transformadas a logaritmo natural. Esta transformación, estándar en econometría, permitió que los coeficientes del modelo se interpretaran directamente como elasticidades, facilitando un análisis de cambios porcentuales.

2.4 Selección metodológica

La estrategia econométrica fue diseñada como una secuencia lógica para abordar rigurosamente las propiedades de las series de tiempo y responder a la pregunta de investigación. Cada paso justificó el siguiente:

1. Pruebas de raíz unitaria (ADF): Para evitar el riesgo de regresiones espurias, primero se evaluó la estacionariedad de cada variable. Este paso fue fundamental para determinar si las relaciones debían modelarse en niveles o en diferencias, anticipando, como es común en series macroeconómicas, la posible presencia de raíces unitarias en variables como la PTF y la IED (ver Sección 3.4).
2. Prueba de cointegración de Johansen: Dado que las variables clave podrían presentar un comportamiento no estacionario, se verificó si existía una relación de equilibrio estable a largo plazo entre ellas. Se esperaba que los resultados (ver Sección 3.6) pudieran confirmar la existencia de una o más relaciones de cointegración, validando el enfoque.
3. Estimación del Modelo VECM: Tras confirmar la cointegración, se estimó un modelo de Vectores de Corrección de Errores (VECM) como herramienta principal. Su elección fue

la consecuencia directa de los diagnósticos previos, permitiendo separar los efectos de corto plazo de las relaciones de equilibrio a largo plazo.

4. Función Impulso-Respuesta (FIR): Como paso final, se aplicaron las FIR derivadas del VECM estimado para visualizar la dinámica del sistema. Esta técnica permitió simular cómo reacciona la productividad ante un shock inesperado en las demás variables a lo largo de un horizonte de 10 años. Así, se pudo observar gráficamente la magnitud, dirección y persistencia de los impactos, determinando si eran de naturaleza transitoria o permanente.

2.5 Diseño conceptual y operativo

El estudio siguió un enfoque cuantitativo, explicativo y longitudinal. La hipótesis de investigación central fue que los shocks en los precios de los commodities y los flujos de IED afectaban de manera estructural y permanente a la PTF en los países andinos. Por lo tanto, las hipótesis a ser probadas mediante la prueba de cointegración fueron:

$$\begin{cases} H_0: r = 0 \\ H_1: r > 0 \end{cases} \quad (2.5.1)$$

En este contexto, la hipótesis nula (H_0) supone que no existe una relación de largo plazo entre la PTF y las variables externas (como precios de commodities e IED). Si esta hipótesis no se rechaza, se concluye que los efectos de los shocks externos son transitorios. En cambio, si se rechaza H_0 , se acepta que existe una relación de cointegración, lo que implica que los shocks tienen efectos estructurales y permanentes sobre la PTF.

2.6 Especificación del modelo principal

Se fundamentó cómo los distintos shocks impactaban la PTF tanto en el corto como en el largo plazo, comenzando con un modelo estático como base para avanzar hacia el modelo dinámico final.

2.6.1. Modelo estático inicial (MCO) como análisis preliminar

Aunque el modelo principal de este trabajo fue un VECM, el análisis comenzó con una regresión de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO) con efectos fijos por país. Esta estimación inicial fue un paso metodológico deliberado que sirvió para tres propósitos: para obtener una primera aproximación de las relaciones entre las variables; comprobar la validez teórica y empírica de las variables seleccionadas; explorar los efectos de corto plazo y justificar la transición hacia un modelo dinámico.

La especificación del modelo MCO fue la siguiente:

$$PTF_{it} = \alpha_i + \beta_1 \cdot TI_{it} + \beta_2 \cdot IED_{it} + \beta_3 \cdot Oil_{it} + \beta_4 \cdot Copper_{it} + \beta_5 \cdot Gas_{it} + \varepsilon_{it}$$

(2.6.1)

- α_i : Parámetro que capturó los efectos fijos inobservables y específicos de cada país, como la geografía, la cultura institucional o ventajas comparativas no medidas.
- PTF_{it} : Productividad Total de los Factores para el país i en el año t.
- TI_{it} : Términos de Intercambio.
- IED_{it} : Inversión Extranjera Directa (% del PIB).
- Oil_{it} : Precio internacional del petróleo (Brent).
- $Copper_{it}$: Precio internacional del cobre.
- Gas_{it} : Índice del precio del gas natural.
- Los parámetros β_1, \dots, β_5 midieron la elasticidad de la PTF con respecto a cada una de las variables explicativas:
 - Petróleo (Brent) y Gas Natural: Se incluyeron por su relevancia para las economías de Ecuador, Colombia y Bolivia. El modelo MCO permitió una primera evaluación sobre si estos *commodities* generaban efectos de *Enfermedad Holandesa*.

- Cobre: Fundamental para la economía peruana. Se esperaba que su efecto sobre la PTF fuera positivo, no solo por el efecto ingreso, sino también por los posibles encadenamientos productivos y la modernización asociada a su extracción.
- ε_{it} : Término de error idiosincrático, que recogió todos los demás factores no observados que afectaban a la PTF.

El supuesto econométrico fundamental de este modelo inicial fue la hipótesis nula de que no existía una relación estadísticamente significativa entre las variables explicativas y la PTF, es decir, $H_0: (\beta_K = 0)$. Como se detalló en el Capítulo 3, los resultados de este modelo preliminar sirvieron para validar la relevancia de las variables explicativas y ofrecieron una primera visión sobre la dirección y significancia de sus efectos, justificando su inclusión en el modelo dinámico posterior.

2.6.2 Modelos dinámicos

La pregunta central de esta investigación fue determinar si los shocks externos tenían efectos transitorios o permanentes sobre la PTF. Para responderla, la metodología debía ser capaz de separar las dinámicas de corto plazo de las relaciones estructurales de largo plazo. Fue aquí donde el enfoque de modelos dinámicos se volvió indispensable. Las pruebas de raíz unitaria (ADF) se utilizaron para diagnosticar la naturaleza de las series temporales. Dado el comportamiento típico de estas series, se partió del supuesto de que podrían ser no estacionarias (lo que se verifica en la Sección 3.4), por lo que una regresión simple como la MCO podía llevar a conclusiones erróneas. La prueba de cointegración de Johansen se aplicó entonces para contrastar directamente la hipótesis de investigación: si se encontraba cointegración (como se reporta en la Sección 3.6), se rechazaría la hipótesis nula (H_0) y se aceptaría la hipótesis alternativa (H_1) de que los shocks tenían un componente permanente. La confirmación de cointegración fue el puente que justificó la estimación de un VECM.

2.6.3 El modelo VECM

Se llegó al VECM como la consecuencia lógica de haber encontrado variables no estacionarias que estaban cointegradas:

$$\Delta Y_t = \Pi Y_{t-1} + \sum_{i=1}^{p-1} \Gamma_i \Delta Y_{t-i} + \mu + \varepsilon_t \quad (2.6.3.1)$$

- El Componente de Largo Plazo ΠY_{t-1} : También conocido como el "término de corrección de error", capturó la relación de equilibrio permanente. La matriz $\Pi = \alpha\beta'$ contenía los coeficientes de la relación de largo plazo (β) y la velocidad de ajuste hacia ese equilibrio (α). La existencia de este término, confirmada por la prueba de Johansen, demostró que los shocks tenían efectos duraderos.
- El Componente de Corto Plazo $\sum_{i=1}^{p-1} \Gamma_i \Delta Y_{t-i}$: Estos fueron los términos de las variables en diferencias rezagadas. Capturaron las dinámicas transitorias y cómo las variables se afectaban mutuamente en el corto plazo.

De esta manera, la especificación del VECM permitió cuantificar y separar los efectos permanentes de los transitorios.

2.6.4 Funciones de Impulso-Respuesta (FIR)

Finalmente, se utilizaron las Funciones de Impulso-Respuesta (FIR) como una herramienta de visualización derivada del VECM estimado. Esta técnica permitió simular cómo reacciona la productividad total de los factores (PTF) ante un cambio inesperado (shock) en variables como los términos de intercambio (TI), la inversión extranjera directa (IED) o los precios internacionales.

Para ello, se trazó el efecto de un shock sobre las variables del sistema a lo largo de un horizonte de 10 años. Esto permitió observar gráficamente la magnitud, la dirección y, lo más importante, la persistencia de los impactos, mostrando si un shock se disipaba rápidamente (efecto transitorio) o si tenía un efecto duradero (efecto permanente).

Las Funciones de Impulso-Respuesta (FIR) se estimaron mediante la descomposición de Cholesky, una técnica estándar que permite identificar shocks ortogonales y analizar el impacto independiente de cada variable sobre la PTF. Esta metodología ha sido ampliamente utilizada en macroeconomía y forma parte de los desarrollos en modelos estructurales como los planteados por Blanchard y Quah (1989), quienes introdujeron un enfoque alternativo basado en restricciones de largo plazo. Los gráficos resultantes se presentan y analizan en el Capítulo 3.

2.7. Población y muestra

La población de este estudio correspondió a los cuatro países miembros de la Comunidad Andina (CAN): Bolivia, Colombia, Ecuador y Perú. Se eligió este grupo por sus similitudes estructurales como economías dependientes de la exportación de materias primas y su alta sensibilidad a shocks externos. La muestra consistió en un panel de datos balanceado con observaciones anuales para cada país durante el período de 1995 a 2019, donde la unidad de análisis fue el país-año.

2.8. Justificación final del diseño

La metodología adoptada permite evaluar el impacto de los shocks externos sobre la productividad desde una perspectiva causal y estructural. La combinación de regresiones OLS, pruebas de integración, modelos VECM y análisis dinámico (FIR) proporciona evidencia robusta y replicable. Autores como Curcio y Vilker (2014) y Ramírez y Aquino (2006) respaldan esta estrategia para el estudio de la productividad en América Latina.

Capítulo 3

3.1 Resultados y análisis

En este capítulo se presentan los resultados empíricos obtenidos tras la aplicación del modelo de corrección del error vectorial (VECM) para analizar la interrelación dinámica entre la productividad total de los factores (PTF), la inversión extranjera directa (IED), los precios de los principales commodities (petróleo, cobre y gas natural) y los términos de intercambio en los países de la Comunidad Andina (CAN).

En primera instancia, para comprender el comportamiento de las variables en el modelo e identificar posibles patrones o valores atípicos en los datos, se presentan las estadísticas descriptivas.

Tabla 3.1.

Estadística descriptiva Commodities

<i>Variable</i>	<i>Media</i>	<i>Mediana</i>	<i>Sd</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
<i>Petróleo</i>	3,836632	3,996609	0,676719	2,542904	4,718191
<i>Cobre</i>	8,321708	8,580552	0,616732	7,352106	9,085705
<i>Gas Natural</i>	4,367788	4,445396	0,439651	3,589617	5,191723

Como se aprecia en la Tabla 3.2, la productividad total de los factores (PTF) en Ecuador registra un promedio negativo de -0,827 durante el período analizado, según los datos de la Penn World Table (Feenstra et al., 2015). Este resultado se relaciona con la elevada dependencia del país respecto al sector de hidrocarburos, la economía ecuatoriana ha mostrado históricamente una alta vulnerabilidad a los shocks en los precios del crudo, que en 2008 llegó a representar el 61,7 % de las exportaciones totales (Curcio & Vilker, 2014). Esta marcada concentración productiva expone a la economía a episodios recurrentes de volatilidad macroeconómica (Gruss, 2014; Kataryniuk & Martínez-Martín, 2017).

Un factor institucional clave que agrava esta vulnerabilidad es la dolarización, adoptada en el año 2000 tras la severa crisis financiera de 1999. Al carecer de política monetaria y cambiaria propia, Ecuador no puede devaluar su moneda para absorber shocks externos, obligando a que los ajustes se den vía contracción de la actividad económica (Curcio & Vilker, 2014). Esta dinámica se evidenció durante la crisis por la caída de los precios del petróleo en 2014-2016; el informe de la CEPAL (2017) constata que "en el Ecuador la actividad económica se contrajo durante 2016", vinculando esta caída a la contracción de sus exportaciones de hidrocarburos tanto en precio como en volumen.

En cuanto a la IED, los datos de Ecuador muestran una media de 0,171, la más baja del grupo andino. Este resultado es un reflejo de un clima de inversión menos favorable en comparación con sus pares, marcado por una recurrente inestabilidad institucional. Este entorno se agudizó hacia el final del período de estudio; por ejemplo, en 2018, la economía ecuatoriana se vio afectada por un "contexto internacional adverso con mayor volatilidad financiera" y un riesgo país que aumentó casi 200 puntos a partir de marzo (CEPAL, 2018). Adicionalmente, el país entró en un proceso de consolidación fiscal que, si bien buscaba estabilizar las finanzas públicas, implicó una fuerte contracción del gasto de capital (-20,3%), enviando señales de desaceleración económica a los inversionistas (CEPAL, 2018).

Tabla 3.2.

Estadística descriptiva de Ecuador

<i>Variable</i>	<i>Media</i>	<i>Mediana</i>	<i>Sd</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
PTF	-0,827	-0,825	0,055	-0,915	-0,708
IED	0,171	0,230	0,729	-1,413	1,194
TI	4,620	4,623	0,214	4,271	4,948

Perú exhibe una PTF promedio también negativa de -0,781, pero con la desviación estándar más elevada del grupo (0,116), como se muestra en la Tabla 3.3, lo que refleja una economía de ciclos pronunciados. Este comportamiento está directamente ligado a su historia económica en el período: tras superar la inestabilidad de finales de la década de 1990 y el retorno a un régimen democrático en 2001, el país se benefició enormemente del "superciclo de los commodities" (2003-2011), impulsado por la demanda externa de metales (Gruss, 2014). El cobre, su principal producto de exportación, fue el motor de un crecimiento notable que atrajo flujos masivos de IED, lo que explica que Perú presente el promedio más alto del grupo (1,291).

Sin embargo, a pesar de mantener un marco macroeconómico elogiado por su estabilidad y resiliencia (FMI, 2019), la frecuente inestabilidad institucional y la alta rotación administrativa impidieron que la bonanza de los commodities se tradujera en mejoras estructurales de la productividad. La persistencia de una elevada informalidad laboral, que hacia el final del período de estudio afectaba a más del 72% de la población ocupada (INEI, 2020), junto a los recurrentes y crecientes conflictos socioambientales ligados a la minería que solo en 2019 representaban más del 65% de todos los conflictos sociales del país (Defensoría del Pueblo, 2020), limitaron severamente los derrames de productividad del sector extractivo al resto de la economía. Esto explica por qué, a pesar de los altos y volátiles flujos de inversión, la productividad promedio se mantuvo negativa.

Tabla 3.3.

Estadística descriptiva de Perú

<i>Variable</i>	<i>Media</i>	<i>Mediana</i>	<i>Sd</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
PTF	-0,781	-0,782	0,116	-0,968	-0,572
IED	1,291	1,352	0,399	0,448	1,996
TI	4,485	4,582	0,237	4,109	4,822

El desempeño económico de Bolivia entre 1995 y 2019 evidencia una productividad particularmente baja, como se aprecia en la Tabla 3.4, en línea con los hallazgos reportados por el Banco Interamericano de Desarrollo (IDB Invest, 2022). Según este organismo, la PTF habría restado aproximadamente -0,8 puntos porcentuales al crecimiento anual promedio del 3,5 % registrado entre 2000 y 2020, lo que revela un problema estructural persistente en la economía boliviana.

La primera etapa (1995-2005) estuvo marcada por reformas orientadas al mercado y privatizaciones en sectores como el agua y la energía, que desencadenaron movilizaciones masivas (Euler, 2017). Conflictos emblemáticos como la "Guerra del Agua" en Cochabamba en el año 2000 (Razavi, 2022; Shultz, s.f.) y la "Guerra del Gas" entre 2003 y 2005 fueron respuestas directas a estas políticas, generando una profunda inestabilidad social y la anulación de contratos (Euler, 2017).

A partir de 2006, la administración del Movimiento al Socialismo (MAS) adoptó el "Modelo Económico Social Comunitario Productivo" (MESCP), un nuevo paradigma que asignó al Estado un rol protagónico en la gestión económica y social, impulsando la nacionalización del sector de los hidrocarburos (IDB Invest, 2022). Si bien esta política incrementó los ingresos fiscales y financió programas sociales, también concentró la IED casi exclusivamente en el sector gasífero, desincentivando la diversificación económica y la inversión en otros sectores (IDB Invest, 2022).

No obstante, la economía boliviana siguió enfrentando desafíos estructurales persistentes. El país se mantuvo altamente vulnerable a choques externos, dado que cerca del 80 % de su canasta exportadora se concentra en productos primarios, como hidrocarburos y minerales (IDB Invest, 2022). Además, el mercado laboral boliviano exhibe una alta tasa de informalidad, que afecta a 8 de cada 10 trabajadores, y una baja productividad laboral, estimada en apenas USD 8

por hora trabajada, según la CEPAL (La Razón, 2024). Todos estos factores contribuyeron a limitar la diversificación productiva y el desarrollo estructural del país.

Tabla 3.4.

Estadística descriptiva de Bolivia

<i>Variable</i>	<i>Media</i>	<i>Mediana</i>	<i>Sd</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
PTF	-0,829	-0,823	0,124	-1,023	-0,632
IED	1,255	1,152	0,832	-0,293	2,501
TI	4,687	4,601	0,222	4,405	5,111

Colombia muestra el promedio de PTF menos negativo del grupo (-0,506) y la desviación estándar más baja (0,090), como se detalla en la Tabla 3.5, lo que sugiere una mayor resiliencia económica durante el período de estudio. Este resultado se explica por un cambio estructural significativo que dividió el período en dos fases. La primera (1995-2002) estuvo marcada por un entorno adverso, que incluyó la peor recesión económica del siglo XX en 1999 y una intensificación del conflicto armado interno, factores que deprimieron la inversión y la productividad (Ocampo, 2024).

A partir del año 2000, y de manera más pronunciada desde 2002, se observa un punto de inflexión. Una nueva estrategia de seguridad interna generó una "nueva sensación de confianza y seguridad" que mejoró las expectativas empresariales y estimuló la demanda interna y la inversión (Curcio & Vilker, 2014). Esto se refleja en un flujo de IED sostenido (promedio de 1,197) que se dirigió no solo al sector petrolero, sino también a otros ámbitos (Curcio & Vilker, 2014). Esta mayor estabilidad fue complementada por la consolidación de un marco de políticas robusto, que incluyó la adopción de un régimen de metas de inflación, un tipo de cambio flexible y la creación de fondos de estabilización petrolera para gestionar la volatilidad de los ingresos por hidrocarburos (Curcio & Vilker, 2014). Este conjunto de factores, junto a una economía

estructuralmente más diversificada, permitió a Colombia absorber mejor los shocks externos y explica por qué su desempeño en productividad fue el menos adverso del grupo.

A pesar de este desempeño relativamente favorable, es importante matizar que la resiliencia de Colombia no implica inmunidad ante todos los shocks externos. De hecho, como se evidencia en la sección 3.3, el precio del gas natural mostró un efecto negativo y estadísticamente significativo sobre la PTF del país. Este resultado sugiere que, aunque Colombia logró mantener una productividad más estable en el promedio del período, ciertos shocks individuales, como los vinculados a insumos energéticos, también representaron restricciones relevantes para su eficiencia agregada.

Tabla 3.5.

Estadística descriptiva de Colombia

<i>Variable</i>	<i>Media</i>	<i>Mediana</i>	<i>Sd</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
PTF	-0,506	-0,503	0,090	-0,645	-0,373
IED	1,197	1,376	0,418	0,046	1,950
TI	4,684	4,738	0,238	4,312	5,115

3.2 Regresión MCO de impacto de shocks externos

Como se mencionó en el capítulo 2, se estimó un modelo de regresión lineal múltiple mediante Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO) con el objetivo de identificar la relación directa entre la PTF (variable dependiente) y la IED, TI, y los precios commodities (petróleo, cobre y gas natural) para los países de la CAN.

En el modelo de panel con efectos fijos por país (Tabla 3.6) se evidenció un ajuste aceptable ($R^2_{within}=0,60$) y resultados de gran relevancia analítica. Se observa un efecto

negativo y significativo del TI (-0.2014) sobre la PTF, un hallazgo que, aunque contraintuitivo, es consistente con la teoría de la *Enfermedad Holandesa*.

El impacto negativo del gas natural (-0,1468) también es significativo y es impulsado principalmente por Bolivia, cuya canasta exportadora depende en un 26% de este recurso. Por otro lado, la IED (0,0407) y el precio del cobre (0,1544) muestran una relación positiva y significativa. Esto concuerda con la literatura que resalta el potencial de la IED como canal de difusión tecnológica (Gutiérrez Villca, 2020) y con estudios que sugieren que la minería moderna en la región andina, especialmente en el caso del cobre en Perú, ha generado un círculo virtuoso de innovación tecnológica. Según la CEPAL (2021), este proceso ha permitido el desarrollo de una red de proveedores locales especializados, promoviendo encadenamientos productivos hacia atrás que fortalecen la eficiencia del aparato productivo nacional. Finalmente, el precio del petróleo no resultó estadísticamente significativo en el modelo agregado (p-valor de 0,0636), según se muestra en la Tabla 3.6, sugiriendo que su impacto no es homogéneo en el panel, a pesar de ser la principal exportación de Ecuador y Colombia.

Tabla 3.6.

Regresión lineal múltiple - Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO)

<i>Resumen de la Estimación PanelOLS</i>					
Variable Dependiente:	ctfp		R-cuadrado:	0,60	
Estimador:	PanelOLS		R-cuadrado (Between):	-0,03	
No. Observaciones:	97		R-cuadrado (Within):	0,60	
Estimador de Varianza:	No ajustado		R-cuadrado (Overall):	0,184	
Países	4		Estadístico F (robust):	26,481	
Periodos	25		Valor P	0.0000	
			Distribución:	F(5,88)	
<i>Estimación de Parámetros</i>					
Parámetro	Error Estan.	Estadís. T	Valor P	IC Inferior	IC Superior

constante	-0,816	0,338	-2,410	0,018	-1,488	-0,143
TI	-0,201	0,088	-2,296	0,024	-0,376	-0,027
IED	0,041	0,012	3,274	0,002	0,016	0,065
Petróleo	0,087	0,046	1,879	0,064	-0,005	0,179
Cobre	0,154	0,033	4,749	0,000	0,090	0,219
Gas Natural	-0,147	0,033	-4,508	0,000	-0,212	-0,082

Prueba F para agrupabilidad: 127.99

Valor P: 0.0000

Distribución: F(3,88)

Nota. La variable dependiente del modelo es la Productividad Total de los Factores (PTF). Las variables TI, IED, Petróleo, Cobre y Gas Natural son las variables explicativas. Los coeficientes (Parámetro) representan el impacto de cada variable sobre la PTF. El valor p indica la significancia estadística: un valor menor a 0,05 señala que la relación es significativa. El R-cuadrado (Within) mide el porcentaje de la variabilidad de la PTF explicada por el modelo dentro de cada país. *Elaboración propia con base en datos del Banco Mundial y Penn World Table (2023).*

3.3 Regresiones individuales por país

Al estimar regresiones individuales (Tabla 3.7), se confirma la heterogeneidad estructural de las economías andinas. El precio del cobre emerge como un factor consistentemente positivo y significativo para la PTF en los cuatro países. Esto subraya su importancia estructural como catalizador de productividad, lo cual es especialmente relevante para Perú, donde los minerales, con el cobre a la cabeza, dominan el perfil exportador (25,7% de sus exportaciones de commodities). En contraste, el gas natural presenta un efecto negativo y significativo en Bolivia (-0,270), lo cual es coherente con su perfil de alta dependencia. Sorprendentemente, también es negativo para Colombia (-0,229), dado que el gas no es un producto de exportación líder para Colombia (UNCTAD, 2023); este resultado podría indicar su relevancia como insumo energético

estratégico, cuya volatilidad de precios afecta los costos de producción y la competitividad de otras industrias. Para Ecuador, el gas no es significativo, lo cual es lógico ya que su dependencia energética es del petróleo crudo. Este análisis desagregado resalta que el precio del cobre es la variable externa que presenta un impacto significativo sobre la PTF en cada uno de los países de la CAN.

Tabla 3.7.

Estimación mediante MCO por país entre PTF y los precios de Commodities

<i>País</i>	<i>Variable</i>	<i>Coefficiente</i>	<i>p-value</i>
Ecuador	Constante	-1,154	0,001
Ecuador	Petróleo	-0,048	0,389
Ecuador	Gas natural	-0,065	0,152
Ecuador	Cobre	0,095	0,039
Perú	Constante	-2,231	0,000
Perú	Petróleo	-0,018	0,785
Perú	Gas natural	-0,010	0,845
Perú	Cobre	0,188	0,002
Bolivia	Constante	-1,169	0,031
Bolivia	Petróleo	0,158	0,025
Bolivia	Gas natural	-0,270	0,000
Bolivia	Cobre	0,110	0,048
Colombia	Constante	-0,606	0,075
Colombia	Petróleo	0,057	0,355
Colombia	Gas natural	-0,229	0,000
Colombia	Cobre	0,106	0,039

3.4 Análisis de estacionariedad y orden de integración

Primero se evaluó la estacionariedad de las series temporales mediante la prueba de raíz unitaria ADF (Augmented Dickey-Fuller). Los resultados mostraron que las variables de los términos de intercambio (TI), precios del petróleo, precio del cobre y el precio del Gas natural son estacionarias en niveles I(0).

Tabla 3.8.

Prueba Dickey-Fuller PTF

<i>Variable</i>	<i>Estadístico ADF</i>	<i>P-value</i>	<i>Estacionariedad</i>
PTF	-0,999	0,7536	No estacionaria

Tabla 3.9.

Prueba Dickey-Fuller TI

<i>Variable</i>	<i>Estadístico ADF</i>	<i>P-value</i>	<i>Estacionariedad</i>
TI	-4,657	0,0001	Estacionaria

Tabla 3.10.

Prueba Dickey-Fuller IED

<i>Variable</i>	<i>Estadístico ADF</i>	<i>P-value</i>	<i>Estacionariedad</i>
IED	-2,519	0,111	No estacionaria

Tabla 3.11.

Prueba Dickey-Fuller Petróleo

<i>Variable</i>	<i>Estadístico ADF</i>	<i>P-value</i>	<i>Estacionariedad</i>
Petróleo	-8,879	0,000	Estacionaria

Tabla 3.12.*Prueba Dickey-Fuller Cobre*

<i>Variable</i>	<i>Estadístico ADF</i>	<i>P-value</i>	<i>Estacionariedad</i>
Cobre	-4,874	0,000	Estacionaria

Tabla 3.13.*Prueba Dickey-Fuller Gas Natural*

<i>Variable</i>	<i>Estadístico ADF</i>	<i>P-value</i>	<i>Estacionariedad</i>
Gas Natural	-6,379	0,000	Estacionaria

Por otro lado, tanto la Productividad Total de los Factores (PTF) como la Inversión Extranjera Directa (IED) no son estacionarias en niveles, es decir, presentan un comportamiento de caminata aleatoria. Sin embargo, ambas se vuelven estacionarias al aplicar la primera diferencia, lo que indica que están integradas de orden uno, $I(1)$, lo que da una guía preliminar para el uso de un modelo VECM. La teoría econométrica establece que, para modelar relaciones de equilibrio a largo plazo junto con dinámicas de ajuste de corto plazo, las variables deben ser no estacionarias e integradas del mismo orden, típicamente $I(1)$ (Enders, 2014).

Tabla 3.14.*Prueba Dickey-Fuller aplicada a la primera diferencia de la PTF*

<i>Variable</i>	<i>Estadístico ADF</i>	<i>P-value</i>	<i>Estacionariedad</i>
D_PTF	-6,534	0,000	Estacionaria

Tabla 3.15.*Prueba Dickey-Fuller aplicada a la primera diferencia de la IED*

<i>Variable</i>	<i>Estadístico ADF</i>	<i>P-value</i>	<i>Estacionariedad</i>
-----------------	------------------------	----------------	------------------------

D_IED -8,791 0,000 Estacionaria

3.5 Selección del número óptimo de rezagos

Para establecer el número de rezagos en el modelo se utilizó los criterios de información Akaike (AIC), Schwarz (BIC), Final Prediction error y Hannan-Quinn (HQ) que se presentan en la Tabla 3.16. Empleando el criterio de Akaike (AIC) como criterio que prioriza la minimización de pérdida de información, resultó óptimo un número de cinco rezagos. Esto implica que la relación de corto plazo en el modelo considera la influencia de las variables con hasta cinco periodos pasados.

Tabla 3.16.

Selección del orden de rezagos según criterios de información

	<i>AIC</i>	<i>BIC</i>	<i>FPE</i>	<i>HQIC</i>
0	-22,23	-20,91*	2,21E-07	-21,78
1	-22,01	-19,7	2,80E-10	-21,88
2	-22,38	-19,06	2,00E-10	-21,84
3	-22,96	-18,65	1,18E-10	-21,22
4	-23,88	-18,58	5,16E-11	-21,74*
5	-24,17*	-17,88	4,41E-11*	-21,63

Nota. El orden óptimo de rezagos se determina con base en los indicadores de Akaike (AIC), Schwarz (BIC), Hannan-Quinn (HQIC) y el Error de Predicción Final (FPE). El valor que minimiza estos índices se considera el más adecuado para garantizar la solidez del modelo.

Elaboración propia con base en resultados de estimaciones econométricas.

3.6 Prueba de cointegración de Johansen

Bajo el supuesto de un modelo con constante sin tendencia determinística, se aplicó la prueba de cointegración de Johansen sobre las variables PTF e IED, ambas integradas de orden

uno I(1). No obstante, según el estadístico de traza mostrado en la Tabla 3.17, los resultados fueron inferiores a los valores críticos, por lo que no se pudo rechazar la hipótesis nula de ausencia de relaciones de cointegración. En consecuencia, no se justifica la estimación de un modelo VECM para este caso.

Tabla 3.17.

Prueba de cointegración Johansen para un modelo bivariado

Hipótesis nula (H_0)	Estadístico de traza	Valor crítico 95%	H_0
≤ 0 relaciones de cointegración	8,94	15,49	No se rechaza
≤ 1 relaciones de cointegración	1,27	3,84	No se rechaza

Por lo tanto, se realizó la prueba de Johansen sobre el sistema de variables, incluyendo todas las variables tanto las I(1) y las I(0). Los resultados indicaron la existencia de al menos tres vectores de cointegración al 5% de significancia. Esto demuestra que existe una relación de equilibrio a largo plazo entre las variables no estacionarias, condicionada por las variables estacionarias del sistema. Es decir, existe al menos una combinación lineal que sí es estacionaria (las variables se mueven de manera conjunta en el largo plazo), a pesar de que las series son no estacionarias en niveles.

Tabla 3.18.

Prueba de cointegración Johansen para un modelo multivariado

Hipótesis nula (H_0)	Estadístico de traza	Valor crítico 95%	H_0
≤ 0 relaciones de cointegración	251,13	95,75	Se rechaza
≤ 1 relaciones de cointegración	143,41	69,82	Se rechaza
≤ 2 relaciones de cointegración	63,22	47,85	Se rechaza
≤ 3 relaciones de cointegración	15,86	29,8	No se rechaza
≤ 4 relaciones de cointegración	5,46	15,49	No se rechaza

≤ 5 relaciones de cointegración 0,84 3,84 *No se rechaza*

Nota. La prueba de cointegración de Johansen evalúa si existe una relación de equilibrio a largo plazo entre las variables. Los resultados indican que se rechaza la hipótesis nula (H_0) para ≤ 0 y ≤ 1 relaciones, lo que confirma la existencia de al menos tres vectores de cointegración en el sistema.

Elaboración propia con base en cálculos econométricos.

3.7 Interpretación de los vectores de cointegración

El primer vector β_1 representa la relación de equilibrio más estable en el largo plazo (la combinación lineal más robusta). Para realizar las interpretaciones necesarias para responder la pregunta de investigación se reescriben los vectores (Tabla 3.19.) normalizando la variable del PTF, de esta forma analizar el impacto al considerar la magnitud y los signos de los coeficientes.

$$PTF = -0,05 \cdot IED_t + 1,01 \cdot TI_t + 14,438 \text{ Petroleo}_t - 23,190 \cdot \text{Cobre}_t + 2,267 \cdot \text{Gas natural}_t + \varepsilon_{1t} \quad (3.6.1)$$

La ecuación 3.6.1 representa la relación de equilibrio a largo plazo entre la PTF y las variables explicativas. El término de error ε_{1t} refleja los desajustes respecto al equilibrio. En esta ecuación, un aumento en la IED y el precio del cobre tiene un impacto negativo en la PTF, mientras que un aumento en el TI, el precio del petróleo y el gas natural está asociado con un aumento en la PTF.

$$PTF = 0,2374 \cdot IED_t + 1,6675 \cdot TI_t - 13,650 \cdot \text{Petroleo}_t + 11,376 \cdot \text{Cobret}_t + 17,386 \cdot \text{GasNatural}_t + \varepsilon_{2t} \quad (3.6.2)$$

Por otro lado, el segundo vector β_2 describe una alternativa en la que las variables están cointegradas con la PTF. En esta ecuación, un aumento en la IED, el TI, el precio del cobre y el precio del gas natural está asociado con un aumento en la PTF, mientras que un aumento en el precio del petróleo tiene un impacto negativo sobre la PTF.

La existencia de múltiples vectores de cointegración, que muestran relaciones de largo plazo con signos opuestos para variables clave, no es una contradicción. Más bien, evidencia la complejidad del sistema económico andino, donde no existe una única relación de equilibrio estable.

Dado que la interpretación teórica de cada vector puede ser ambigua, el análisis posterior no se enfoca en escoger uno sobre otro. En su lugar, la confirmación de que existe una relación de largo plazo (es decir, que las variables están cointegradas) es el resultado fundamental que justifica el paso siguiente: estimar el modelo VECM para analizar la velocidad de ajuste y las dinámicas de corto plazo.

Tabla 3.19.

Vectores de cointegración

<i>Variable</i>	β_1	β_2	B_3
<i>PTF</i>	0,776	-1,155	-0,593
<i>IED</i>	0,039	0,274	-0,166
<i>TI</i>	-0,784	1,926	0,698
<i>Petróleo</i>	-11,204	-15,765	17,498
<i>Cobre</i>	17,996	13,138	-10,930
<i>Gas natural</i>	-1,759	20,079	-9,033

Nota. Los vectores de cointegración representan las relaciones de equilibrio a largo plazo entre las variables. Los signos y magnitudes de los coeficientes se interpretan después de normalizar el vector, dividiéndolo por el coeficiente de la PTF, tal como se ilustra en las expresiones 3.6.1 y 3.6.2. Este proceso permite determinar la dirección e intensidad del impacto de cada variable sobre la PTF en el largo plazo. *Elaboración propia con base en cálculos de Johansen estimados por las autoras.*

3.8 Estimación del modelo VECM

Se estimó un modelo VECM multivariado incluyendo la productividad total de los factores (PTF), la inversión extranjera directa (IED), los términos de intercambio (TI) y los precios internacionales del petróleo (Brent), cobre y gas natural como variables endógenas. Lo que permitió identificar las relaciones dinámicas de corto plazo y las correcciones hacia el equilibrio de largo plazo.

3.8.1 Interpretación de los coeficientes de corto plazo

Al analizar los coeficientes de corto plazo del modelo VECM (Tabla 3.20) se puede identificar los efectos de las variables endógenas sobre la PTF a través de sus valores rezagados. Por ejemplo, para la ecuación de la PTF se observa que un aumento del precio del gas natural tiene un efecto negativo persistente con rezagos de 2, 3 y 4 periodos (L2, L3, L4), en la productividad en el corto plazo. Lo que puede estar relacionado al aumento en los precios de insumos agrícolas como los fertilizantes, afectando indirectamente a la productividad de los países agro-dependientes. Por el contrario, un incremento en el precio del petróleo tiene un efecto positivo con 3 rezagos, como posible resultado de la reasignación de recursos a estos sectores volviéndose más eficientes o atractivos a inversiones como se mencionó en el Capítulo 2. El TI también presenta un efecto negativo con tres rezagos sobre la PTF, mientras que el efecto del IED no es estadísticamente significativo.

Tabla 3.20.

Estimaciones de los coeficientes de corto plazo para la ecuación de PTF en el modelo VECM

<i>Variable</i>	<i>Coefficiente</i>	<i>Error Estándar</i>	<i>z</i>	<i>P> z </i>	<i>[0.025</i>	<i>0.975]</i>
<i>L1.PTF</i>	-0,073	0,116	-0,630	0,529	-0,302	0,155
<i>L1.IED</i>	-0,014	0,009	-1,492	0,136	-0,033	0,004
<i>L1.TI</i>	-0,016	0,077	-0,209	0,834	-0,168	0,135

<i>L1.Petróleo</i>	0,038	0,075	0,511	0,609	-0,109	0,185
<i>L1.Cobre</i>	0,116	0,071	1,624	0,104	-0,024	0,256
<i>L1.Gas natural</i>	-0,094	0,054	-1,758	0,079	-0,200	0,011
<i>L2.PTF</i>	0,050	0,109	0,461	0,645	-0,163	0,263
<i>L2.IED</i>	0,019	0,010	1,865	0,062	-0,001	0,040
<i>L2.TI</i>	-0,146	0,078	-1,874	0,061	-0,298	0,007
<i>L2.Petróleo</i>	0,100	0,064	1,578	0,115	-0,024	0,225
<i>L2.Cobre</i>	0,118	0,078	1,498	0,134	-0,036	0,271
<i>L2.Gas natural</i>	-0,172	0,056	-3,056	0,002	-0,283	-0,062
<i>L3.PTF</i>	0,096	0,100	0,963	0,335	-0,100	0,292
<i>L3.IED</i>	-0,010	0,010	-0,945	0,345	-0,030	0,010
<i>L3.TI</i>	-0,209	0,079	-2,634	0,008	-0,364	-0,053
<i>L3.Petróleo</i>	0,187	0,068	2,746	0,006	0,054	0,321
<i>L3.Cobre</i>	0,000	0,072	0,000	1,000	-0,140	0,140
<i>L3.Gas natural</i>	-0,202	0,071	-2,861	0,004	-0,340	-0,064
<i>L4.PTF</i>	-0,148	0,100	-1,486	0,137	-0,343	0,047
<i>L4.IED</i>	0,003	0,010	0,261	0,794	-0,017	0,022
<i>L4.TI</i>	-0,143	0,083	-1,717	0,086	-0,305	0,020
<i>L4.Petróleo</i>	0,106	0,068	1,575	0,115	-0,026	0,239
<i>L4.Cobre</i>	0,059	0,058	1,007	0,314	-0,056	0,173
<i>L4.Gas natural</i>	-0,163	0,070	-2,316	0,021	-0,300	-0,025
<i>L5.PTF</i>	0,039	0,101	0,390	0,697	-0,158	0,237
<i>L5.IED</i>	-0,013	0,009	-1,418	0,156	-0,032	0,005
<i>L5.TI</i>	-0,055	0,087	-0,631	0,528	-0,224	0,115
<i>L5.Petróleo</i>	0,023	0,053	0,430	0,667	-0,082	0,128
<i>L5.Cobre</i>	0,019	0,053	0,353	0,724	-0,085	0,122
<i>L5.Gas natural</i>	-0,039	0,051	-0,773	0,439	-0,139	0,060

Nota: Esta tabla muestra los coeficientes de corto plazo del modelo VECM. La variable dependiente es la PTF. Los coeficientes para L1, L2, etc., representan el impacto que una variable tiene sobre la PTF con 1, 2, o más períodos de rezago. El valor p indica la significancia estadística del efecto a corto plazo. *Elaboración propia con base en resultados del modelo VECM.*

En cuanto a la ecuación de la IED (Tabla 3.21) se observa un efecto negativo de sí misma con un rezago, lo que podría asociarse a una dinámica de corrección de los flujos pasados.

Mientras que un aumento del precio del gas natural con un rezago y el aumento del precio del cobre con cinco rezagos tienen un impacto positivo, que puede asociarse a un atractivo por parte de los inversionistas. Este hallazgo es consistente con la literatura sobre inversión en economías emergentes, la cual documenta que los flujos de IED hacia el sector de recursos naturales son altamente procíclicos, respondiendo positivamente a los ciclos de precios favorables de los commodities (CEPAL, 2021). Además, el TI presenta un efecto positivo con tres rezagos, indicando que mejoras previas en el intercambio comercial promueve la IED con cierto desfase.

Tabla 3.21.

Estimaciones de los coeficientes de corto plazo para la ecuación de IED en el modelo VECM

<i>Variable</i>	<i>Coefficiente</i>	<i>Error Estándar</i>	<i>z</i>	<i>P> z </i>	<i>[0.025</i>	<i>0.975]</i>
<i>L1.PTF</i>	1,015	1,321	0,769	0,442	-1,573	3,604
<i>L1.IED</i>	-0,366	0,107	-3,406	0,001	-0,576	-0,155
<i>L1.TI</i>	1,377	0,877	1,569	0,117	-0,343	3,097
<i>L1.Petróleo</i>	-1,498	0,849	-1,764	0,078	-3,163	0,166
<i>L1.Cobre</i>	1,254	0,811	1,547	0,122	-0,335	2,843
<i>L1.Gas natural</i>	2,094	0,609	3,439	0,001	0,901	3,288
<i>L2.PTF</i>	1,570	1,233	1,274	0,203	-0,846	3,987
<i>L2.IED</i>	-0,319	0,118	-2,707	0,007	-0,550	-0,088
<i>L2.TI</i>	0,699	0,881	0,793	0,428	-1,028	2,425
<i>L2.Petróleo</i>	-0,896	0,722	-1,241	0,214	-2,310	0,518
<i>L2.Cobre</i>	1,618	0,890	1,818	0,069	-0,126	3,362
<i>L2.Gas natural</i>	0,938	0,639	1,469	0,142	-0,313	2,190
<i>L3.PTF</i>	-1,503	1,133	-1,327	0,185	-3,723	0,717
<i>L3.IED</i>	-0,063	0,117	-0,539	0,590	-0,292	0,166
<i>L3.TI</i>	2,528	0,899	2,811	0,005	0,765	4,290
<i>L3.Petróleo</i>	-0,818	0,772	-1,059	0,290	-2,331	0,696

<i>L3.Cobre</i>	1,069	0,811	1,317	0,188	-0,522	2,659
<i>L3.Gas natural</i>	0,409	0,800	0,511	0,610	-1,159	1,976
<i>L4.PTF</i>	0,281	1,129	0,249	0,804	-1,933	2,495
<i>L4.IED</i>	0,026	0,113	0,228	0,819	-0,195	0,247
<i>L4.TI</i>	0,622	0,941	0,661	0,508	-1,222	2,467
<i>L4.Petróleo</i>	-0,186	0,766	-0,243	0,808	-1,688	1,316
<i>L4.Cobre</i>	1,012	0,663	1,526	0,127	-0,288	2,311
<i>L4.Gas natural</i>	-0,180	0,796	-0,226	0,822	-1,739	1,380
<i>L5.PTF</i>	0,952	1,144	0,832	0,405	-1,290	3,193
<i>L5.IED</i>	0,029	0,107	0,266	0,790	-0,182	0,239
<i>L5.TI</i>	0,814	0,981	0,830	0,406	-1,108	2,737
<i>L5.Petróleo</i>	-0,405	0,605	-0,669	0,504	-1,592	0,782
<i>L5. Cobre</i>	1,630	0,598	2,725	0,006	0,458	2,802
<i>L5.Gas natural</i>	0,032	0,576	0,056	0,956	-1,098	1,162

Nota. Esta tabla presenta los coeficientes de corto plazo estimados para la ecuación de la Inversión Extranjera Directa (IED). Los términos rezagados (L1, L2, etc.) indican el efecto de las variables de períodos anteriores sobre la IED. El valor p evalúa la significancia estadística de cada coeficiente. *Elaboración propia con base en resultados del modelo VECM.*

En la ecuación del TI (Tabla 3.22) resalta el efecto negativo persistente del precio del gas natural con 5 periodos de rezago (L1, L2, L3, L4, L5) y sobre sí misma con un rezago de 2 periodos, reflejando su impacto adverso en la relación comercial de los países. También se observa un efecto negativo con tres rezagos de la PTF, lo que puede asociarse a la alta volatilidad que desincentiva la inversión. De forma inversa un aumento del precio del cobre con 3 y 4 periodos de rezago tiene un efecto positivo sobre el TI, lo que fortalece su papel clave como motor exportador y su impacto en la balanza comercial.

Tabla 3.22.

Estimaciones de los coeficientes de corto plazo para la ecuación de TI en el modelo VECM

<i>Variable</i>	<i>Coefficiente</i>	<i>Error Estándar</i>	<i>z</i>	<i>P> z </i>	<i>[0.025</i>	<i>0.975]</i>
<i>L1.PTF</i>	0,211	0,174	1,215	0,225	-0,130	0,553
<i>L1.IED</i>	-0,011	0,014	-0,771	0,441	-0,039	0,017
<i>L1.TI</i>	-0,007	0,116	-0,063	0,950	-0,234	0,219
<i>L1.Petróleo</i>	-0,185	0,112	-1,653	0,098	-0,404	0,034
<i>L1.Cobre</i>	0,520	0,107	4,868	0,000	0,311	0,730
<i>L1.Gas natural</i>	-0,500	0,080	-6,227	0,000	-0,657	-0,342
<i>L2.PTF</i>	-0,197	0,162	-1,211	0,226	-0,515	0,122
<i>L2.IED</i>	-0,007	0,016	-0,441	0,659	-0,037	0,024
<i>L2.TI</i>	-0,235	0,116	-2,021	0,043	-0,462	-0,007
<i>L2.Petróleo</i>	-0,121	0,095	-1,269	0,204	-0,307	0,066
<i>L2.Cobre</i>	0,428	0,117	3,649	0,000	0,198	0,658
<i>L2.Gas natural</i>	-0,651	0,084	-7,730	0,000	-0,816	-0,486
<i>L3.PTF</i>	-0,296	0,149	-1,984	0,047	-0,589	-0,004
<i>L3.IED</i>	-0,018	0,015	-1,145	0,252	-0,048	0,013
<i>L3.TI</i>	0,129	0,119	1,089	0,276	-0,103	0,361
<i>L3.Petróleo</i>	-0,014	0,102	-0,138	0,890	-0,214	0,185
<i>L3.Cobre</i>	0,221	0,107	2,065	0,039	0,011	0,430
<i>L3.Gas natural</i>	-0,602	0,105	-5,711	0,000	-0,809	-0,395
<i>L4.PTF</i>	-0,176	0,149	-1,180	0,238	-0,467	0,116
<i>L4.IED</i>	-0,011	0,015	-0,744	0,457	-0,040	0,018
<i>L4.TI</i>	-0,019	0,124	-0,151	0,880	-0,262	0,224
<i>L4.Petróleo</i>	-0,131	0,101	-1,296	0,195	-0,329	0,067
<i>L4.Cobre</i>	0,400	0,087	4,579	0,000	0,229	0,571
<i>L4.Gas natural</i>	-0,404	0,105	-3,854	0,000	-0,610	-0,199
<i>L5.PTF</i>	0,310	0,151	2,057	0,040	0,015	0,605
<i>L5.IED</i>	0,015	0,014	1,036	0,300	-0,013	0,042
<i>L5.TI</i>	0,138	0,129	1,064	0,287	-0,116	0,391
<i>L5.Petróleo</i>	-0,006	0,080	-0,074	0,941	-0,162	0,151
<i>L5.Cobre</i>	0,000	0,079	0,002	0,999	-0,154	0,155
<i>L5.Gas natural</i>	-0,171	0,076	-2,256	0,024	-0,320	-0,023

Nota. Esta tabla presenta los coeficientes de corto plazo estimados para la ecuación de los Términos de Intercambio (TI). Los términos rezagados (L1, L2, etc.) indican el efecto de las variables de períodos anteriores sobre el TI. El valor p evalúa la significancia estadística de cada coeficiente. *Elaboración propia con base en resultados del modelo VECM.*

3.8.2 Interpretación de los coeficientes a largo plazo

Los coeficientes de corrección del error (α) (Tabla 3.23) indican el grado y la dirección de respuesta ante los desequilibrios a largo plazo de cada variable endógena, que se identifican en las relaciones de cointegración del sistema representados por ec1, ec2 y ec3.

La PTF no presenta coeficientes estadísticamente significativos con respecto a ninguna ecuación de cointegración, por lo tanto, no actúa como variable de ajuste a largo plazo en el modelo estimado. Como su trayectoria no se corrige frente a desequilibrios estructurales pasados, lo que puede interpretarse como una señal de que la dinámica está más influenciada por factores exógenos o es más rígida ante fluctuaciones del sistema económico.

Por otro lado, la IED muestra coeficientes estadísticamente significativos con respecto a las ecuaciones de cointegración, por lo que, esta variable corrige los desequilibrios de largo plazo de forma consistente. Sin embargo, actúa de forma distinta según el tipo de desequilibrio, ya que los efectos pueden llegar a ser tanto positivos como negativos, por ejemplo, en el caso de la ec1 el coeficiente positivo de 0,2865 implica un ajuste de corrección expansivo ante perturbaciones.

De la misma forma el TI presenta coeficientes estadísticamente significativos con respecto a las ecuaciones de cointegración, en este caso en la ec1 un coeficiente negativo implica un ajuste contractivo frente a este tipo de desviación, mientras que la ec2 y ec3 presentan un ajuste expansivo. Lo que se podía prever al ser una variable macroeconómica sensible en el largo plazo.

Para el caso de los precios de los commodities solo el petróleo y el cobre presentan coeficientes significativos por lo menos con 2 ecuaciones de cointegración, por lo tanto, tienen un papel importante en el ajuste hacia el equilibrio de largo plazo. Mientras que el precio del gas natural a pesar de tener afectar en el corto plazo, este no tiene un papel en el mecanismo de corrección en el largo plazo.

En conclusión, estos hallazgos empíricos respaldan el argumento central de la literatura: el problema de la productividad en América Latina es estructural y persistente (Hofman et al., 2017; Daude & Fernández-Arias, 2010). En contraste, variables como la IED, los TI, el petróleo y el cobre sí muestran coeficientes de ajuste significativos, indicando que son estas las que "absorben" los desequilibrios. Esto dibuja un claro panorama de la dependencia: las economías andinas se ven forzadas a ajustarse constantemente a la volatilidad de los flujos de capital y los precios de los *commodities* (Gruss, 2014), mientras que el motor del crecimiento a largo plazo, la PTF, permanece estancado.

Tabla 3.23

Estimaciones de los coeficientes de corrección del error (α)

<i>Ecuación</i>	<i>Término de Error</i>	<i>Coefficiente</i>	<i>Err. Est.</i>	<i>Estadístico z</i>	<i>Valor p</i>	<i>IC [95%]</i>
<i>PTF</i>	ec1	0,0062	0,006	1,051	0,293	[-0,005 , 0,018]
	ec2	0,0006	0,001	0,453	0,651	[-0,002 , 0,003]
	ec3	-0,0094	0,009	-1,093	0,274	[-0,026 , 0,007]
<i>IED</i>	ec1	0,2865	0,067	4,278	0,000	[0,155 , 0,418]
	ec2	-0,465	0,014	-3,258	0,001	[-0,074 , -0,019]
	ec3	-0,4310	0,097	-4,440	0,000	[-0,621 , -0,241]
<i>Términos de Intercambio</i>	ec1	-0,305	0,009	-3,452	0,001	[-0,048 , -0,013]
	ec2	0,0038	0,002	2,024	0,043	[0,000 , 0,007]

	ec3	0,0334	0,013	2,613	0,009	[0,008 , 0,059]
<i>Petróleo</i>	ec1	-0,1544	0,027	-5,723	0,000	[-0,207 , -0,102]
	ec2	0,0173	0,006	3,007	0,003	[0,006 , 0,029]
	ec3	0,1956	0,039	5,002	0,000	[0,119 , 0,272]
<i>Cobre</i>	ec1	-0,1811	0,018	-10,248	0,000	[-0,216 , -0,146]
	ec2	0,0045	0,004	1,206	0,228	[-0,003 , 0,012]
	ec3	0,2216	0,026	8,651	0,000	[0,171 , 0,272]
<i>Gas Natural</i>	ec1	0,0083	0,020	0,417	0,677	[-0,031 , 0,047]
	ec2	-0,0065	0,004	-1,544	0,123	[-0,015 , 0,002]
	ec3	-0,0386	0,029	-1,342	0,179	[-0,095 , 0,018]

Nota. El coeficiente α (término de error) mide la velocidad de ajuste de una variable para corregir los desequilibrios de largo plazo. Un coeficiente estadísticamente significativo (valor $p < 0,05$) indica que la variable corrige activamente las desviaciones. Un coeficiente no significativo, como el de la PTF, implica que esta variable no se ajusta por sí misma al equilibrio de largo plazo.

Elaboración propia con base en estimaciones del modelo VECM.

3.9 Funciones de Impulso-Respuesta

La función de IR permite visualizar el efecto de un shock en una variable sobre el resto del sistema. Se estimaron las respuestas por un horizonte de 10 periodos (Figura 3.2)

Figura 3.1.

Función Impulso-Respuesta - shocks sobre la PTF

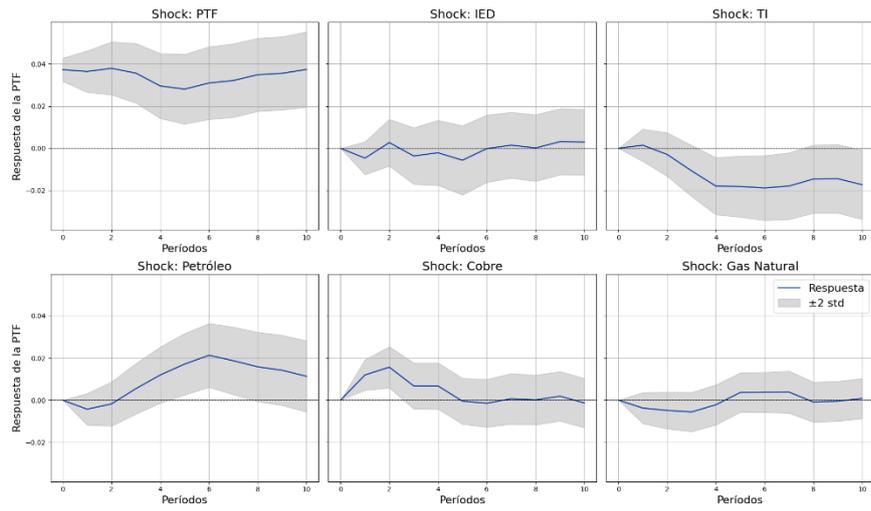


Figura 3.2.

Función Impulso-Respuesta - shocks estructurales sobre todas las variables

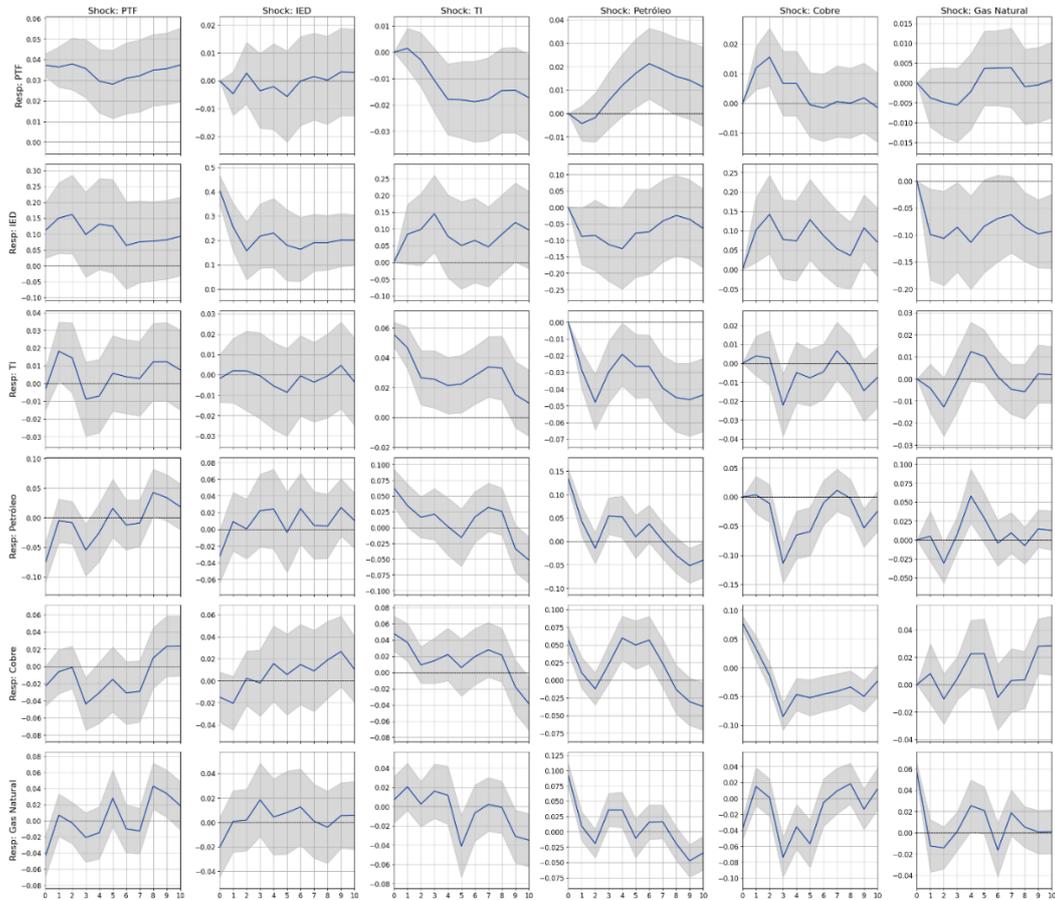


Tabla 3.24.

Función Impulso-Respuesta sobre la PTF ante shocks estructurales (10 periodos)

<i>Periodo</i>	<i>Shock en PTF</i>	<i>Shock en IED</i>	<i>Shock en TI</i>	<i>Shock en Precio-Petróleo</i>	<i>Shock en Precio-Cobre</i>	<i>Shock en Precio-Gas</i>
0	0,037	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1	0,036	-0,005	0,001	-0,004	0,012	-0,004
2	0,038	0,003	-0,003	-0,002	0,016	-0,005
3	0,036	-0,004	-0,011	0,005	0,007	-0,006
4	0,030	-0,002	-0,018	0,012	0,007	-0,002
5	0,028	-0,006	-0,018	0,017	-0,001	0,004
6	0,031	0,000	-0,019	0,021	-0,002	0,004
7	0,032	0,002	-0,018	0,019	0,001	0,004
8	0,035	0,000	-0,015	0,016	0,000	-0,001
9	0,036	0,003	-0,014	0,014	0,002	-0,001
10	0,037	0,003	-0,017	0,011	-0,001	0,001

Nota. La tabla presenta la respuesta dinámica estimada de la PTF ante un shock estructural en cada variable explicativa. Los resultados indican el cambio porcentual esperado en la PTF a lo largo de 10 períodos, tras un shock unitario en las variables independientes. *Elaboración propia con base en Funciones Impulso-Respuesta derivadas del VECM.*

Para interpretar correctamente los resultados, de la Tabla 3.24, es fundamental entender la construcción de los gráficos (Figura 3.1 y 3.2). La línea azul continua muestra la respuesta promedio de una variable ante el shock, mientras que las sombras grises alrededor delimitan el intervalo de confianza al 95%. La regla de análisis fue: si el intervalo de confianza no cruza la línea horizontal del cero, el efecto es estadísticamente significativo en ese período. Si la cruza, el efecto no es estadísticamente distinto de cero.

En la sección 3.9.1 se evalúa tanto la significancia estadística como la persistencia en la dirección de los efectos de las distintas variables sobre la productividad total de los factores.

3.9.1 Shock de las variables sobre la PTF de la Comunidad Andina

Las Funciones de Impulso-Respuesta (FIR) permiten visualizar la dinámica de los shocks a lo largo del tiempo. Por lo tanto, se analiza cómo reacciona la productividad ante las distintas perturbaciones (Figura 3.1), interpretando estos resultados a la luz de los coeficientes de corto plazo del modelo VECM (Tabla 3.20) y la literatura económica relevante, para ofrecer una explicación integral.

- Un shock positivo en la PTF genera un efecto positivo, persistente y estadísticamente significativo que se mantiene durante todo el horizonte de 10 años. Esto confirma, como se observa en la Figura 3.1, que la productividad en la región andina posee una fuerte inercia o “memoria productiva”. La falta de un coeficiente de corrección del error significativo en la ecuación de la PTF del VECM (Tabla 3.20) confirma que no existe un mecanismo propio de ajuste de largo plazo.
- El impacto dinámico de un shock en la IED sobre la PTF es estadísticamente nulo a lo largo del horizonte, como se aprecia en la Figura 3.1. Este resultado es consistente con la no significancia de los coeficientes de corto plazo para la IED en la ecuación de PTF del VECM (Tabla 3.20).
- Un shock positivo en los TI produce un efecto negativo, retardado y estadísticamente significativo sobre la PTF. La FIR (Figura 3.1) muestra que el impacto comienza a ser significativo a partir del tercer período y persiste durante el resto del horizonte. Este patrón coincide con el coeficiente negativo y significativo en el tercer rezago de los TI (-0,209) en el VECM (Tabla 3.20), precisando el momento en que la apreciación cambiaria resultante de la mejora en los precios de exportación comienza a deteriorar la productividad agregada.
- El petróleo ejerce un efecto positivo, retardado y estadísticamente significativo sobre la PTF. Como se observa en la Figura 3.1, la respuesta se vuelve significativa entre los

períodos 5 y 7, alcanzando un máximo en torno al sexto período. Esto coincide con la estimación positiva y significativa del tercer rezago (0,187) en el VECM (Tabla 3.20).

- El cobre muestra un efecto positivo y estadísticamente significativo en los primeros períodos, que se disipa a partir del segundo año. La rápida pérdida de significancia confirma que este tipo de choques no provoca cambios estructurales en la productividad.
- El shock en el precio del gas natural revela un comportamiento particular. Si bien los coeficientes de corto plazo en los rezagos 2, 3 y 4 de la ecuación de PTF en el VECM (Tabla 3.20) son negativos y significativos, el impacto neto acumulado en la FIR (Figura 3.1) no resulta estadísticamente significativo en ningún período.

3.10 Validación de errores

Con el fin de asegurar la validez de los modelos estimados, se realizaron pruebas de diagnóstico sobre los residuos generados por los modelos OLS y VECM. Estas validaciones permiten identificar si los errores cumplen con supuestos fundamentales, tales como normalidad, homocedasticidad y ausencia de autocorrelación, condiciones necesarias para garantizar la robustez de las inferencias estadísticas.

3.10.1 Prueba de normalidad

En el modelo OLS se aplicó la prueba de Jarque-Bera para verificar si los residuos siguen una distribución normal. En particular, se evaluaron los residuos del modelo estimado con efectos fijos por país (Tabla 3.6). El estadístico Jarque-Bera fue de 2,2395 con un p-valor de 0,3264, lo cual sugiere que no se rechaza la hipótesis de normalidad. Por tanto, se concluye que los residuos del modelo con efectos fijos se distribuyen normalmente, lo que refuerza la validez de los intervalos de confianza y de las pruebas de hipótesis aplicadas.

En el caso del modelo VECM, se utilizó la prueba de Anderson-Darling sobre los residuos individuales de cada variable endógena.

Tabla 3.25.

Resultados de la prueba de Anderson-Darling para residuos del modelo VECM

Variable	A-D stat	p-valor	Conclusión
<i>PTF</i>	1,310	0,002	No normal
<i>IED</i>	0,453	0,266	Normal
<i>TI</i>	0,118	0,990	Normal
<i>Petróleo</i>	1,433	0,001	No normal
<i>Cobre</i>	0,905	0,020	No normal
<i>Gas natural</i>	0,444	0,279	Normal

Las variables PTF, Petróleo y Cobre muestran evidencia estadística de no normalidad (con p-valores menores a 0,05), mientras que IED, TI y Gas natural cumplen con el supuesto de normalidad. Este comportamiento es común en modelos multivariados macroeconómicos y no compromete la validez global del modelo VECM.

3.10.2 Prueba de homocedasticidad

Para el modelo OLS se utilizó la prueba de Breusch-Pagan (pendiente de aplicación o resultados). En el caso del modelo estimado con efectos fijos por país (Tabla 3.6), no se aplicó la prueba de heterocedasticidad de manera directa debido a que el modelo transforma internamente las variables (demeaning), lo cual invalida la estructura tradicional de las pruebas como Breusch-Pagan. Esta limitación es común en la econometría de datos de panel y se reconoce en el análisis.

En el modelo VECM se aplicó la prueba de heterocedasticidad condicional ARCH-LM (Autoregressive Conditional Heteroskedasticity - Lagrange Multiplier).

Tabla 3.26.

Resultados de la prueba ARCH-LM para heterocedasticidad condicional en el modelo VECM

Variable	ARCH LM stat	p-valor	Conclusión
<i>PTF</i>	0,558	1,000	Homocedasticidad
<i>IED</i>	11,566	0,315	Homocedasticidad
<i>TI</i>	7,159	0,710	Homocedasticidad
<i>Petróleo</i>	3,376	0,971	Homocedasticidad
<i>Cobre</i>	10,182	0,425	Homocedasticidad
<i>Gas natural</i>	5,766	0,835	Homocedasticidad

Los residuos del modelo VECM no presentan heterocedasticidad significativa, ya que todos los p-valores son superiores a 0,05, indicando que la varianza de los errores es constante. Esto respalda la robustez del modelo. En particular, Cobre muestra un valor cercano al umbral de significancia (p-valor de 0,425), pero aun así no se considera heterocedástico de manera significativa.

3.10.3 Prueba de autocorrelación

En el modelo OLS se aplicó el estadístico de Durbin-Watson para verificar la presencia de autocorrelación en los residuos del modelo con efectos fijos por país. El resultado fue un estadístico DW de 0,5973, lo cual indica fuerte autocorrelación positiva. Este resultado sugiere que existen efectos dinámicos que no están siendo capturados adecuadamente por el modelo estático, lo que justifica el uso complementario de un modelo dinámico como el VECM.

Para el modelo VECM, se utilizó la prueba de Ljung-Box para detectar autocorrelación en los residuos de cada variable.

Tabla 3.27.

Resultados de la prueba de Ljung-Box para autocorrelación en residuos del modelo VECM

Variable	Ljung-Box stat	p-valor	Conclusión
<i>PTF</i>	4,882	0,899	No autocorrelación
<i>IED</i>	7,071	0,719	No autocorrelación
<i>TI</i>	13,134	0,216	No autocorrelación
<i>Petróleo</i>	6,987	0,727	No autocorrelación
<i>Cobre</i>	2,852	0,985	No autocorrelación
<i>Gas natural</i>	14,023	0,172	No autocorrelación

Ninguna de las variables presenta autocorrelación significativa (todos los p-valores son mayores a 0,05), lo que indica que los residuos no están correlacionados a lo largo del tiempo. Esto refuerza la validez del modelo y muestra que el VECM captura adecuadamente las dinámicas temporales de las variables involucradas.

En conjunto, las pruebas de diagnóstico respaldan la validez general de los modelos utilizados. Como se evidencia en la Tabla 3.27, el modelo OLS presenta autocorrelación positiva en los residuos, lo que limita su capacidad para capturar dinámicas temporales, justificando el uso de un enfoque alternativo. En contraste, el modelo VECM muestra un mejor desempeño estadístico, con ausencia de autocorrelación y heterocedasticidad. Si bien se identifican algunas limitaciones, como la no normalidad en los residuos, estas no comprometen los resultados centrales del modelo, ya que las variables principales presentan un ajuste adecuado a los supuestos requeridos.

3.11 Limitaciones

Este estudio presenta ciertas restricciones que deben considerarse al interpretar los resultados. La disponibilidad de datos se limitó a series anuales para el período 1995-2019, lo que reduce la capacidad de capturar variaciones de muy corto plazo y puede suavizar impactos

puntuales relevantes. La cobertura geográfica se circunscribió a los países miembros de la Comunidad Andina (Bolivia, Colombia, Ecuador y Perú), por lo que las conclusiones no son directamente extrapolables a economías con estructuras productivas o grados de integración internacional distintos.

En términos metodológicos, aunque el modelo de Vectores de Corrección de Errores (VECM) permite distinguir efectos de corto y largo plazo, la combinación de variables estacionarias y no estacionarias podría influir en la robustez de algunas estimaciones. Adicionalmente, la ausencia de series históricas homogéneas y completas impidió desagregar los resultados a nivel sectorial, limitando el análisis a una visión agregada de la Productividad Total de los Factores.

Las Funciones de Impulso-Respuesta se estimaron bajo el ordenamiento de Cholesky, lo que supone una estructura causal específica; el empleo de otros esquemas de identificación podría conducir a resultados diferentes.

Capítulo 4

4.1 Conclusiones y recomendaciones

4.1.1 Conclusiones

Una vez completadas las fases metodológicas previstas y aplicado el enfoque econométrico multivariado, se obtienen las siguientes conclusiones. Estas se derivan directamente de los resultados alcanzados y reflejan las relaciones entre las variables analizadas en el contexto de los países de la Comunidad Andina entre 1995 y 2019:

- La Productividad Total de los Factores (PTF) muestra un comportamiento pasivo frente a los shocks externos. La ausencia de coeficientes de corrección del error significativos en la ecuación de la PTF del VECM confirma que no existe un mecanismo propio de ajuste de largo plazo. Esto refuerza el carácter estructural del problema de productividad, en línea con lo identificado por Hofman et al. (2017) para América Latina, quienes señalan que el bajo desempeño de la PTF es el principal factor detrás del estancamiento económico en la región.
- La Inversión Extranjera Directa (IED) responde positivamente a determinados shocks externos, como los vinculados al precio del cobre y a los términos de intercambio. Sin embargo, su efecto sobre la productividad es nulo, tanto en el corto como en el largo plazo, lo que sugiere una limitada articulación entre la IED y procesos de innovación o eficiencia. Esta evidencia refuerza la interpretación de la CEPAL (2021), según la cual la IED en la región se ha orientado a sectores extractivos con escasos derrames tecnológicos, y la de Gutiérrez Villca (2020), quien advierte que la IED, por sí sola, no impulsa transformaciones estructurales.
- El análisis dinámico confirma que los términos de intercambio (TI) afectan negativamente a la PTF, con impactos persistentes y estadísticamente significativos. Este efecto adverso se alinea con la teoría de la Enfermedad Holandesa propuesta por Corden y Neary (1982), donde las mejoras en los precios de exportación provocan una

apreciación cambiaria que deteriora la competitividad de los sectores no tradicionales.

Este hallazgo es consistente con el estudio de Roch (2019), quien encontró que los shocks en los términos de intercambio de commodities (CToT) explican un tercio de la varianza en el PIB y otras variables macroeconómicas.

- El precio del petróleo presenta un efecto positivo sobre la PTF, aunque con un desfase temporal y sin homogeneidad entre países. Los efectos observados en las Funciones Impulso-Respuesta sugieren un canal fiscal relevante, a través del cual los ingresos extraordinarios por petróleo se traducen en inversiones que generan mejoras temporales en eficiencia. Este hallazgo se relaciona con la evidencia de Gruss (2014) y Cavalcanti et al. (2015), que describen cómo la volatilidad de este recurso puede generar beneficios de corto plazo, pero a la vez introduce incertidumbre y dificulta el crecimiento productivo sostenido.
- El cobre se destaca como el commodity con mayor influencia. Su impacto positivo sobre la PTF y la IED es robusto en casi todos los modelos utilizados. No obstante, este efecto se disipa en el tiempo, lo que evidencia que los beneficios derivados del cobre no se traducen en mejoras sostenidas de productividad. Esto es coherente con el caso de Perú, donde, a pesar de que el incremento del canon minero se asoció con mayores inversiones públicas (Aragón & Rud, 2013), esto no siempre derivó en mejoras sostenibles por la falta de políticas de diversificación.
- El gas natural produce un impacto negativo inmediato sobre la PTF, particularmente en países con alta dependencia energética como Bolivia. Aunque el VECM no arrojó significancia a largo plazo, los efectos de corto plazo observados indican que el alza en sus precios encarece procesos productivos, afectando la eficiencia. Este hallazgo subraya la vulnerabilidad de las economías andinas a choques de precios específicos, una amenaza latente para países como Bolivia, cuya estructura de "enclave" la hace vulnerable al *efecto gasto* (Cerezo Aguirre, 2011; De Mevius & Albarracín, 2008).

- La comparación entre países muestra diferencias claras en exposición y respuesta ante los shocks. Colombia, por ejemplo, presentó los síntomas clásicos de la Enfermedad Holandesa, con apreciación cambiaria y contracción de sectores no extractivos (Duran & López, 2017). En Ecuador, el fenómeno se manifestó como un predominio del *efecto gasto* sobre el sector no transable, debido al aumento del gasto público y la dolarización (Mejía Matute & Pinos Luzuriaga, 2021; Ocampo, 2005). Por último, Perú ha logrado mitigar los efectos negativos del fenómeno gracias a políticas fiscales contracíclicas y la intervención del Banco Central para evitar una apreciación excesiva del tipo de cambio (Sánchez Dávila, 2023). Estas diferencias confirman que los efectos de los shocks no son homogéneos y dependen del tipo de recurso, la intensidad de la IED y la estructura productiva nacional.

4.1.2 Recomendaciones

Finalizado el análisis econométrico y considerando tanto los hallazgos como las limitaciones del estudio, se presentan las siguientes recomendaciones orientadas a trabajos futuros y aplicaciones de política:

- Promover un diseño de políticas que canalicen la Inversión Extranjera Directa hacia sectores con alto potencial de generar relaciones intersectoriales y mejoras sostenidas en la Productividad Total de los Factores, fortaleciendo la articulación con procesos de innovación y transferencia tecnológica.
- Incorporar indicadores institucionales en los modelos econométricos para capturar con mayor precisión el efecto de la calidad regulatoria, la eficiencia del sector público y el marco legal en la relación entre shocks externos, IED y productividad.
- Utilizar modelos diferenciados por país que permitan adaptar las estrategias económicas a las características productivas, institucionales y de dependencia externa de cada

economía andina, evitando enfoques generalistas que diluyan particularidades estructurales.

- Explorar de manera más sistemática el papel de la política fiscal como canal de transmisión de shocks, evaluando el destino y la eficiencia del gasto público derivado de ingresos extraordinarios por commodities.
- Analizar con mayor detalle la composición de los flujos de IED y de los componentes de los términos de intercambio, diferenciando entre inversiones de capital productivo, especulativo o extractivo, y su respectivo impacto sobre la productividad.
- Integrar metodologías estructurales como los SVAR o los modelos DSGE para identificar de forma más rigurosa la dirección de la causalidad y simular escenarios de política bajo distintas condiciones macroeconómicas.

Referencias

- Abad, G., & Mideros, A. (2022). *El rol de las instituciones en la relación entre deuda externa y crecimiento económico en países de América Latina, 2000-2019*. *Revista Cuestiones Económicas*, 32(1). <https://doi.org/10.47550/RCE/32.1.5>
- Agencia Nacional de Minería. (2023). *Ficha técnica del cobre en Colombia*. <https://mineriaencolombia.anm.gov.co/sites/default/files/2023-12/Ficha%20Cobre%2012%202023.pdf>
- Alvarado, R., Iñiguez, M., & Ponce, P. (2017). *Foreign direct investment and economic growth in Latin America*. *Economic Analysis and Policy*, 56, 176-187. <https://doi.org/10.1016/j.eap.2017.09.006>
- Aragón, F. M., & Rud, J. P. (2013). *Natural Resources and Local Communities: Evidence from a Peruvian Gold Mine*. *American Economic Journal: Economic Policy*, 5(2), 1-25. <https://www.aeaweb.org/articles?id=10.1257/pol.5.2.1>
- Asociación Colombiana de Minería. (2021). *El cobre en Colombia*. https://acmineria.com.co/acm/wp-content/uploads/2021/09/Cobre-en-Colombia_Espan%CC%83ol_Digital.pdf
- Banco Central del Ecuador. (2024). *Reporte minero: Estadísticas enero–noviembre 2019*. <https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/Hidrocarburos/ReporteMinero042024.pdf>
- Banco Mundial. (2019). *Colombia: Comercio internacional de mercancías*. <https://wits.worldbank.org/CountryProfile/es/Country/COL/Year/2019/Summarytext>
- Blanchard, O. J., & Quah, D. (1989). *The Dynamic Effects of Aggregate Demand and Supply Disturbances*. *The American Economic Review*, 79(4), 655–673. <https://uh.edu/~bsorensen/BlanchardQuah1989.pdf>

Bogmans, C., Pescatori, A., & Prifti, E. (2022, December 9). *Los precios mundiales de los alimentos se mantendrán elevados en medio de la guerra, el alto costo de la energía y La Niña*. Blog del FMI. <https://www.imf.org/en/Blogs/Articles/2022/12/09/global-food-prices-to-remain-elevated-amid-war-costly-energy-la-nina>

CEPAL. (2016). *Productividad y brechas estructurales en México*. CEPAL. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/40165-productividad-brechas-estructurales-mexico>

Cerezo Aguirre, S. (2011). *Enfermedad holandesa y coyuntura macroeconómica boliviana*. Banco Central de Bolivia. <https://www.bcb.gob.bo/eeb/sites/default/files/archivos2/D2T1P2%20Cerezo.pdf>

Comisión Chilena del Cobre (COCHILCO). (2020). *Anuario de Estadísticas del Cobre y otros Minerales 2000–2019*. <https://www.cochilco.cl/web/anuario-de-estadisticas-del-cobre-y-otros-minerales/>

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2017). *Perspectivas económicas de América Latina 2017: Juventud, competencias y emprendimiento*. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/40721-perspectivas-economicas-america-latina-2017-juventud-competencias-emprendimiento>

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2018). *Estudio económico de América Latina y el Caribe 2018: La evolución de la inversión en América Latina*. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/43964-estudio-economico-america-latina-caribe-2018-evolucion-la-inversion-america>

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2021). *La Inversión Extranjera Directa en América Latina y el Caribe, 2021*. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/47147-la-inversion-extranjera-directa-america-latina-caribe-2021>

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2023). *Balance Preliminar de las Economías de América Latina y el Caribe, 2023*. <https://www.cepal.org/es/tipo-de-publicacion/balance-preliminar-economias-america-latina-caribe>

Comunidad Andina. (2020). *Cartilla estadística Bolivia – Comercio exterior de bienes 2019*. <https://www.comunidadandina.org/DocOficialesFiles/DEstadisticos/CARTILLABOLIVIA2019.pdf>

Corden, W. M., & Neary, J. P. (1982). *Booming sector and de-industrialisation in a small open economy*. *The Economic Journal*, 92(368), 825–848. <https://doi.org/10.2307/2232670>

Curcio, S., & Vilker, A. S. (2014). *Impacto de las variaciones de precios de las commodities exportadas en la economía real de los países de América Latina*.

http://bibliotecadigital.econ.uba.ar/econ/collection/rimf/document/rimf_v3_n1_04

Daude, C., & Fernández-Arias, E. (2010). *On the Role of Productivity and Factor Accumulation in Economic Development in Latin America*. *Inter-American Development Bank*. <http://dx.doi.org/10.18235/0010927>

De V. Cavalcanti, T. V., Mohaddes, K., & Raissi, M. (2015). *Commodity Price Volatility and the Sources of Growth*. *Journal of Applied Econometrics*, 30(6), 857-873.

<https://doi.org/10.1002/jae.2407>

Defensoría del Pueblo. (2020). *Reporte de Conflictos Sociales N° 190. Adjuntía para la Prevención de Conflictos Sociales y la Gobernabilidad*.

<https://www.defensoria.gob.pe/wp-content/uploads/2020/01/Conflictos-Sociales-N%C2%B0-190-diciembre-2019.pdf>

Duran, N., & López, J. I. (2017). *Enfermedad holandesa y el efecto sobre el agro colombiano*. Universidad de los Andes.

<https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/aa63c5ab-72c4-4ecb-9db1-55771f749f59/content>

Economic Commission for Latin America and the Caribbean. (2021). *Foreign Direct Investment in Latin America and the Caribbean 2020*. United Nations.

<https://doi.org/10.18356/9789210047487>

Enders, W. (2014). *Applied Econometric Time Series (4th ed.)*. Wiley.

<https://www.wiley.com/en-us/Applied+Econometric+Time+Series%2C+4th+Edition-p-9781118808566>

Feenstra, R. C., Inklaar, R., & Timmer, M. P. (2015). *The Next Generation of the Penn World Table*. *American Economic Review*, 105(10), 3150–3182.

https://www.rug.nl/ggdc/docs/the_next_generation_of_the_penn_world_table.pdf

Fondo Monetario Internacional (FMI). (2019). *Peru: 2019 Article IV Consultation - Press Release; Staff Report; and Statement by the Executive Director for Peru (IMF Country Report No. 19/351)*.

<https://www.imf.org/en/Publications/CR/Issues/2020/01/13/Peru-2019-Article-IV-Consultation-Press-Release-Staff-Report-Staff-Statement-and-Statement-48942>

Fondo Monetario Internacional. (2021). *Dutch disease*. Finance & Development – Back to Basics.

<https://www.imf.org/en/Publications/fandd/issues/Series/BackToBasics/DutchDisease>

Gestión. (2020). *Exportaciones de cobre cayeron 7% en 2019 mientras que las de oro subieron 27%, según SNMPE*.

<https://gestion.pe/economia/exportaciones-de-cobre-cayeron-7-en-2019-mientras-que-las-de-oro-subieron-27-segun-snmpe-nndc-noticia/>

González, S., & Hernández, E. (2016). *Impactos indirectos de los precios del petróleo en el crecimiento económico colombiano*. *Lecturas de Economía*, (84), 103-141.

<https://revistas.udea.edu.co/index.php/lecturasdeeconomia/article/view/25646/21243>

Gruss, B. (2014). *After the Boom—Commodity Prices and Economic Growth in Latin America and the Caribbean*. *IMF Working Papers*, 14(154), 1.

<https://doi.org/10.5089/9781498363518.001>

Gutiérrez Villca, A. M. (2020). *Determinantes de la productividad total de factores en América del Sur. Investigación & Desarrollo*, 19(2), 5-26.

<https://doi.org/10.23881/idupbo.019.2-1e>

Hofman, A., Mas, M., Aravena, C., & Guevara, J. F. (2017). *Economic Growth and Productivity in Latin America: LA-KLEMS. El Trimestre Económico*, LXXXIV(2), 259-306. <https://doi.org/10.20430/ete.v84i334.302>

IDB Invest. (2022). *Bolivia country strategy (2022–2025). Inter-American Development Bank*. <https://idbinvest.org/sites/default/files/2022-04/Bolivia-Country-Strategy-IDB-Group-2022.pdf>

Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2020). *Producción y empleo informal en el Perú. Cuenta Satélite de la Economía Informal 2007-2019*.

<https://www.gob.pe/institucion/inei/informes-publicaciones/3294144-produccion-y-empleo-informal-en-el-peru-cuenta-satelite-de-la-economia-informal-2007-2019>

Investopedia. (2022). *Dutch disease*. <https://www.investopedia.com/terms/d/dutchdisease.asp>

La Razón. (2024, 19 de septiembre). *Bolivia tiene una productividad de USD 8 por hora según CEPAL*. <https://hemeroteca.larazon.bo/economia-y-empresa/2024/09/17/segun-cepal-bolivia-es-puesto-19-de-la-region-en-productividad-laboral-por-aporte-al-pib/>

Medina, J. P., & Soto, C. (2007). *Copper Price, Fiscal Policy and Business Cycle in Chile. Banco Central de Chile*.

https://www.bcentral.cl/documents/33528/133326/DTBC_458.pdf

Mejía Matute, S. R., & Pinos Luzuriaga, L. G. (2021). *Petróleo y enfermedad holandesa en el Ecuador, 2001-2015. UDA AKADEM Pensamiento Empresarial. Revista de la Universidad del Azuay*, (7), 159-191.

<https://doi.org/10.33324/udaakadem.vi7.373>

- Moreno, K., & Deza, C. (2022). *Productivity and Innovation Shortfalls in the Andean Region*. Inter-American Development Bank. <http://dx.doi.org/10.18235/0004599>
- New Yorker. (2010, 15 de marzo). *Lithium dreams*. *The New Yorker*.
<https://www.newyorker.com/magazine/2010/03/22/lithium-dreams>
- Ocampo, L. (2005). El manejo óptimo de la “Enfermedad Holandesa” para Ecuador. *Cuestiones Económicas*, 21(3), 6-46.
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8488741.pdf>
- Ocampo, J. A. (2024). *El desarrollo económico colombiano a comienzos del siglo XXI*. CEPAL. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/80843-desarrollo-economico-colombiano-comienzos-siglo-xx>
- Osinermin. (2021). *El gas natural en el Perú del bicentenario*.
[https://www.osinermin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios Economicos/Libros/Libro-Industria-Gas-Natural-Peru-bicentenario.pdf](https://www.osinermin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Libro-Industria-Gas-Natural-Peru-bicentenario.pdf)
- Ramírez Rondán, N., & Aquino, J. C. (2006). *Crisis de inflación y productividad total de los factores en Latinoamérica*. *Revista Estudios Económicos*, (11), 29-57.
<https://www.bcrp.gob.pe/docs/Publicaciones/Revista-Estudios-Economicos/13/Estudios-Economicos-13-3.pdf>
- Razavi, N. S. (2022). *Water governance in Bolivia: Cochabamba since the Water War*. Routledge. <https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.4324/9781003169383/water-governance-bolivia-nasya-sara-razavi>
- Sánchez Dávila, E. (2023). The Peruvian mining boom and Dutch disease: Empirical evidence from 2003 to 2020. *Cuadernos de Economía*, 42(90), 629-650.
<https://doi.org/10.15446/cuad.econ.v42n90.94529>
- Shultz, J. (s.f.). *Bolivia’s war over water*. *The Democracy Center*.
<https://www.democracctr.org/bolivias-war-over-water>

Tello-Pacheco, M. D. (2024). *Factores externos e impactos sobre la productividad total de factores de empresas de manufacturas: Evidencia del caso peruano*. *Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa*, 38(38), 1-22.

<https://doi.org/10.46661/rev.metodoscuant.econ.empresa.9593>

United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD). (2023). *State of Commodity Dependence 2023*. United Nations. <https://unctad.org/publication/state-commodity-dependence-2023>

Universidad Técnica de Ambato. (2020). *El sector petrolero del Ecuador: Informe 2019*.

<https://obest.uta.edu.ec/wp-content/uploads/2020/09/EL-SECTOR-PETROLERO.pdf>

Wanderley, F., Cossio, H. V., & Benavides, J. P. (2020). *América Latina en la encrucijada del desarrollo sostenible e inclusivo -Bolivia, Ecuador, Colombia y Perú al inicio del siglo XXI*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.29915.07201>

Zymek, R. (2024). *Productividad total de los factores*. Fondo Monetario Internacional.

<https://www.imf.org/es/Publications/fandd/issues/2024/09/back-to-basics-total-factor-productivity-robert-zymek>

Apéndice A

```
# -*- coding: utf-8 -*-
"""Copia de Tesis.ipynb

Automatically generated by Colab.

Original file is located at
    https://colab.research.google.com/drive/1D05qoebK7BAM87yX82VQkZGH49BSBySn
"""

pip install linearmodels

# =====
# BLOQUE 0 - IMPORTS Y CONFIGURACIÓN INICIAL
# =====
import pandas as pd
import numpy as np
import statsmodels.api as sm
from linearmodels.panel import PanelOLS
from statsmodels.stats.outliers_influence import variance_inflation_factor

from statsmodels.stats.stattools import jarque_bera, durbin_watson
from statsmodels.stats.diagnostic import normal_ad, het_arch,
het_breuschpagan, acorr_ljungbox

from statsmodels.tsa.stattools import adfuller, coint
from statsmodels.tsa.vector_ar.vecm import (coint_johansen, VECM,
select_order, select_coint_rank)

import matplotlib.pyplot as plt
import warnings
warnings.filterwarnings("ignore")
plt.style.use('ggplot')

# =====
# BLOQUE 1 - CARGA Y PREPARACIÓN DE DATOS
# =====

def prepare_data(archivo):
    """
    Carga, limpia y prepara los datos del archivo Excel.
    """
    try:
        df = pd.read_excel(archivo, sheet_name="Hoja1")
    except FileNotFoundError:
        print(f"✘ Error: El archivo '{archivo}' no se encontró.")
        return None

    df = df.rename(columns={
        "Índice de términos netos de intercambio (2015 = 100)": "ti",
        "Foreign direct investment, net inflows (% of GDP)": "ied",
        "Exports of goods and services (% of GDP)": "exp",
        "Crude oil, Brent": "crude_oil_brent",
        "Natural gas index": "natural_gas_index",
```

```

        "Country": "country",
        "Year": "year"
    })
    df.columns = df.columns.str.lower().str.replace(' ', '_')

    variables_log = ['ctfp', 'ied', 'ti', 'exp', 'crude_oil_brent', 'copper',
'natural_gas_index']
    for var in variables_log:
        if var in df.columns:
            df[var] = df[var].replace(0, np.nan)
            df[var] = df[var].apply(np.log)

    df = df.set_index(['country', 'year'])
    return df

# =====
# BLOQUE 2 - ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA
# =====

def descriptive_statistics(df):
    """
    Calcula estadísticas descriptivas por país.
    """
    print("\n-----")
    print("☑ BLOQUE 2: Calculando estadísticas descriptivas...")
    print("-----")

    variables = ['ctfp', 'ied', 'ti', 'crude_oil_brent', 'copper',
'natural_gas_index']
    df_filtrado = df.reset_index()[['country'] + variables].dropna()

    resúmenes_por_pais = {}
    for pais in df_filtrado['country'].unique():
        df_pais = df_filtrado[df_filtrado['country'] == pais][variables]
        resumen = pd.DataFrame({
            'Media': df_pais.mean(),
            'Mediana': df_pais.median(),
            'Desviación estándar': df_pais.std(),
            'Mínimo': df_pais.min(),
            'Máximo': df_pais.max(),
            'Asimetría': df_pais.skew(),
            'Curtosis': df_pais.kurtosis()
        })
    resúmenes_por_pais[pais] = resumen

    # Imprime los resultados para cada país
    print(f"\n--- Resultados para: {pais} ---")
    print(resumen.round(4))

    # Exportar los resultados a Excel
    with pd.ExcelWriter("Estadísticas_Descriptivas_Por_Pais.xlsx") as writer:
        for pais, resumen in resúmenes_por_pais.items():
            resumen.to_excel(writer, sheet_name=pais)

    print("\n-----")
    print("☑ Cálculo de estadísticas descriptivas completado.")

```

```

print("-----")

# =====
# EJECUCIÓN DEL ANÁLISIS
# =====
archivo = "Base.xlsx"
df_cleaned = prepare_data(archivo)

if df_cleaned is not None:
    descriptive_statistics(df_cleaned)

# =====
# BLOQUE 3 - ANÁLISIS DE REGRESIÓN DE PANEL
# =====

def run_panel_regression(df):
    """
    Modelo de efectos fijos por país (PanelOLS) y pruebas de diagnóstico.
    """
    print("\n-----")
    print("☑ BLOQUE 4: Análisis de regresión de panel...")
    print("-----")

    # Variables de interés (nombres estandarizados)
    variables = ['ti', 'ied', 'crude_oil_brent', 'copper',
'natural_gas_index', 'ctfp']
    df_panel = df[variables].dropna()

    # Definir variables dependientes e independientes
    y = df_panel['ctfp']
    X = df_panel[['ti', 'ied', 'crude_oil_brent', 'copper',
'natural_gas_index']]
    X = sm.add_constant(X)

    # Ajustar modelo de efectos fijos por país
    modelo_panel = PanelOLS(y, X, entity_effects=True).fit()
    print(modelo_panel.summary)

    # Obtener residuos del modelo
    residuos_panel = modelo_panel.resids.dropna()

    # Prueba de normalidad (Jarque-Bera)
    jb_stat, jb_pval, _, _ = jarque_bera(residuos_panel)
    print("\n👉 Prueba de normalidad (Jarque-Bera):")
    print(f"Estadístico JB: {jb_stat:.4f}")
    print(f"P-valor: {jb_pval:.4f}")
    print("☑ Residuos normales" if jb_pval > 0.05 else "✗ Residuos no
normales")

    # Prueba de autocorrelación (Durbin-Watson)
    dw_stat = durbin_watson(residuos_panel)
    print("\n👉 Prueba de autocorrelación (Durbin-Watson):")
    print(f"Estadístico DW: {dw_stat:.4f}")
    print("☑ No hay autocorrelación" if 1.5 < dw_stat < 2.5 else "✗ Hay
autocorrelación")

```

```

# Exportar resultados a Excel
tabla_coeficientes = modelo_panel.summary.tables[1]
df_coeficientes = pd.DataFrame(tabla_coeficientes.data[1:],
columns=tabla_coeficientes.data[0])

tabla_stats = modelo_panel.summary.tables[0]
df_stats = pd.DataFrame(tabla_stats.data)

with pd.ExcelWriter('Resultados_Regresion_Panel.xlsx', engine='openpyxl')
as writer:
    df_stats.to_excel(writer, sheet_name='Estadisticas_Modelo',
index=False, header=False)
    df_coeficientes.to_excel(writer,
sheet_name='Coeficientes_y_Significancia', index=False)

    print("\n  Los resultados se han exportado al archivo
'Resultados_Regresion_Panel.xlsx'")
    print("-----")

# =====
# EJECUCIÓN DEL ANÁLISIS
# =====
archivo = "Base.xlsx"
df_cleaned = prepare_data(archivo)

if df_cleaned is not None:
    run_panel_regression(df_cleaned)

# =====
# BLOQUE 4 - OLS PARA COMMODITY PRICES
# =====

def run_ols_by_country(df):
    """
    Realiza un análisis de regresión OLS para cada país individualmente
    usando las variables de commodities.
    """
    print("\n-----")
    print(" Iniciando análisis OLS por país para commodities...")
    print("-----")

    # Lista de commodities usando los nombres de columna estandarizados
    commodities = ["crude_oil_brent", "natural_gas_index", "copper"]

    resultados = []

    for country in df.index.get_level_values('country').unique():
        data = df.loc[country]

        X = data[commodities].copy()
        y = data['ctfp'].copy()

        X = X.dropna(axis=1, how='all')
        combined = pd.concat([X, y], axis=1).dropna()

```

```

if combined.shape[0] > 2 and combined.shape[1] > 2:
    y_clean = combined['ctfp']
    X_clean = combined.drop(columns=['ctfp'])
    X_clean = sm.add_constant(X_clean)

    try:
        modelo = sm.OLS(y_clean, X_clean).fit()

        for variable, coef, pval in zip(modelo.params.index,
modelo.params.values, modelo.pvalues):
            resultados.append({
                'País': country,
                'Variable': variable,
                'Coeficiente': coef,
                'P-valor': pval,
                'Significativo (p<0.05)': 'Sí' if pval < 0.05 else
'No'
            })
    except Exception as e:
        print(f"No se pudo ajustar el modelo para {country}. Error:
{e}")

    resultados_df = pd.DataFrame(resultados)
    print(resultados_df)

    resultados_df.to_excel('Resultados_Regresion_CTFP_Commodities.xlsx',
index=False)
    print("\n Los resultados OLS se han exportado al archivo
'Resultados_Regresion_CTFP_Commodities.xlsx'")
    print("-----")

# =====
# EJECUCIÓN DEL ANÁLISIS
# =====
if df_cleaned is not None:
    run_ols_by_country(df_cleaned)

# =====
# BLOQUE 5 - PRUEBA DE ESTACIONARIEDAD (ADF)
# =====

def run_adf_tests(df):
    """
    Realiza la prueba de estacionariedad Augmented Dickey-Fuller (ADF)
    para las variables principales del DataFrame, limpiando NaN
    individualmente.
    """
    print("\n-----")
    print("☑ BLOQUE 5: Realizando pruebas de estacionariedad (ADF)...")
    print("-----")

    variables = ["ctfp", "ti", "ied", "crude_oil_brent", "copper",
"natural_gas_index"]
    df_selected = df[variables] # No se eliminan NaN aquí, se hace dentro de
adf_test

```

```

def adf_test(series, nombre):
    series_clean = series.dropna()
    if series_clean.empty:
        print(f"🚫 Variable: {nombre}")
        print("🚫 No hay datos válidos para la prueba.\n")
        return

    resultado = adfuller(series_clean)
    print(f"🚫 Variable: {nombre}")
    print(f" ADF Statistic: {resultado[0]:.4f}")
    print(f" p-value: {resultado[1]:.4f}")
    if resultado[1] < 0.05:
        print("✅ Estacionaria (rechaza H0)\n")
    else:
        print("❌ No estacionaria (no rechaza H0)\n")

for col in df_selected.columns:
    if not df_selected[col].empty:
        adf_test(df_selected[col], col)

print("-----")

# =====
# EJECUCIÓN DEL ANÁLISIS
# =====
if df_cleaned is not None:
    run_adf_tests(df_cleaned)

# =====
# BLOQUE 6 - DIFERENCIACIÓN PARA ESTACIONARIEDAD
# =====

def run_differencing_tests(df):
    """
    Pruebas de estacionariedad y diferencia las variables no estacionarias.
    """
    print("\n-----")
    print("✅ BLOQUE 5: Diferenciando variables no estacionarias...")
    print("-----")

    # Se crea una copia del DataFrame para no modificar el original
    df_temporal = df.copy()

    def adf_test(series, nombre):
        # Eliminar valores NaN o infinitos antes de realizar la prueba ADF
        series_clean = series.replace([np.inf, -np.inf], np.nan).dropna()

        if series_clean.empty:
            print(f"🚫 No hay datos válidos para la variable '{nombre}'
después de limpieza.")
            return False

        resultado = adfuller(series_clean)
        print(f"🚫 Variable: {nombre}")

```

```

print(f" ADF Statistic: {resultado[0]:.4f}")
print(f" p-value: {resultado[1]:.4f}")

if resultado[1] < 0.05:
    print("  Estacionaria (rechaza H0)\n")
    return True
else:
    print("  No estacionaria (no rechaza H0)\n")
    return False

# Verificación y diferenciación
print("\n--  Verificando estacionariedad en niveles --")
variables_a_diferenciar = ["ctfp", "ied"]

for col in variables_a_diferenciar:
    if col in df_temporal.columns:
        es_estacionaria = adf_test(df_temporal[col], col)
        if not es_estacionaria:
            print(f"  La variable '{col}' no es estacionaria, se
diferenciará.")

                # Crea una nueva serie con la diferencia, pero preservando
las filas con NaN
                df_temporal[f'd_{col}'] = df_temporal[col].diff()

        # Elimina filas con NaN solo en las columnas diferenciadas
        df_temporal = df_temporal.dropna(subset=[f'd_{col}' for col in
variables_a_diferenciar], how='any')

        # Verificar estacionariedad de las variables diferenciadas
        print("\n--  Verificando estacionariedad de variables diferenciadas --
")
        for col in variables_a_diferenciar:
            if f'd_{col}' in df_temporal.columns:
                print(f" Verificando si 'd_{col}' es ahora estacionaria:")
                adf_test(df_temporal[f'd_{col}'], f'd_{col}')

        print("\n Vista previa del DataFrame con variables diferenciadas:")
        print(df_temporal.head())

        print("-----")
        return df_temporal

# =====
# EJECUCIÓN DEL ANÁLISIS
# =====
if df_cleaned is not None:
    df_differenced = run_differencing_tests(df_cleaned)

# =====
# BLOQUE 7 - PRUEBA DE COINTEGRACIÓN (JOHANSEN)
# =====

def run_johansen_test(df):
    """

```

```

Realiza la prueba de cointegración de Johansen para todas las variables
y para el subconjunto de variables I(1).
"""
print("\n-----")
print("☑ BLOQUE 6: Prueba de cointegración (Johansen)...")
print("-----")

# Prueba 1: Cointegración con todas las variables
print("\n-- 📊 Prueba 1: Cointegración con todas las variables --")
variables = ["ctfp", "ied", "ti", "crude_oil_brent", "copper",
"natural_gas_index"]
df_test = df[variables].dropna()

lag_selection = select_order(df_test, maxlags=5, deterministic="ci")
optimal_lags = lag_selection.aic
print(f"👉 Lags óptimos según AIC: {optimal_lags}")

resultado_johansen_total = coint_johansen(df_test, det_order=0,
k_ar_diff=optimal_lags)

for i, trace in enumerate(resultado_johansen_total.lr1):
    crit_95 = resultado_johansen_total.cvt[i, 1]
    decision = "✗ Rechaza H0" if trace > crit_95 else "☑ No rechaza H0"
    print(f"H0: ≤ {i} relaciones de cointegración | Traza = {trace:.2f} |
Crítico 95% = {crit_95:.2f} | {decision}")

# Prueba 2: Cointegración con solo las variables I(1)
print("\n-- 📊 Prueba 2: Cointegración solo con CTFP e IED --")
variables_I1 = ["ctfp", "ied"]
df_core = df[variables_I1].dropna()

resultado_johansen_core = coint_johansen(df_core, det_order=0,
k_ar_diff=optimal_lags)

for i, trace in enumerate(resultado_johansen_core.lr1):
    crit_95 = resultado_johansen_core.cvt[i, 1]
    decision = "✗ Rechaza H0" if trace > crit_95 else "☑ No rechaza H0"
    print(f"H0: ≤ {i} relaciones de cointegración | Traza = {trace:.2f} |
Crítico 95% = {crit_95:.2f} | {decision}")

coint_rank = resultado_johansen_total.lr1[resultado_johansen_total.lr1 >
resultado_johansen_total.cvt[:, 1]].size
print(f"\n👉 Número de relaciones de cointegración detectadas:
{coint_rank}")
print("-----")

return optimal_lags, coint_rank

# Llama a la función del análisis
if df_cleaned is not None:
    optimal_lags, coint_rank = run_johansen_test(df_cleaned)

# =====
# BLOQUE 8 - VECM BIVARIADO (NO ELEGIDO)
# =====

```

```

def run_bivariate_vecm(df):
    """
    Realiza un análisis VECM bivariado para CTFP e IED.
    """
    print("\n-----")
    print("☑ Iniciando análisis VECM bivariado...")
    print("-----")

    # Filtramos solo las variables I(1)
    variables_I1 = ["ctfp", "ied"]
    df_coint = df[variables_I1].dropna()

    # Se necesita el número óptimo de rezagos antes de la prueba
    lag_selection = select_order(df_coint, maxlags=5, deterministic="ci")
    optimal_lags = lag_selection.aic
    print(f"🔪 Lags óptimos según AIC para VECM: {optimal_lags}")

    # Prueba de cointegración de Johansen
    johan_test = coint_johansen(df_coint, det_order=0,
k_ar_diff=optimal_lags)
    print("\n📊 Prueba de Cointegración (Johansen - Traza):")
    for i, trace in enumerate(johan_test.lr1):
        crit_95 = johan_test.cvt[i, 1]
        decision = "Rechaza H0" if trace > crit_95 else "No rechaza H0"
        print(f"H0: ≤ {i} | Traza = {trace:.4f} | Crítico 95% = {crit_95:.4f}
| {decision}")

    # Si hay cointegración, estimar el VECM
    if johan_test.lr1[0] > johan_test.cvt[0, 1]: # Si hay al menos una
relación
        print("\n☑ Se detecta una relación de cointegración. Estimando
VECM...")
        coint_rank = 1
        vecm_model = VECM(df_coint, k_ar_diff=optimal_lags,
coint_rank=coint_rank, deterministic="ci")
        vecm_result = vecm_model.fit()
        print(vecm_result.summary())
    else:
        print("\n✗ No se detectó ninguna relación de cointegración para
estas variables.")

    print("-----")

# =====
# EJECUCIÓN DEL ANÁLISIS
# =====
if df_cleaned is not None:
    run_bivariate_vecm(df_cleaned)

# =====
# BLOQUE 9 - VECM CON VARIABLES EXÓGENAS (NO ELEGIDO)
# =====

def run_vecm_with_exog(df):

```

```

"""
Estima un modelo VECM con variables exógenas.
"""
print("\n-----")
print("☑ Iniciando análisis VECM con variables exógenas...")
print("-----")

# Variables endógenas (I(1)) y exógenas (I(0))
# Usando los nombres de columna estandarizados
variables_endog = ["ctfp", "ied"]
variables_exog = ["ti", "crude_oil_brent", "copper", "natural_gas_index"]

# Eliminar filas con valores nulos
df_clean = df[variables_endog + variables_exog].dropna()

Y = df_clean[variables_endog] # Variables endógenas
X = df_clean[variables_exog] # Variables exógenas

# Seleccionar número óptimo de rezagos
lag_selection = select_order(Y, maxlags=5, deterministic="co")
lags = lag_selection.aic
print("👉 Lags óptimos sugeridos:")
print(lag_selection.summary())

# Elegir número de cointegraciones usando el test de Johansen
coint_rank = select_coint_rank(Y, det_order=0, k_ar_diff=lags).rank
print("\n👉 Número de relaciones de cointegración detectadas:",
coint_rank)

# Ajustar modelo VECM con variables exógenas
vecm_model = VECM(
    endog=Y,
    exog=X,
    k_ar_diff=lags,
    coint_rank=coint_rank,
    deterministic="co"
)

vecm_result = vecm_model.fit()
print("\n📄 Resumen del modelo VECM con exógenas:\n")
print(vecm_result.summary())
print("-----")

# =====
# EJECUCIÓN DEL ANÁLISIS
# =====
if df_cleaned is not None:
    run_vecm_with_exog(df_cleaned)

# =====
# BLOQUE 10 - VECM MULTIVARIADO
# =====

def run_multivariate_vecm(df):

```

```

"""
    Estima un modelo VECM multivariado con todas las variables como
    endógenas.
    """
    print("\n-----")
    print("☑ Iniciando especificación y estimación del VECM
    multivariado...")
    print("-----")

    # 1. Selecciona las variables endógenas
    endog_vars = ['ctfp', 'ied', 'ti', 'crude_oil_brent', 'copper',
'natural_gas_index']
    df_model = df[endog_vars].dropna()

    # 2. Selección del orden óptimo de rezagos (usamos AIC)
    lag_selection = select_order(df_model, maxlags=5, deterministic="ci")
    optimal_lags = lag_selection.aic
    print(f"🔗 Lags óptimos según AIC: {optimal_lags}")
    print(lag_selection.summary())

    # 3. Prueba de rango de cointegración de Johansen
    coint_test = select_coint_rank(df_model, det_order=0,
k_ar_diff=optimal_lags, method="trace", signif=0.05)
    print(f"\n🔗 Número de relaciones de cointegración detectadas:
{coint_test.rank}")

    # 4. Estimación del modelo VECM
    vecm_model = VECM(endog=df_model, k_ar_diff=optimal_lags,
coint_rank=coint_test.rank, deterministic="ci")
    vecm_fit = vecm_model.fit()

    # 5. Mostrar resumen del modelo
    print("\n📄 Resumen del modelo VECM multivariado:\n")
    print(vecm_fit.summary())
    print("-----")

# =====
# EJECUCIÓN DEL ANÁLISIS
# =====
if df_cleaned is not None:
    run_multivariate_vecm(df_cleaned)

# =====
# PRUEBA DE COINTEGRACIÓN (JOHANSEN)
# =====

def run_johansen_test(df):
    """
    Realiza la prueba de cointegración de Johansen y devuelve el número
    óptimo de rezagos y el rango de cointegración.
    """
    print("\n-----")
    print("☑ BLOQUE 6: Prueba de cointegración (Johansen)...")
    print("-----")

```

```

# Variables de interés (nombres estandarizados)
variables = ["ctfp", "ied", "ti", "crude_oil_brent", "copper",
"natural_gas_index"]
df_test = df[variables].dropna()

# Selección del orden óptimo de rezagos
lag_selection = select_order(df_test, maxlags=5, deterministic="ci")
optimal_lags = lag_selection.aic
print(f"👉 Lags óptimos según AIC: {optimal_lags}")

# Prueba de cointegración de Johansen (con rezagos óptimos)
resultado_johansen = coint_johansen(df_test, det_order=0,
k_ar_diff=optimal_lags)

print("\n=== Prueba de Cointegración (Johansen - Traza) ===")
for i, trace in enumerate(resultado_johansen.lr1):
    crit_95 = resultado_johansen.cvt[i, 1]
    decision = "Rechaza H0" if trace > crit_95 else "No rechaza H0"
    print(f"H0: ≤ {i} | Traza = {trace:.2f} | Crítico 95% = {crit_95:.2f}
| {decision}")

# Determinar el rango de cointegración
coint_rank = select_coint_rank(df_test, det_order=0,
k_ar_diff=optimal_lags, method="trace").rank
print(f"\n👉 Número de relaciones de cointegración detectadas:
{coint_rank}")

# === Vectores de cointegración (β) normalizados ===
print("\n=== Vectores de Cointegración (Normalizados a la primera
variable) ===")
if coint_rank > 0:
    beta = resultado_johansen.evec[:, :coint_rank]
    cointegration_vectors = pd.DataFrame(beta, index=variables,
columns=[f"β{i+1}" for i in range(coint_rank)])
    print(cointegration_vectors.round(4))
    print("\n" + cointegration_vectors.round(4).to_markdown())
else:
    print("❌ No se encontraron vectores de cointegración.")

print("-----")

return optimal_lags, coint_rank

# =====
# EJECUCIÓN DEL ANÁLISIS
# =====
df_cleaned = prepare_data(archivo)
if df_cleaned is not None:
    optimal_lags, coint_rank = run_johansen_test(df_cleaned)

# =====
# BLOQUE 11 - ECUACIONES DE LARGO PLAZO
# =====

def run_johansen_test(df):

```

```

"""
Realiza la prueba de cointegración de Johansen y devuelve el número
óptimo
de rezagos y el rango de cointegración.
"""
print("\n-----")
print("☑ BLOQUE 6: Prueba de cointegración (Johansen)...")
print("-----")

# Variables de interés (nombres estandarizados)
variables = ["ctfp", "ied", "ti", "crude_oil_brent", "copper",
"natural_gas_index"]
df_test = df[variables].dropna()

# Selección del orden óptimo de rezagos
lag_selection = select_order(df_test, maxlags=5, deterministic="ci")
optimal_lags = lag_selection.aic
print(f"👉 Lags óptimos según AIC: {optimal_lags}")

# Prueba de cointegración de Johansen (con rezagos óptimos)
resultado_johansen = coint_johansen(df_test, det_order=0,
k_ar_diff=optimal_lags)

print("\n=== Prueba de Cointegración (Johansen - Traza) ===")
for i, trace in enumerate(resultado_johansen.lrl1):
    crit_95 = resultado_johansen.cvt[i, 1]
    decision = "Rechaza H0" if trace > crit_95 else "No rechaza H0"
    print(f"H0: ≤ {i} | Traza = {trace:.2f} | Crítico 95% = {crit_95:.2f}
| {decision}")

# Determinar el rango de cointegración
coint_rank = select_coint_rank(df_test, det_order=0,
k_ar_diff=optimal_lags, method="trace").rank
print(f"\n👉 Número de relaciones de cointegración detectadas:
{coint_rank}")

# === Vectores de cointegración (β) normalizados ===
if coint_rank > 0:
    beta = resultado_johansen.evec[:, :coint_rank]
    # Normalizamos explícitamente a la primera variable para que su
coeficiente sea 1.0
    beta_normalized = beta / beta[0, :]
    cointegration_vectors = pd.DataFrame(beta_normalized,
index=variables, columns=[f"β{i+1}" for i in range(coint_rank)])

print("\n=== Vectores de Cointegración (Normalizados a ctfp) ===")
print(cointegration_vectors.round(4))
print("\n" + cointegration_vectors.round(4).to_markdown())

# === Ecuaciones de Largo Plazo ===
print("\n=== Ecuaciones de Largo Plazo ===")
for i in range(coint_rank):
    ecuacion = f"ctfp_t ≈ "
    for j, var in enumerate(variables):
        if j > 0: # Omitimos la primera variable (ctfp) que ya está

```

```

en el lado izquierdo
    coef = -cointegration_vectors.iloc[j, i] # Cambiamos el
signo para pasarla al otro lado
    signo = '+' if coef >= 0 else '-'
    ecuacion += f" {signo} {abs(coef):.4f} * {var}_t"
    print(f"Ecuación {i+1} ({'β' + str(i+1)}):")
    print(ecuacion.replace('~ +', '~ '))

else:
    print("✗ No se encontraron vectores de cointegración.")

print("-----")

return optimal_lags, coint_rank

# =====
# EJECUCIÓN DEL ANÁLISIS
# =====
if df_cleaned is not None:
    optimal_lags, coint_rank = run_johansen_test(df_cleaned)

# =====
# BLOQUE 12 - VECM MULTIVARIADO - VALIDACIÓN
# =====

from statsmodels.tsa.vector_ar.vecm import VECM, select_order,
select_coint_rank
from statsmodels.stats.diagnostic import acorr_ljungbox, het_arch, normal_ad
import pandas as pd

def run_multivariate_vecm(df):
    """
    Estima un modelo VECM multivariado con todas las variables como endógenas
    y realiza pruebas de validación de los residuos.
    """
    print("\n-----")
    print("☑ Iniciando especificación y estimación del VECM
multivariado...")
    print("-----")

    # Selección de las variables endógenas
    endog_vars = ['ctfp', 'ied', 'ti', 'crude_oil_brent', 'copper',
'natural_gas_index']
    df_model = df[endog_vars].dropna()

    # Selección del orden óptimo de rezagos (usamos AIC)
    lag_selection = select_order(df_model, maxlags=5, deterministic="ci")
    optimal_lags = lag_selection.aic

    # Prueba de rango de cointegración de Johansen
    coint_test = select_coint_rank(df_model, det_order=0,
k_ar_diff=optimal_lags, method="trace", signif=0.05)
    coint_rank = coint_test.rank

```

```

print(f"🔗 Lags óptimos según AIC: {optimal_lags}")
print(f"🔗 Número de relaciones de cointegración detectadas:
{coint_rank}")

# Estimación del modelo VECM
vecm_model = VECM(endog=df_model, k_ar_diff=optimal_lags,
coint_rank=coint_rank, deterministic="ci")
vecm_fit = vecm_model.fit()

# Mostrar resumen del modelo
print("\n📄 Resumen del modelo VECM multivariado:\n")
print(vecm_fit.summary())

# Validación de residuos (estadístico + p-value asegurados)
print("\n=== VALIDACIÓN DE LOS RESIDUOS ===")
residuos = pd.DataFrame(vecm_fit.resid, columns=endog_vars)

results = [] # guardamos en lista para luego hacer DataFrame

for col in residuos.columns:
    print(f"\n📄 Prueba para la variable: {col}")

    # ---- Autocorrelación (Ljung-Box, lag=10)
    lb_test = acorr_ljungbox(residuos[col], lags=[10], return_df=True)
    lb_stat = float(lb_test["lb_stat"].iloc[0])
    lb_pval = float(lb_test["lb_pvalue"].iloc[0])
    print(f" - Autocorrelación (Ljung-Box): estadístico = {lb_stat:.4f},
p-value = {lb_pval:.4f} " +
        ("✅" if lb_pval > 0.05 else "❌"))
    results.append([col, "Ljung-Box", lb_stat, lb_pval])

    # ---- Heterocedasticidad (ARCH LM)
    arch_test = het_arch(residuos[col], nlags=10)
    arch_stat = float(arch_test[0])
    arch_pval = float(arch_test[1])
    print(f" - Heterocedasticidad (ARCH LM): estadístico =
{arch_stat:.4f}, p-value = {arch_pval:.4f} " +
        ("✅" if arch_pval > 0.05 else "❌"))
    results.append([col, "ARCH LM", arch_stat, arch_pval])

    # ---- Normalidad (Anderson-Darling)
    stat, pval = normal_ad(residuos[col])
    print(f" - Normalidad (Anderson-Darling): estadístico = {stat:.4f},
p-value = {pval:.4f} " +
        ("✅" if pval > 0.05 else "❌"))
    results.append([col, "Normalidad AD", stat, pval])

# Convertimos a DataFrame
df_results = pd.DataFrame(results, columns=["Variable", "Prueba",
"Estadístico", "p-value"])
print("\n📄 Resumen tabular de pruebas:\n", df_results)

return vecm_fit, df_results

```

```

# =====
# EJECUCIÓN DEL ANÁLISIS
# =====
if 'df_cleaned' in locals() and df_cleaned is not None:
    vecm_fit, df_results = run_multivariate_vecm(df_cleaned)
else:
    print("⚠ Error: df_cleaned no está definido o está vacío.")

# =====
# BLOQUE 13 - GRAFICO FI
# =====

def run_full_vecm_analysis_and_plot_irf(df):
    """
    Estimación VECM, valida residuos y genera gráficos IRF de forma
    silenciosa.
    """
    endog_vars = ['ctfp', 'ied', 'ti', 'crude_oil_brent', 'copper',
'natural_gas_index']
    df_model = df[endog_vars].dropna()

    new_names = {
        'ctfp': 'PTF', 'ied': 'IED', 'ti': 'TI',
        'crude_oil_brent': 'Petróleo', 'copper': 'Cobre',
        'natural_gas_index': 'Gas Natural'
    }
    variables_es = [new_names[var] for var in endog_vars]

    # Valores de rezago y rango de cointegración de análisis previo
    optimal_lags = 5
    coint_rank = 3

    try:
        vecm_model = VECM(endog=df_model, k_ar_diff=optimal_lags,
coint_rank=coint_rank, deterministic="ci")
        vecm_fit = vecm_model.fit()
    except np.linalg.LinAlgError:
        print("✘ Error: Matriz singular. Intenta ajustar el rango de
cointegración manualmente.")
        return

    # Generación de gráficos IRF
    irf = vecm_fit.irf(10)
    n = len(variables_es)

    # Usamos sharey=False para que cada gráfico tenga su propio rango de
eje Y
    fig, axs = plt.subplots(n, n, figsize=(26, 26), sharex=True,
sharey=False)
    fig.suptitle('Funciones Impulso-Respuesta: todas las variables sobre
todas (±2 std)', fontsize=30)

    for i in range(n):
        for j in range(n):
            ax = axs[i, j]
            response = irf.orth_irfs[:, i, j]

```

```

stderr = irf.stderr(orth=True)[: , i , j]
upper = response + 2 * stderr
lower = response - 2 * stderr

ax.plot(range(11), response, color='#0033A0')
ax.fill_between(range(11), lower, upper, color='gray', alpha=0.3)
ax.axhline(0, color='black', linewidth=0.8, linestyle='--')
ax.grid(True)
ax.set_xlim(0, 10)
ax.set_xticks(range(11))

ymin = min(lower.min(), 0)
ymax = max(upper.max(), 0)
margin = 0.1 * (ymax - ymin) if (ymax - ymin) != 0 else 0.01
ax.set_ylim(ymin - margin, ymax + margin)

if i == 0:
    ax.set_title(f'Shock: {variables_es[j]}', fontsize=16)
if j == 0:
    ax.set_ylabel(f'Resp: {variables_es[i]}', fontsize=16)
ax.tick_params(axis='both', labelsize=12)

handles = [plt.Line2D([], [], color='#0033A0', label='Respuesta'),
           plt.Rectangle((0, 0), 1, 1, color='gray', alpha=0.3, label='±2
std')]
fig.legend(handles=handles, loc='upper center', ncol=2, fontsize=18)

plt.tight_layout(rect=[0, 0.05, 1, 0.93])
plt.show()

# =====
# EJECUCIÓN DEL ANÁLISIS
# =====

if df_cleaned is not None:
    run_full_vecm_analysis_and_plot_irf(df_cleaned)

# =====
# BLOQUE 14 - TABLA DE IRF
# =====

def run_irf_table_detailed(vecm_fit, endog_vars):
    """
    Extrae los valores de la IRF para la PTF y los muestra en una tabla.
    """
    print("\n-----")
    print("☑ Generando tabla de valores de la IRF...")
    print("-----")

    # Nombres de las columnas para la tabla (en español)
    spanish_names = {
        'ctfp': 'PTF', 'ied': 'IED', 'ti': 'TI',
        'crude_oil_brent': 'Precio-Petróleo', 'copper': 'Precio-Cobre',
        'natural_gas_index': 'Precio-Gas'
    }

```

```

# Obtener la IRF
irf = vecm_fit.irf(10) # 10 periodos

# Extraer la respuesta de 'ctfp' ante cada shock
# La respuesta de 'ctfp' está en el índice 0
response_variable_index = endog_vars.index('ctfp')

respuestas = {}
for i, shock in enumerate(endog_vars):
    respuesta_ctfp = irf.orth_irfs[:, response_variable_index, i]
    shock_espanol = f"Shock en {spanish_names[shock]}"
    respuestas[shock_espanol] = respuesta_ctfp

#Crear DataFrame con los resultados
irf_ctfp_df = pd.DataFrame(respuestas)
irf_ctfp_df.index.name = 'Periodo'

#Mostrar la tabla
print("\n📄 Valores de la Función Impulso-Respuesta (IRF) de la PTF:")
print(irf_ctfp_df.round(4))

irf_ctfp_df.to_excel("IRF_PTF_Tabla.xlsx")
print("\n📄 Tabla exportada a 'IRF_PTF_Tabla.xlsx'")
print("-----")

# =====
# EJECUCIÓN DEL ANÁLISIS
# =====
if vecm_fit is not None:
    run_irf_table_detailed(vecm_fit, endog_vars)

```