

Trabajos de investigación

Autores

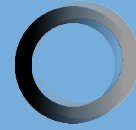
Guilherme Magacho

Marco Brancher

Coordinación

Guilherme Magacho (AFD)

Efectos macro-
económicos
de la transición
hacia una
economía con
bajas emisiones
de carbono en
América Latina



**ÉDITIONS
AFD** AGENCE FRANÇAISE
DE DÉVELOPPEMENT

Febrero 2024
Número 301

Agence française de développement

Papiers de recherche

Les *Papiers de Recherche de l'AFD* ont pour but de diffuser rapidement les résultats de travaux en cours. Ils s'adressent principalement aux chercheurs, aux étudiants et au monde académique. Ils couvrent l'ensemble des sujets de travail de l'AFD : analyse économique, théorie économique, analyse des politiques publiques, sciences de l'ingénieur, sociologie, géographie et anthropologie. Une publication dans les *Papiers de Recherche de l'AFD* n'en exclut aucune autre.

Les opinions exprimées dans ce papier sont celles de son (ses) auteur(s) et ne reflètent pas nécessairement celles de l'AFD. Ce document est publié sous l'entière responsabilité de son (ses) auteur(s) ou des institutions partenaires.

Research Papers

AFD Research Papers are intended to rapidly disseminate findings of ongoing work and mainly target researchers, students and the wider academic community. They cover the full range of AFD work, including: economic analysis, economic theory, policy analysis, engineering sciences, sociology, geography and anthropology. *AFD Research Papers* and other publications are not mutually exclusive.

The opinions expressed in this paper are those of the author(s) and do not necessarily reflect the position of AFD. It is therefore published under the sole responsibility of its author(s) or its partner institutions.

Efectos macroeconómicos de la transición hacia una economía con bajas emisiones de carbono en América Latina

Un enfoque de cambio estructural centrado en Bolivia

AUTORES

Guilherme Magacho

Agence Française de Développement

Marco Brancher

MPA/ID 2023 Harvard Kennedy School y CND/FGV

Résumé

Cet article se penche sur les défis complexes auxquels sont confrontés les pays d'Amérique latine, en mettant particulièrement l'accent sur la Bolivie, dans leur transition vers une économie à faible émission de carbone. En s'appuyant sur le modèle ESTEEM, développé par l'AFD, une méthodologie basée sur des matrices hybrides d'entrées-sorties multirégionales, nous évaluons les capacités sectorielles de ces nations à générer des devises étrangères, des recettes fiscales, de l'emploi et des salaires. Nos conclusions soulignent les effets adverses potentiels de ce changement structurel profond sur la croissance économique, les finances gouvernementales et la stabilité financière, mettant en lumière les contraintes qui pourraient survenir, en particulier dans les économies cherchant à promouvoir une transformation structurelle. Cette analyse de l'exposition actuelle et des vulnérabilités des pays en développement à la transition vers une économie à faible émission de carbone souligne l'importance d'adapter des politiques efficaces à chaque contexte spécifique. La transition vers une économie plus verte nécessite des investissements publics importants dans l'infrastructure verte, le soutien aux industries et aux technologies émergentes, ainsi que des mesures de protection sociale. La Bolivie, avec l'une des émissions de gaz à effet de serre par habitant parmi les plus élevées au monde, est confrontée à l'impératif de politiques ambitieuses, d'innovation technologique et de collaboration internationale pour faciliter la transition tout en préservant des aspects économiques et sociaux

critiques. Notre évaluation de la capacité de la Bolivie à s'adapter aux contraintes de la transition à faible émission de carbone et de son filet de sécurité sociale révèle que le pays présente une forte exposition, des capacités productives et technologiques limitées, ainsi qu'une protection sociale limitée, signifiant un degré élevé de vulnérabilité à la transition à faible émission de carbone.

Mots-clés

Transition écologique, Transition bas-carbone, Stock-Flow Consistent Model, Exportateurs de ressources naturelles, Pays en développement et émergents, Changements structurels, Industrialisation

Resumen

En este artículo se analizan los complejos desafíos a los que se enfrentan los países de América Latina en su transición hacia una economía con bajas emisiones de carbono, prestando una atención especial al caso de Bolivia. Utilizando como base el modelo ESTEEM, desarrollado por la AFD, una metodología basada en matrices híbridas input-output multirregionales, se evalúan las capacidades sectoriales de estas naciones para generar divisas, ingresos fiscales, empleo y salarios. Las conclusiones del estudio ponen de relieve los posibles efectos adversos de este profundo cambio estructural en el crecimiento económico, las finanzas públicas y la estabilidad financiera, destacando las limitaciones que podrían surgir, especialmente en las economías que tratan de promover una transformación estructural. Este análisis de la exposición y las

vulnerabilidades actuales de los países en desarrollo ante la transición hacia una economía con bajas emisiones de carbono pone de manifiesto la importancia de adaptar las políticas eficaces a cada contexto específico. El cambio hacia una economía más verde requiere importantes inversiones públicas en infraestructura verde, apoyo a las industrias y tecnologías emergentes y medidas de protección social. Bolivia, con uno de los niveles de emisiones de gases de efecto invernadero per cápita más altos del mundo, se enfrenta al imperativo de poner en marcha políticas ambiciosas y de impulsar la innovación tecnológica y la colaboración internacional para facilitar la transición, preservando al mismo tiempo aspectos económicos y sociales de crucial importancia. Nuestra evaluación de la capacidad de Bolivia para adaptarse a las limitaciones de la transición hacia una economía con bajas emisiones de carbono y de su red de protección social revela que el país presenta una exposición elevada, capacidades productivas y tecnológicas restringidas y una protección social limitada en los sectores más expuestos a la transición, lo que significa un alto grado de vulnerabilidad a la transición hacia una economía con bajas emisiones de carbono.

Palabras clave

Transición ecológica, transición hacia una economía con bajas emisiones de carbono, exportadores de recursos naturales, países en desarrollo y emergentes, cambios estructurales, industrialización.

Version original

Espagnol

Aprobación

Février 2024

1. Introducción

El Acuerdo de París de 2015 supuso un avance histórico en la gobernanza mundial del cambio climático. Estableció un nuevo marco con enfoque ascendente en el que los países se comprometen voluntariamente a lograr objetivos de reducción de emisiones, conocidos como contribuciones determinadas a nivel nacional o CDN, con el objetivo de limitar el calentamiento global por debajo de 2,0 grados centígrados en comparación con los niveles preindustriales UNFCCC (2015). Las CDN representan un cambio respecto a los objetivos obligatorios del Protocolo de Kioto, cuyo enfoque era descendente. Este nuevo planteamiento fomenta una amplia participación al permitir a los países fijar objetivos basados en sus circunstancias nacionales.

Aunque las investigaciones recientes muestran con claridad que el cambio climático plantea riesgos para el crecimiento económico, las finanzas públicas y la estabilidad financiera, la magnitud de sus efectos potenciales sigue siendo incierta debido a las incógnitas en torno a la adaptación, especialmente en las respuestas políticas. Además, aunque el cambio climático entraña graves amenazas, también impulsa cambios estructurales en las economías y las sociedades. La comprensión de estas interacciones puede ayudar a diseñar soluciones políticas para un futuro sostenible. Por lo tanto, será vital estimar los efectos macroeconómicos de la transición para diseñar el camino correcto hacia la neutralidad en carbono.

Los países deberán modificar drásticamente sus estructuras económicas para cumplir sus CDN, y los Gobiernos de todo el mundo están aplicando políticas públicas para fomentar la transición hacia una economía neutra en carbono. Estas políticas crean incentivos para las industrias con bajas emisiones de carbono (conocidas como industrias «en expansión») y, al mismo tiempo, penalizan a los sectores con altas emisiones (o «en declive») (Semieniuk et al. (2020)). La rapidez con la que un país alcanzará la nueva estructura económica prevista es específica de cada contexto, al igual que las repercusiones de esta transición, y ambos elementos dependerán principalmente de su estructura económica actual. Así pues, es fundamental saber cómo se relacionan las industrias de altas emisiones con el resto de la economía para comprender realmente los riesgos macroeconómicos de cada país en su transición hacia la neutralidad en carbono.

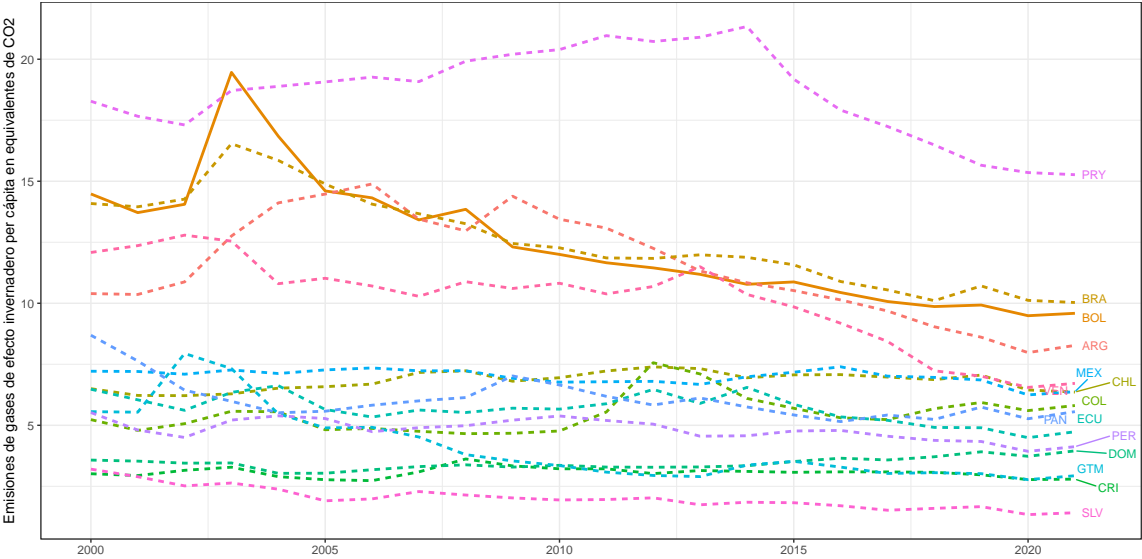
En este artículo no nos centraremos en proponer una vía de sustitución entre sectores en pos de una economía con bajas emisiones de carbono. En su lugar, nuestra atención se concentra en una tarea previa y mucho más sencilla: identificar los riesgos macroeconómicos de la transición hacia una economía con bajas emisiones de carbono para Bolivia, en un contexto internacional en el que esta rápida transformación estructural viene impuesta desde el exterior. Por lo tanto, nuestro objetivo es estimar la exposición macroeconómica de Bolivia al rápido cambio estructural provocado por la transición hacia una economía con bajas emisiones de carbono. Utilizamos un método de simulación desarrollado por Magacho et al. (2023b) para evaluar la exposición externa, fiscal y socioeconómica. Asimismo, consideramos la capacidad del país para adaptar su estructura productiva hacia una economía con bajas emisiones de carbono.

Aunque Bolivia sea responsable por cerca del 0,05% de las emisiones de CO₂ globales

(Ritchie et al. (2020)) y por lo tanto tenga una pequeña contribución para los cambios climáticos, el país enfrenta a importantes retos en la transición hacia una economía neutra en carbono y en el cumplimiento de sus contribuciones determinadas a nivel nacional (CDN) en el marco del Acuerdo de París. Andersen et al. (2022) revelan que las emisiones del país por unidad de PIB son diez veces superiores a la media mundial. Según Andersen et al. (2022), las emisiones de CO₂ de Bolivia procedentes del consumo de combustibles fósiles y de la producción de cemento ascienden a unas 2,1 tCO₂ por persona y año, un valor acorde con el promedio de los países de renta media-baja. Sin embargo, como se muestra en la Figura 2, una parte significativa de las emisiones directas de GEI de Bolivia provienen del cambio de uso del suelo y la silvicultura. Por lo tanto, debido a la amplia deforestación (con unas emisiones per cápita de casi 22 tCO₂ en 2021), las emisiones de CO₂ per cápita de Bolivia se encuentran actualmente entre las más altas del mundo. Superan las emisiones per cápita de los Estados Unidos y los Emiratos Árabes Unidos, con más de 28 tCO₂eq por persona y año. Este nivel de emisiones es casi seis veces superior a la media mundial (unas 5 tCO₂ por persona) (Andersen et al. (2022)).

Incluso si no se tienen en cuenta las emisiones procedentes de la deforestación, Bolivia es el tercer país de América Latina con mayores emisiones per cápita, por detrás de Paraguay y Brasil, como muestra la Figura 1. Es probable que se requieran políticas ambiciosas, nuevas tecnologías y cooperación internacional para que la transición sea asequible y se garantice la consecución de los resultados económicos y sociales fundamentales.

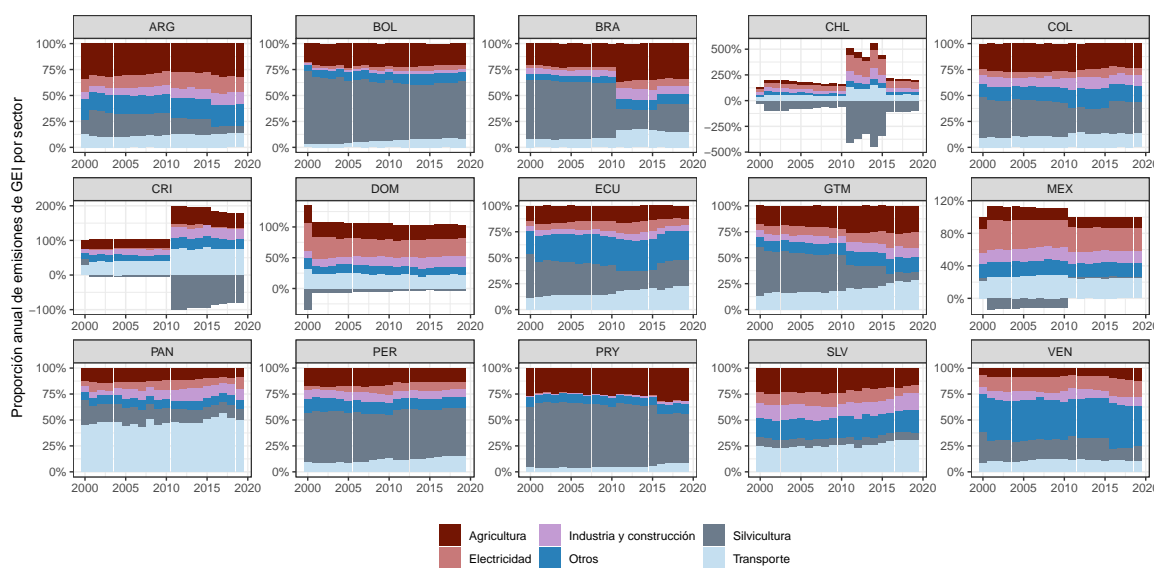
Figure 1: Emisiones de GEI per cápita procedentes de combustibles fósiles y del sector industrial



Fuente: Ritchie et al. (2020)

Para identificar las posibles industrias en declive a escala mundial, consideramos sus emisiones directas, ascendentes y descendentes, reconociendo que las emisiones indirectas a menudo constituyen una parte significativa de la huella total de gases de efecto invernadero (GEI), como demuestran Downie and Stubbs (2013). Una vez definidas estas industrias en declive, se evalúa la dependencia directa e indirecta de la economía respecto

Figure 2: Proporción anual de emisiones de GEI por sector



Fuente: Ritchie et al. (2020)

a ellas en varias dimensiones.

En concreto, se calculan las variables siguientes:

1. La proporción de divisas netas generadas por las industrias en declive (calculada descontando las exportaciones en función de su contenido en importaciones).
2. La parte de los ingresos públicos procedente de la fiscalidad de las industrias en declive.
3. La proporción de los salarios y del empleo generada por estas industrias en declive.

Los resultados obtenidos muestran que los países latinoamericanos presentan una elevada heterogeneidad en sus niveles de exposición en todas las dimensiones analizadas. Bolivia presenta unas emisiones de GEI per cápita y por unidad de PIB significativamente altas. Además, el país se encuentra entre los más expuestos de la región al riesgo que supone una transición hacia una economía con bajas emisiones de carbono, especialmente si se tiene en cuenta su capacidad para adaptar su estructura económica a la transición (Mealy and Teytelboym (2020)). Los resultados indican que, en Bolivia, más de la mitad de los ingresos netos en divisas, casi un tercio de la recaudación fiscal, más de una cuarta parte del empleo y más de una quinta parte de la masa salarial total proceden de industrias en declive.

El artículo está estructurado como sigue. En la sección 2 se analiza la transición hacia una economía con bajas emisiones de carbono como una fuente de rápidos cambios estructurales, centrandó la atención en tres dimensiones de la exposición macroeconómica: la exposición externa, la fiscal y la socioeconómica. La sección 3 presenta los datos y la metodología. La sección 4 muestra los principales resultados obtenidos para Bolivia, utilizando América Latina como base de referencia. La sección 5 propone algunas reflexiones sobre el caso boliviano. Por último, la sección 6 concluye con las principales reflexiones de los autores.

2. Revisión bibliográfica

El cambio climático es uno de los fallos del mercado más importantes que el mundo haya visto jamás (Stern (2007)), puesto que la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) es una consecuencia directa de las actividades económicas (Jaffe et al. (2005) y Rodrik (2014)). Este fallo del mercado ha conducido a una «tragedia de los comunes», en la que los individuos actúan de forma interesada y agotan el recurso compartido (Wang and Chen (2013)), alcanzando un nivel de emisiones a escala mundial muy superior al socialmente óptimo.

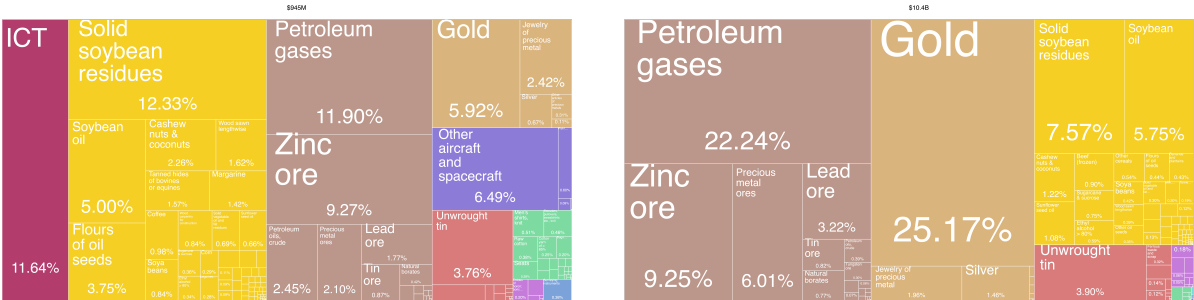
Para corregir este profundo fallo del mercado e internalizar el coste social del carbono, los países de todo el mundo están empleando diversas estrategias de transición de sus economías hacia la neutralidad en carbono. Azar and Dowlatabadi (1999) sostienen que la estabilización del CO₂ atmosférico exigirá una revisión completa de nuestra forma de producir y consumir energía. Las mejoras marginales no serán suficientes. Esto implica una profunda transformación de todo el sistema económico mundial. Con independencia de la estrategia adoptada, los países se enfrentan a rápidos cambios estructurales para adaptarse al nuevo paradigma climático.

La transición hacia una economía con bajas emisiones de carbono representa un cambio estructural monumental que transformará las sociedades y las economías, con efectos adversos no desdeñables para los países que dependen de la fabricación de productos con altas emisiones. El objetivo es aprovechar la transición hacia una economía con bajas emisiones de carbono para desarrollar nuevos sectores económicos, pero al mismo tiempo será necesario lidiar con los inconvenientes que impone la transición y controlarlos. La transición y sus repercusiones son altamente heterogéneas, ya que dependen de la estructura económica inicial de cada país. Como demostraron Hartmann et al. (2017), las naciones con mayor capacidad de adaptación y una diversificación de productos más amplia tienden a mostrar una mayor capacidad de generación y distribución de la renta.

La transición hacia una economía con bajas emisiones de carbono tendrá repercusiones muy importantes en los sistemas macroeconómicos y financieros, especialmente en los países en desarrollo. Puede perturbar algunas industrias y empresas, pero también apoyar a otras e influir en el crecimiento, el empleo, el comercio y otros aspectos. Campiglio and van der Ploeg (2022) sostienen que esta transición puede perturbar a las empresas financieras y no financieras a través del bloqueo de activos, la morosidad y la volatilidad, que pueden propagarse a través de las redes y elevar los costes. Los países en desarrollo podrían enfrentarse a restricciones en sus balanzas de pagos debido a una reducción de los ingresos de exportación de las industrias de altas emisiones (Savona and Ciarli (2019) y Semieniuk et al. (2020)), lo que limitaría su capacidad para importar los bienes de capital necesarios para llevar a cabo la transición. Además, en muchos países en desarrollo, las industrias en declive representan una importante fuente de ingresos fiscales y puestos de trabajo. Así pues, las limitaciones internas y externas que se derivan de la transición pueden tener profundas consecuencias sociales y políticas, a pesar de que afectan de manera directa a la capacidad de cada país para invertir en tecnologías verdes.

Los países en desarrollo son especialmente vulnerables al cambio climático debido a su ubicación, su grado de informalidad y su dependencia de la agricultura (Nath and Behera (2010)). La economía boliviana ha experimentado cambios significativos en las últimas décadas. Bolivia ha avanzado en materia de inclusión social y reducción de la pobreza desde la década de 2000 (Fabricant and Gustafson (2020)).), pero su economía sigue dependiendo profundamente de las industrias extractivas, lo que genera tensiones políticas y sociales. La dependencia del país del gas, la soja y el litio para la exportación y los ingresos fiscales se traduce en vulnerabilidad a las crisis de precios y a la excesiva dependencia de unos recursos finitos (Morales (2001) y Z. Escobar and Ariel J. Santiago).). La estructura económica de Bolivia se basa principalmente en la extracción y exportación de recursos naturales, especialmente de hidrocarburos y minerales (Weisbrot and Sandoval (2008) y Diaz-Cuellar (2017)), como muestra la Figura 3. Entre 2018 y 2022, los gases de petróleo y otros hidrocarburos gaseosos representaron, en promedio, más de una cuarta parte del total de las exportaciones bolivianas; más del 98% de estas exportaciones fue destinado a Brasil y Argentina (el 53,7% a Brasil y el 44,6% a Argentina). Sin embargo, se espera que tanto Brasil como Argentina reduzcan sus importaciones de gas natural en los próximos años tras el descubrimiento de las reservas de Vaca Muerta en Argentina, la reducción de los precios en los mercados internacionales y el anuncio de la rápida disminución de las reservas de Bolivia (Mackenzie (2022)).

Figure 3: Cesta de exportaciones netas en 2000 (izquierda) y 2021 (derecha)



Nota: los valores de la parte superior representan el valor total de las exportaciones netas en cada año.

Fuente: Atlas of Economic Complexity.

3. Definición de las industrias en declive

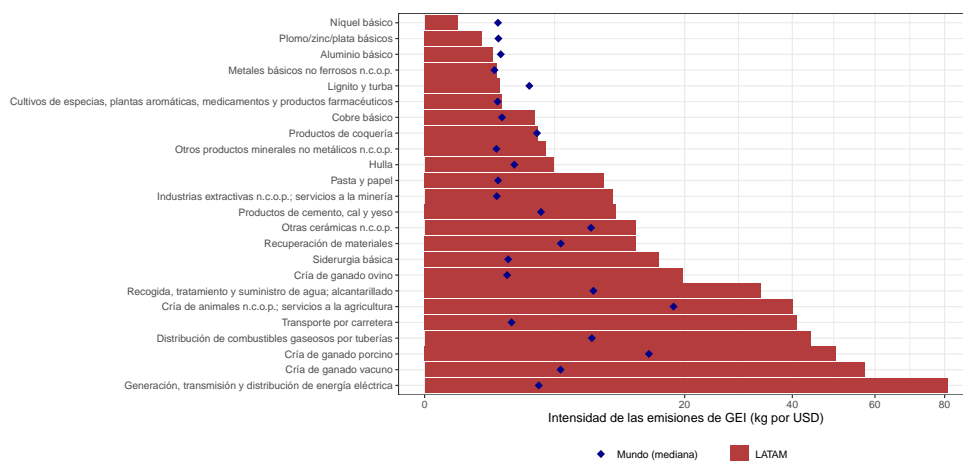
Para evaluar la vulnerabilidad de Bolivia, primero identificamos las posibles industrias en declive. Posteriormente, integramos tanto las dependencias directas como las indirectas, teniendo en cuenta las tres dimensiones anteriormente expuestas, la capacidad del país para llevar a cabo la transición hacia industrias alternativas o para absorber pérdidas y las características de la red de protección social del país. Esta evaluación exhaustiva nos permite calibrar la exposición del país a una transición con bajas emisiones de carbono, su capacidad para efectuar la transición y su capacidad de reducir el impacto social.

3.1. Definición de las industrias en declive

Este análisis se basa principalmente en la intensidad total de las emisiones de GEI como factor crucial para identificar posibles industrias en declive. Sin embargo, es esencial tener en cuenta que determinadas industrias pueden presentar una elevada intensidad de emisiones, pero no deben clasificarse como industrias en declive porque podrían sustituir a otras con un impacto ambiental aún mayor. Un ejemplo notable es el reciclaje, que ostenta una de las mayores intensidades de emisiones de CO₂, pero está excluido de nuestra lista de posibles industrias en declive debido a su capacidad para sustituir a muchas otras industrias perjudiciales para el medio ambiente. La Figura 4 presenta las industrias situadas en los cuantiles superiores por intensidad media de emisiones de GEI a escala mundial y en América Latina, a partir de las cuales definimos las industrias en declive que se exponen en la Tabla 1. Estos sectores representan, de forma directa e indirecta, el 50,5% del PIB de Bolivia en 2021 y suponen el 42% de las emisiones de GEI del país¹ en ese mismo año.

En la Figura 4, que abarca tanto las emisiones directas como las indirectas, observamos que, aparte de la generación, transmisión y distribución de energía eléctrica, que presenta la mayor intensidad de emisiones, otros tres sectores también muestran niveles significativos: cría de ganado vacuno, cría de ganado porcino y distribución de combustibles gaseosos a través de la red. Además, otros sectores como el transporte por carretera, la cría de animales, la recogida, tratamiento y suministro de agua, los productos del petróleo refinados y la construcción de ingeniería civil también muestran una elevada intensidad de emisiones de CO₂, aunque no en la misma medida que los mencionados anteriormente.

Figure 4: Intensidad de GEI por sectores en América Latina y el mundo



Fuente: Elaboración propia basada en datos de la Matriz GLORIA

Es esencial aclarar que la clasificación de una industria como en declive en un país determinado no se extiende necesariamente a todos los países. De hecho, la composición intrasectorial del comercio y la producción varía considerablemente de un país a otro, y estas diferencias deben tenerse en cuenta. Por ejemplo, muchos países tienen una baja

¹Directa o indirectamente, excluidos los componentes importados.

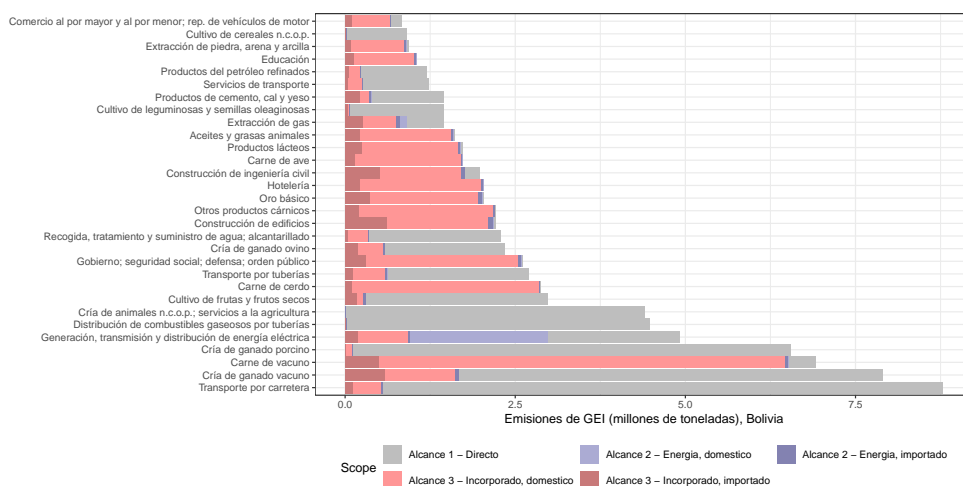
Table 1: Lista de industrias en declive

Cría de ganado vacuno Cría de ganado ovino Cría de ganado porcino Cría de aves de corral Cría de animales n.c.o.p.; servicios a la agric. Hulla Lignito y turba Extracción de petróleo Extracción de gas Minerales de hierro Mineral de aluminio	Minerales de estaño Extracción de piedra, arena y arcilla Minerales para abonos y productos químicos Carne de vacuno Carne de ovino Carne de cerdo Carne de ave Otros productos cárnicos Productos de coquería Productos del petróleo refinados Fertilizantes nitrogenados	Productos petroquímicos básicos Materiales de construcción de arcilla Otras cerámicas n.c.o.p. Productos de cemento, cal y yeso Siderurgia básica Aluminio básico Estaño básico Gen., trans. y distr. de energía eléctrica Distribución de combustibles gaseosos por tuberías
--	--	---

dependencia de los combustibles fósiles en el sector eléctrico, lo que hace que resulte inadecuado etiquetar este sector como industria en declive en esos países.

Como ya se ha mencionado, las emisiones de GEI por sectores presentan una elevada heterogeneidad a nivel nacional. Además, es importante diferenciar las industrias cuyas emisiones son elevadas debido a su proceso de producción directa (alcance 1) de aquellas cuyas emisiones indirectas son elevadas como consecuencia del consumo de energía (alcance 2) y de otras emisiones incorporadas (alcance 3). De hecho, como se muestra en la Figura ??, el Transporte Carretera es el sector con mayores emisiones totales en Bolivia, principalmente debido a sus emisiones directas. En cambio, la producción de carne de vacuno tiene un alto nivel de emisiones, provenientes principalmente de su uso energético. Además, las emisiones de la producción de carne de vacuno y de carne de vacuno tienden a aumentar con el tiempo con el plan de Bolivia de sustituir las exportaciones de gas natural por exportaciones de carne (Andersen et al. (2022)).

Figure 5: Emisiones de GEI por sector y alcance en Bolivia



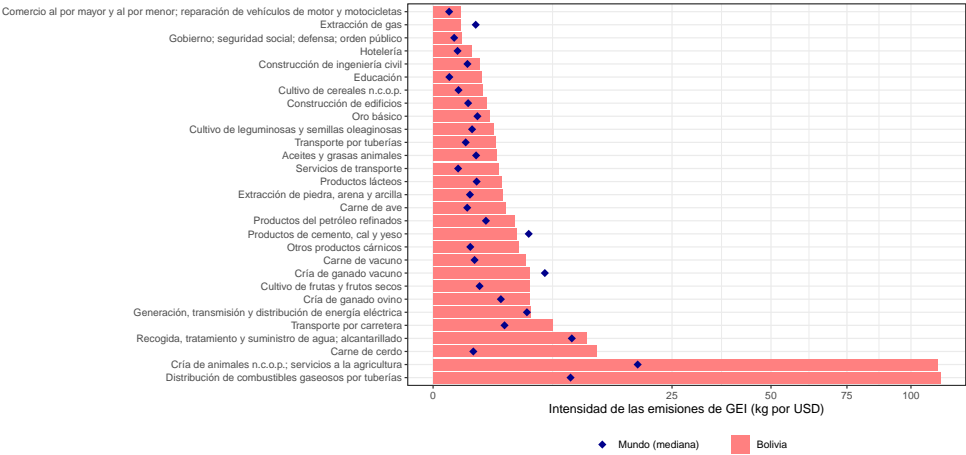
Fuente: Elaboración propia basada en datos de la Matriz GLORIA

Es importante señalar que el mix energético de Bolivia es relativamente limpio, a pesar de que la participación de las energías renovables en el consumo de energía final cayó del 37% en 1990 al 17% en 2020. En 2021, el 62% de la electricidad boliviana se generó a partir de gas natural, un 30% de instalaciones hidroeléctricas y un 8% de fuentes alternativas como biomasa, solar y eólica (de Fiscalización de Electricidad y Tecnología Nuclear. (2021)). El país presenta un importante potencial de generación de energía solar, eólica e hidroeléctrica, lo

que hace relativamente factible la descarbonización de la generación de energía (Andersen et al. (2022)). Sin embargo, como señala Medinaceli Monroy and Velásquez Bilbao La Vieja (2022) el país subsidia fuertemente el precio del gas natural y la generación de energía a partir de fuentes alternativas no es competitiva. Además, desde la promulgación del Decreto Supremo 27992 el 28 de enero de 2005, los precios de los combustibles en Bolivia se han mantenido fijos. Si bien esta estabilidad ha proporcionado beneficios significativos a los consumidores, provocando efectos positivos en la distribución, también ha planteado una carga financiera sustancial para el gobierno (Andersen et al. (2022)). Un estudio reciente Medinaceli Monroy and Velásquez Bilbao La Vieja (2022) estima que los costes directos anuales alcanzaron el 3% del PIB.

Controlando por el tamaño de cada sector de la economía boliviana, podemos evaluar la intensidad de las emisiones en el país. Este análisis, combinado con la comparación entre la intensidad media de emisiones en el mundo, nos proporciona una evaluación precisa del tamaño de la brecha tecnológica entre Bolivia y el resto del mundo. Por ejemplo, como se muestra en la Figura 6, la intensidad media mundial de emisiones para producir un dólar de Distribución de combustibles gaseosos por tuberías es mucho menor que en Bolivia.

Figure 6: Intensidad de GEI por sector Bolivia



Fuente: Elaboración propia basada en datos de la Matriz GLORIA

3.2. Exposición externa y fiscal

Una vez definidas las posibles industrias en declive, como se ha indicado anteriormente, evaluamos la exposición externa, fiscal y socioeconómica, teniendo en cuenta la dependencia de Bolivia de estas industrias para generar divisas, ingresos fiscales, empleo y salarios, tanto de forma directa como indirecta.

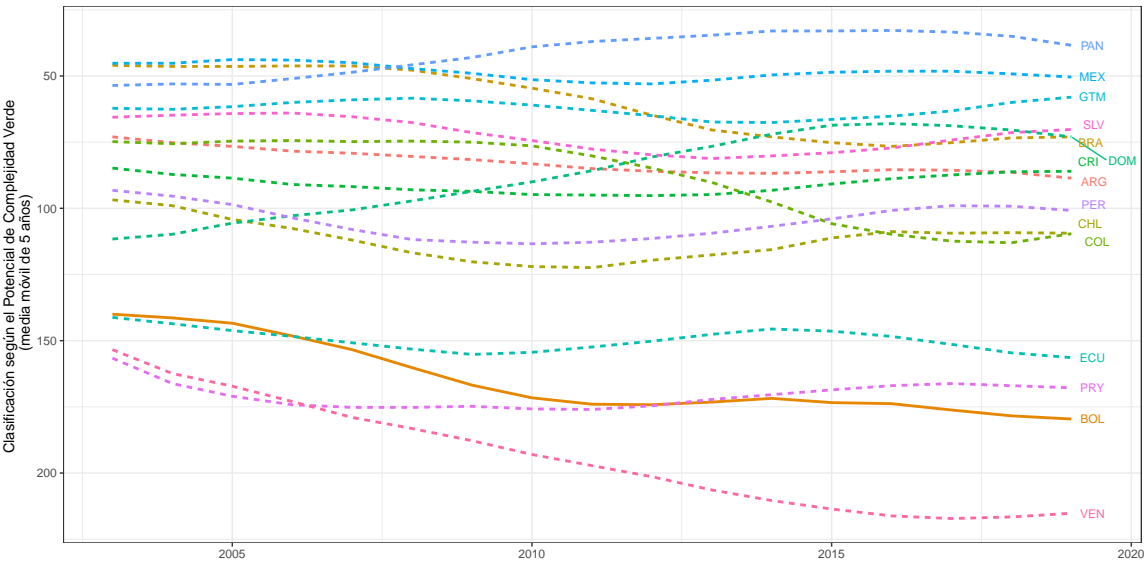
Los resultados de la exposición que aquí se presentan no implican una vulnerabilidad inmediata a la transición hacia una economía con bajas emisiones de carbono. De hecho, los países con mayor complejidad económica – una medida de las habilidades y capacidades técnicas implícitas de los países – cuentan con una reserva de capacidades

mayor (Hidalgo et al. (2007))), puesto que tienen más facilidades para transitar hacia una economía con bajas emisiones y, al mismo tiempo, reducir su vulnerabilidad a pesar de su exposición. Mealy and Teytelboym (2020) desarrollaron el Potencial de Complejidad Verde (PCV), basado en el Método de Complejidad Económica (Hidalgo and Hausmann (2009), Hausmann et al. (2013), Bustos and Yildirim (2019) y Hidalgo (2021)), para estimar las capacidades productivas de los países para acometer la transición hacia productos respetuosos con el medio ambiente.

En los países de renta baja, la complejidad económica tiende a aumentar las emisiones, ya que estas economías dependen en mayor medida de la industrialización y la fabricación para impulsar el crecimiento económico (Doğan et al. (2019) and Majeed et al. (2021)). En cambio, los países de renta más alta con economías más avanzadas y basadas en el conocimiento pueden aprovechar la complejidad económica para reducir las emisiones al mejorar la eficiencia energética y emprendiendo la transición hacia industrias más ecológicas (Demiral and Akça (2022)). Así, algunos estudios han constatado que la hipótesis de la curva medioambiental de Kuznets es válida para la complejidad económica y las emisiones, y que la relación sigue una forma de U invertida a medida que los países se desarrollan (Adebayo et al. (2021) y Majeed et al. (2021)).

Siguiendo el trabajo de Mealy and Teytelboym (2020), observamos que Bolivia no solo ocupa la posición más baja en términos de Potencial de Complejidad Verde (PCV) en 2019, sino que la posición del país se ha ido deteriorando desde 1990 en relación con el resto de América Latina. Estos resultados revelan un escenario complejo para Bolivia, ya que indican que el país cuenta con una capacidad limitada para acometer la transición hacia una economía con bajas emisiones o, lo que es lo mismo, que el coste de la transición podría ser sustancialmente mayor que en otros países con un conjunto de capacidades diferente.

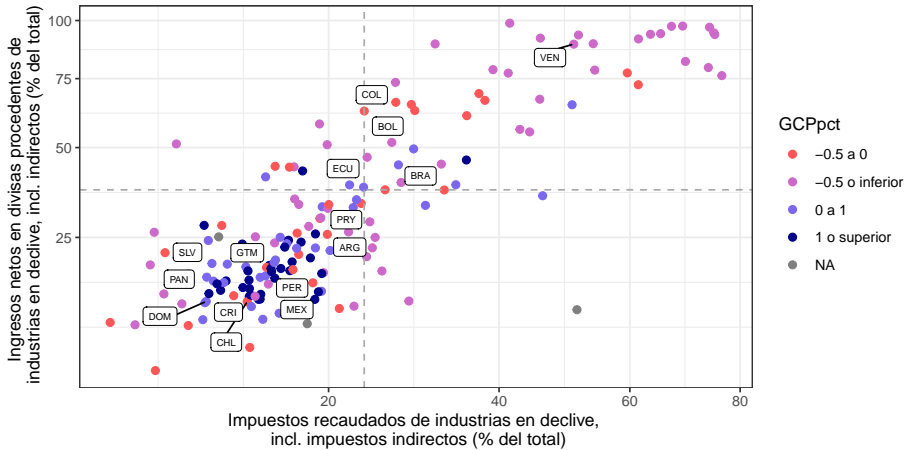
Figure 7: Clasificación según el Potencial de Complejidad Verde a lo largo del tiempo (países de América Latina)



Fuente: Mealy and Teytelboym (2020)

La Figura 8 ilustra la exposición externa de los países en el eje vertical, medida a través de la proporción de ingresos netos en divisas procedentes de las industrias en declive, y la exposición fiscal en el eje horizontal, medida por su dependencia de estas industrias para obtener ingresos fiscales. Además, con el fin de presentar la capacidad de los países para llevar a cabo la transición hacia una economía con bajas emisiones de carbono, el color de los puntos representa la clasificación según el PCV en 2019.

Figure 8: Exposición y vulnerabilidad externa y fiscal de los diferentes países ante la transición hacia una economía con bajas emisiones de carbono



Nota: las líneas de puntos indican el percentil 67.

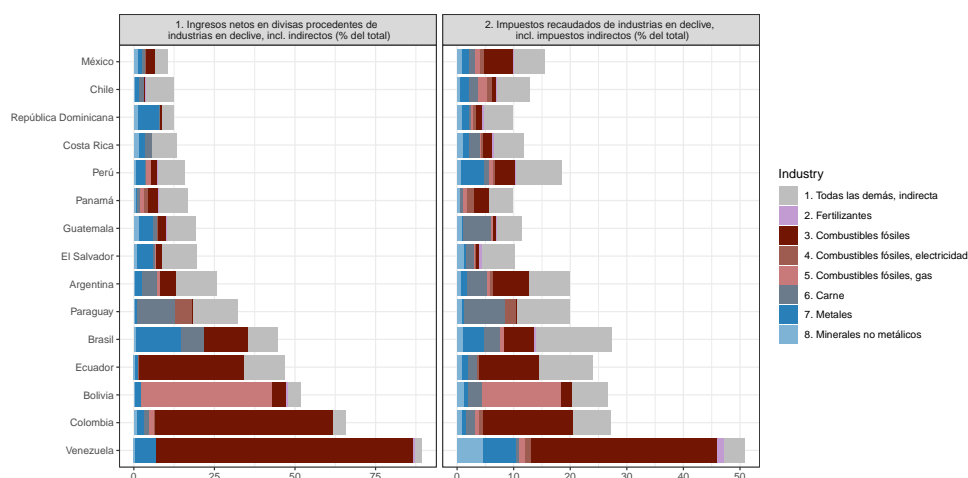
Fuente: Elaboración propia basada en datos de la Matriz GLORIA

Venezuela es el país más expuesto de América Latina, seguido de Colombia, Bolivia y Brasil. Sin embargo, solamente los tres primeros figuran entre los países del tercio superior con mayor exposición en términos de divisas netas e ingresos fiscales a escala mundial. Bolivia obtiene más del 26% de sus ingresos fiscales de las industrias en declive, y casi el 54% de los ingresos netos en divisas tiene su origen en exportaciones directas o indirectas de productos de este tipo de industrias (el 50% de los ingresos netos en divisas y el 20% de los ingresos fiscales se originan directamente en sectores en declive). Además, salvo Brasil, todos los demás países citados ocupan puestos bajos en términos de PCV, lo que indica una capacidad limitada para efectuar la transición hacia productos ecológicos. Sin embargo, no todos los países latinoamericanos tienen este nivel de exposición externa y fiscal. Algunos, como Chile, Panamá, México y Perú, están menos expuestos y muestran una capacidad relativamente mayor de transitar hacia industrias verdes, lo que reduce su vulnerabilidad.

La Figura 9 muestra los ingresos netos en divisas procedentes del comercio y los ingresos fiscales de las industrias en declive. Considerando los cinco países más expuestos de la región, los combustibles fósiles contribuyen predominantemente a la exposición externa de estas economías, excepto en el caso de Paraguay, donde la industria predominante es la producción de carne. Además, una parte importante de los ingresos netos en divisas de Brasil procede de la exportación de metales y carne.

En la actualidad, más de la mitad de los ingresos netos en divisas de Bolivia proceden,

Figure 9: Exposición a divisas e ingresos fiscales por sector



Nota: la lista completa de sectores de cada grupo industrial puede consultarse en la Tabla 4.

Fuente: Elaboración propia basada en datos de la Matriz GLORIA

directa o indirectamente, de industrias en declive. De hecho, el 42% de la entrada neta de divisas del país es consecuencia de las exportaciones de gas, lo que revela una importante dependencia en un único sector y una exposición sustantiva a tan solo dos importadores (Argentina y Brasil), como se ha comentado anteriormente.

En cuanto a la exposición fiscal (columna derecha de la Figura 9), la contribución de cada sector es ligeramente distinta. De los cinco países con mayor exposición, esto es especialmente cierto en el caso de Brasil, cuyos ingresos fiscales proceden de los combustibles fósiles en una proporción relativamente menor que en el resto. De hecho, en el caso de Brasil, la mayor contribución procede de otros sectores y de las emisiones indirectas. Estos efectos tienen en cuenta la producción nacional y la producción que abastece a las posibles industrias en declive de otros países. Este resultado sugiere que estas economías pueden parecer menos expuestas si se considera únicamente la producción total. Sin embargo, la utilización de un marco *input-output* multirregional nos permite discernir que sus niveles de exposición podrían ser mayores debido a los efectos entre países. Además, en Brasil y Venezuela, la contribución de los metales y los minerales no metálicos también es significativa.

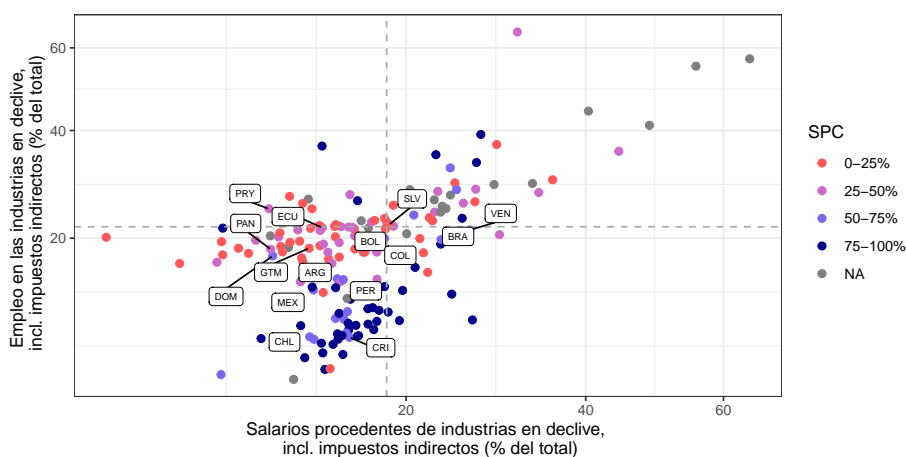
De manera similar a lo constatado en el caso de la exposición externa, Bolivia también es uno de los países latinoamericanos con mayor exposición fiscal; destaca su dependencia de su industria gasística. De hecho, casi el 14% del total de los ingresos fiscales de Bolivia procede de la industria del gas natural, mientras que todos los demás sectores, junto con todos los efectos indirectos, suman menos del 13%. Además, es crucial tener en cuenta que no solo una parte sustancial de los ingresos del gobierno boliviano procede de la industria del gas, sino también que, como se ha señalado anteriormente, el país subvenciona en gran medida los combustibles fósiles. Por lo tanto, considerando que (según la AIE) en 2020 se exportó casi el 80% de la producción total de gas natural, una reducción de la producción y las exportaciones de gas natural no solamente crea un riesgo para los ingresos públicos,

sino que también implica un riesgo político sustancial, ya que podría imposibilitar el control de los precios de los combustibles fósiles.

3.3. Exposición socioeconómica

A continuación nos centraremos en evaluar la exposición socioeconómica a la transición hacia una economía con bajas emisiones de carbono. Aunque esta exposición se calcula con base en la proporción de empleo y salarios que representan las industrias en declive, también tenemos en cuenta que una alta exposición no se traduce necesariamente en una vulnerabilidad elevada. Así, de manera similar al análisis llevado a cabo en el caso de las exposiciones externa y fiscal, donde consideramos una variable de adaptabilidad, en el caso de la exposición socioeconómica presentamos algunas variables de otras capacidades estatales que podrían reducir la vulnerabilidad. De hecho, para un mismo nivel de exposición socioeconómica, los países con altos niveles de desigualdad de renta y riqueza, en los que una parte significativa de la población vive por debajo del umbral de pobreza y que presentan una protección social limitada en los sectores más expuestos a la transición, son más vulnerables que los países en los que la población está relativamente bien protegida contra la pérdida de empleo. La Organización Internacional del Trabajo (ILO (2017)) proporciona datos sobre la cobertura de la protección social (CPS), en los que la proporción de la población cubierta por al menos un programa de protección social sirve como indicador indirecto de la resiliencia de sus poblaciones más afectadas.

Figure 10: Exposición y vulnerabilidad socioeconómicas de los países a la transición hacia una economía con bajas emisiones de carbono



Fuente: Elaboración propia basada en datos de la Matriz GLORIA y ILO (2017)

La Figura 10 ilustra, en el eje vertical, la dependencia directa e indirecta de los diversos países con respecto a las industrias en declive para generar empleo y, en el eje horizontal, los salarios dependientes de estas industrias. El color de los puntos de datos representa la cobertura de la protección social (CPS). En los países situados en la parte superior derecha del gráfico, el empleo y el pago de los salarios dependen en gran medida de industrias en declive. Por el contrario, en los situados en la parte inferior izquierda, estas industrias

registran bajos salarios y no contribuyen de manera significativa al empleo.

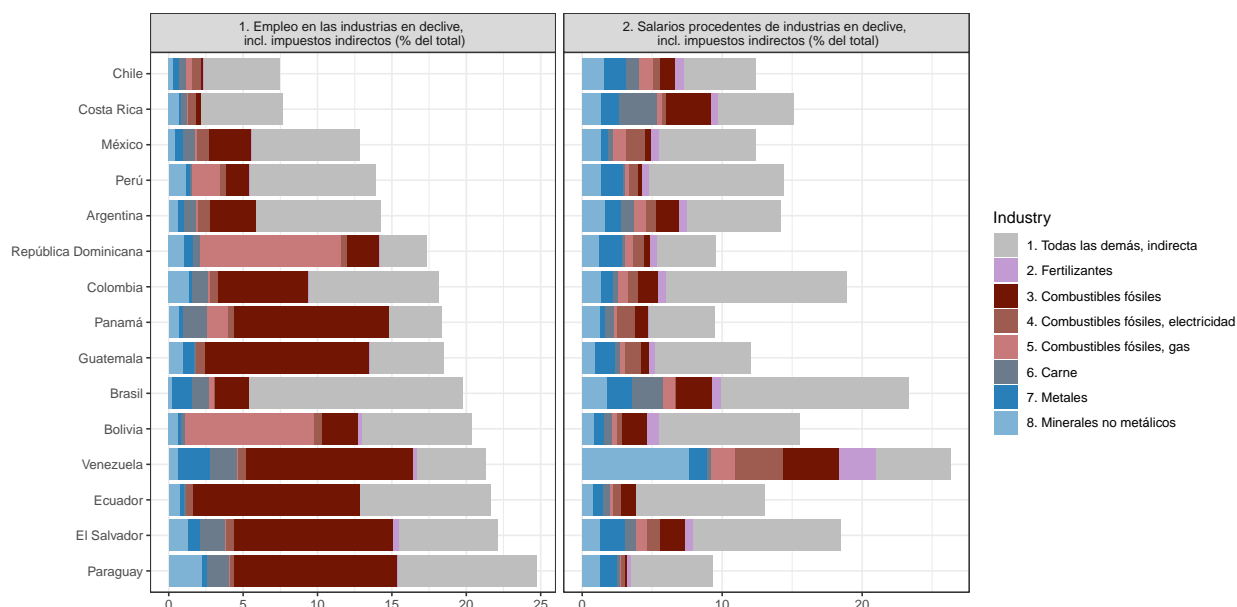
Los países de América Latina presentan un menor nivel de exposición socioeconómica en relación con los resultados de la exposición externa y fiscal presentados anteriormente. Los países más expuestos de la región desde el punto de vista socioeconómico son Venezuela, Brasil, El Salvador y Colombia, seguidos de cerca por Bolivia. El 15% de la masa salarial total de Bolivia procede directa o indirectamente de actividades de industrias en declive, mientras que casi el 20% del empleo total del país también se genera en estos sectores. En los cinco países con mayor exposición, casi la quinta parte del empleo y de la masa salarial total se originan de forma directa o indirecta en industrias en declive. Además, en El Salvador, menos del 25% de la población se encuentra cubierta por un programa social, mientras que en Bolivia esta proporción es inferior al 50% y, en el caso de Brasil, Colombia y Venezuela, se sitúa entre el 50% y el 75%. Por lo tanto, dado que los programas de protección social cubren a una pequeña parte de la población, la pérdida de puestos de trabajo en las industrias en declive podría tener graves consecuencias sociales, especialmente para El Salvador y Bolivia. Se trata de un escenario diferente al de otros países de la región, como Chile, Costa Rica y México, cuya exposición socioeconómica es mucho menor. Además, si se tiene en cuenta la capacidad de estos países para realizar la transición de las industrias en declive a los productos ecológicos, medida a través del PCV anteriormente analizado, resulta evidente que los riesgos socioeconómicos son bastante bajos.

Una vez más, exploramos la riqueza de nuestro conjunto de datos para evaluar la contribución de la industria a la exposición de cada país. La Figura 11 detalla la contribución de cada sector a los salarios y a la creación de empleo. Los cinco países más vulnerables en términos de empleo son Paraguay, Ecuador, Bolivia, El Salvador y Panamá, con aproximadamente una cuarta parte de su empleo total en peligro. Dada la dependencia del país respecto de su industria gasística, Bolivia muestra un nivel de exposición relativamente alto. De hecho, la industria del gas emplea a más del 8% de la mano de obra activa del país.

Los resultados referentes a la exposición salarial se presentan en la columna derecha de la 11. Venezuela, Brasil, Colombia, El Salvador y Bolivia son los cinco países con mayor exposición salarial de la región; en estos países, más del 15% de la masa salarial total se genera en las industrias en declive. Es interesante señalar que, a diferencia de los resultados presentados en el caso de los ingresos netos en divisas y los impuestos, la exposición social presenta una menor concentración sectorial, y los efectos indirectos representan una mayor parte de la exposición total. En el caso de Bolivia, más del 15% de la masa salarial total procede de todas las demás industrias y efectos indirectos, mientras que los combustibles fósiles (incluidos el gas y la electricidad) representan menos del 2,5%. Dado que estos sectores no son intensivos en mano de obra, aunque el salario medio percibido en ellos es superior a la media de la economía, su contribución directa a la masa salarial total es baja. Sin embargo, estos sectores afectan indirectamente a otros, ya que los salarios que se pagan en ellos sirven de estímulo para otras industrias.

Incluso si se tiene en cuenta el índice de CPS para tener una idea de las capacidades estatales de cada país en materia de protección social, seguimos perdiéndonos una parte vital de la imagen: la heterogeneidad que existe dentro de cada país. Para comprender mejor este aspecto, exploramos la encuesta de hogares de Bolivia correspondiente a 2021

Figure 11: Exposición salarial y del empleo por sector



Nota: la lista completa de sectores de cada grupo industrial puede consultarse en la Tabla 4.

Fuente: Elaboración propia basada en datos de la Matriz GLORIA

y presentamos nuestros resultados en la Figura 12). La encuesta revela que, a pesar de que Bolivia forma parte del grupo de países en los que entre el 25% y el 50% de la población tiene acceso, como mínimo, a un programa de protección social, existe un alto nivel de heterogeneidad entre sectores. Casi un tercio de la población boliviana trabaja (tanto de manera formal como informal) en los sectores de la agricultura, la ganadería, la caza, la pesca y la silvicultura, una industria que está parcialmente considerada en declive.

Además de ser el sector que concentra la mayor proporción de asalariados, presenta el salario medio más bajo del país, lo que pone de manifiesto las desigualdades existentes en Bolivia. Junto con los sectores del comercio al por mayor, comercio al por menor y reparación de automóviles, estos sectores emplean a casi la mitad de la mano de obra boliviana. Se trata de los sectores con mayor proporción de asalariados que reciben prestaciones sociales².

La Figura 13 complementa la Tabla 12 e indica que las industrias que contienen sectores en declive no solo son importantes empleadores y tienen una participación considerable en la masa salarial total, sino que también son los sectores con mayor peso del empleo informal. En el sector de la agricultura, ganadería, caza, pesca y silvicultura, más del 97% de los asalariados trabajan en el empleo informal; el porcentaje supera el 90% en la construcción y casi el 88% en el sector del transporte y almacenamiento.

²Prestaciones sociales son acá entendidas de manera amplia y incluyen el Bono de Indigencia por Ceguera (IBC), el Bono Mensual para personas con Discapacidad y rentas por jubilaciones beneméritos, invalidez, viudez, Renta Dignidad y aguinaldo de la Renta Dignidad.)

Figure 12: Heterogeneidad socioeconómica de Bolivia

	Salario promedio mensual	Proporción del empleo total	Proporción de empleados que reciben beneficios sociales	Proporción de empleados en el sistema de pensiones	Porcentaje de empleados que cotizan al sistema de pensiones
Actividades artísticas, entretenimiento y recreativas	3,481	0.7%	8.1%	10.5%	1.9%
Actividades de alojamiento y servicio de comidas	2,209	5.9%	5.7%	7.7%	3.3%
Actividades de Hogares Privados	1,859	1.9%	7.4%	3.5%	1.6%
Actividades de Servicios Administrativos y de Apoyo	2,320	1.5%	3.8%	23.9%	16.0%
Actividades inmobiliarias	4,845	0.2%	4.5%	44.8%	38.2%
Adm. Pública, Defensa y Seguridad Social	4,981	2.3%	1.4%	94.0%	93.4%
Agricultura, Ganadería, Caza, Pesca y Silvicultura	964	27.1%	21.1%	2.5%	0.8%
Construcción	3,302	8.2%	5.6%	8.6%	5.0%
Explotación de Minas y Canteras	5,037	1.5%	5.2%	45.0%	40.5%
Industria Manufacturera	2,537	10.5%	9.4%	20.7%	16.0%
Informaciones y Comunicaciones	4,106	0.7%	2.5%	70.3%	60.7%
Intermediación Financiera y Seguros	4,554	0.9%	0.9%	89.1%	88.8%
Otras actividades de servicios	2,243	2.0%	6.6%	10.4%	5.4%
Servicio de Organismos Extraterritoriales	4,692	0.0%	0.0%	100.0%	100.0%
Servicios de Educación	4,926	4.5%	3.6%	88.7%	86.5%
Servicios de Salud y Asistencia Social	4,942	3.0%	4.6%	75.2%	70.3%
Servicios Profesionales y Técnicos	3,738	2.3%	4.9%	38.8%	17.6%
Suministro de agua, evac. de aguas res, gestión de desechos	4,398	0.3%	9.5%	72.3%	68.7%
Suministro de electricidad, gas, vapor y aire acondicionado	6,738	0.2%	0.0%	94.2%	90.3%
Transporte y Almacenamiento	3,519	7.6%	7.6%	12.4%	3.8%
Venta por mayor y menor, reparación de automotores	2,208	18.5%	11.3%	10.1%	6.1%

Nota: la escala de colores varía del azul (valor más alto) al rojo (valor más bajo).

Fuente: Encuesta de Hogares 2021 - INE.

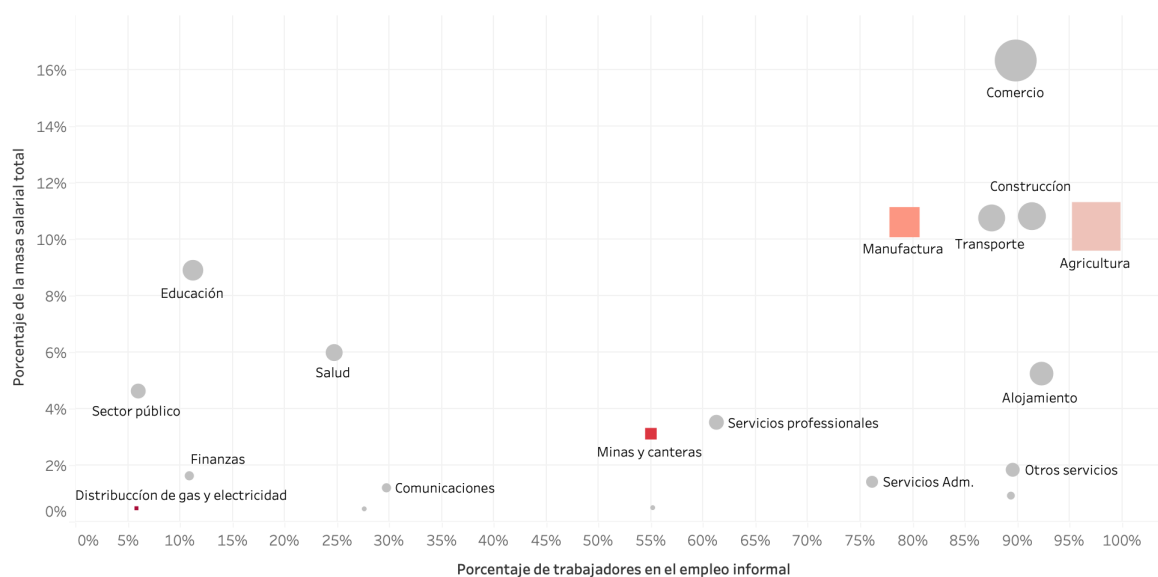
3.4. Análisis de sensibilidad

Como se ha expuesto anteriormente, la definición del concepto de industrias en declive es, en última instancia, una definición *ad hoc*. El punto en el que fijamos el umbral de emisiones es una decisión arbitraria que puede tener consecuencias importantes para los resultados presentados en este artículo. Por lo tanto, teniendo en cuenta la sensibilidad de nuestros resultados a esta definición, proponemos escenarios alternativos (véase la Tabla 3).

El escenario 1 representa nuestra base de referencia, mientras que en el escenario 2 eliminamos de las industrias en declive la producción de carne (vacuno, ovino, porcino, aves de corral y otros animales). En cambio, en el escenario 3, además de eliminar la producción de carne, también eliminamos la extracción y distribución de gas. En Magacho et al. (2023a), la lista de sectores en declive es equivalente a nuestro escenario 2. Sin embargo, en este trabajo optamos por poner a prueba el modelo, sometiénolo a un escenario más riguroso en el que también consideramos la producción de carne como una industria en declive, dado que en Bolivia una parte sustancial de las emisiones de GEI procede de la deforestación. Por último, incluimos un escenario menos riguroso en el que ni la producción de gas ni la de carne se consideran industrias en declive.

Dado que en Bolivia solo se exporta una ínfima parte de toda la producción cárnica, la eliminación de estos productos de los sectores en declive tiene un impacto insignificante en los ingresos netos en divisas, como se muestra en la Figura 14. La situación es distinta en otros

Figure 13: Vulnerabilidades sociales: empleo, salarios e informalidad por sector



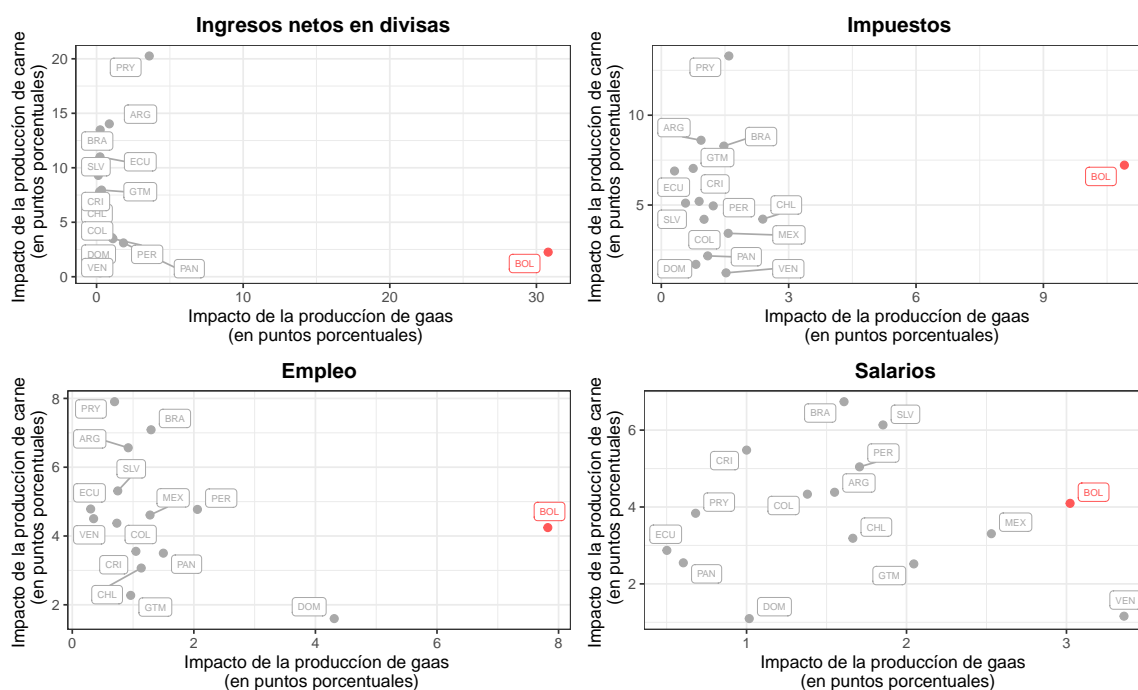
Nota: el tamaño de los puntos indica la cuota de la industria en el empleo, mientras que la intensidad del rojo indica la parte del PIB producida por los sectores en declive dentro de cada industria. «Agricultura» significa «Agricultura, ganadería, caza, pesca y silvicultura», y «Distribución de gas y electricidad» significa «Suministro de electricidad, gas, vapor y aire acondicionado», mientras que «Explotación de minas y canteras» incluye la extracción de gas y petróleo.

Fuente: Encuesta de Hogares 2021 - INE.

países de la región, como Paraguay, Brasil y Argentina, que exportan una parte considerable de su producción de carne. Además, la eliminación de la producción de carne de la lista de sectores en declive tiene un efecto considerable (de casi siete puntos porcentuales) en los ingresos fiscales de Bolivia. Por último, en cuanto a los resultados socioeconómicos y considerando la intensidad de mano de obra de la industria de producción de carne, encontramos que el impacto de este sector en Bolivia ronda los cuatro puntos porcentuales, en línea con el promedio de la región.

Del mismo modo, calculamos la diferencia entre el escenario 3 y el escenario 2 para determinar los efectos de la supresión de la producción de gas de la lista de sectores en declive. Nuestros resultados ponen de relieve la importancia de este sector para la balanza de pagos de Bolivia, ya que es el único país de la región en el que esta industria representa más del 5% de los ingresos netos en divisas. Además, dada la importancia de este sector para la economía boliviana, también encontramos repercusiones significativas en términos de impuestos (el impacto para Bolivia es casi nueve veces superior a la media regional) y empleo (más de seis veces). En cuanto a los salarios, al eliminar la producción de gas de la lista de sectores en declive, y puesto que se trata de un sector intensivo en capital, los efectos observados son menores. Sin embargo, Bolivia sigue siendo el segundo país de la región más afectado, solo por detrás de Venezuela.

Figure 14: Impacto de la producción de carne y gas para los países latinoamericanos en relación con el escenario de referencia



Fuente: Elaboración propia basada en datos de la Matriz GLORIA

4. Propuestas de discusión basadas en el modelo

4.1. Comercio internacional verde

A medida que el cambio climático avanza, los países toman conciencia de la necesidad de adoptar medidas y intensificar sus esfuerzos para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y alcanzar la neutralidad climática. En los países de la Unión Europea, por ejemplo, ya se están aplicando medidas restrictivas en relación con sectores como el hierro, el acero, el aluminio, el cemento y los fertilizantes nitrogenados (Magacho et al. (2023a)). Esto significa que las exportaciones bolivianas, en especial las vinculadas a la minería y el gas natural, pueden ser objeto de una vigilancia más intensa y de posibles obstáculos al comercio si no cumplen los requisitos europeos en materia ambiental. Por el contrario, las exportaciones bolivianas de productos ecológicos, como la quinoa de cultivo ecológico y los productos con una huella de carbono reducida, pueden beneficiarse de estas políticas al obtener un acceso preferente a los mercados europeos y una mayor demanda por parte de los consumidores europeos que priorizan las opciones respetuosas con el clima.

Es probable que la capacidad de Bolivia para adaptarse a las nuevas políticas climáticas y alinearse con ellas determine el éxito y la resiliencia de sus mercados de exportación en los próximos años. Dada la cuota relativamente baja que representa Europa como destino de las exportaciones bolivianas y el hecho de que solo el 16% de estas exportaciones procede de industrias en declive (según la definición utilizada en nuestro escenario de referencia), las políticas y regulaciones de la región destinadas a combatir el cambio climático tienen

escasas posibilidades de afectar de manera significativa a las exportaciones de Bolivia. Sin embargo, si otros países adoptan las mismas políticas y restricciones que Europa, los efectos serán considerablemente mayores, como se muestra en las secciones anteriores.

4.2. Desafíos impuestos por la dinámica de los tipos de cambio

La dinámica de los tipos de cambio plantea un reto importante en la transición hacia una economía con bajas emisiones de carbono. En el caso de Bolivia, un régimen de tipo de cambio fijo puede limitar la capacidad del Gobierno para responder a la evolución de las cambiantes condiciones económicas, especialmente en un panorama energético mundial en transformación.

Sin embargo, la adopción de un sistema de tipo de cambio flotante también plantea desafíos. Puede provocar la depreciación de la moneda, lo que elevaría el coste de importación de tecnologías y componentes esenciales necesarios para desarrollar una economía con bajas emisiones de carbono. Una moneda devaluada también podría provocar inflación, lo que dificultaría al Gobierno la concesión de subvenciones e incentivos para proyectos de energía renovable y la adopción de vehículos eléctricos. Un equilibrio adecuado entre flexibilidad y estabilidad del tipo de cambio es crucial para la transición de Bolivia hacia una economía con bajas emisiones de carbono. Los policy makers deben estudiar mecanismos cuidadosamente diseñados para gestionar los tipos de cambio que faciliten la inversión extranjera, el crecimiento del sector de las tecnologías verdes y una transición más suave hacia un futuro sostenible y con bajas emisiones de carbono.

Es esencial señalar que el éxito del sistema de tipo de cambio fijo de Bolivia estaba basado en las reservas internacionales que la compañía estatal Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos (YPFB) generaba con las exportaciones de gas natural. Entonces, considerando lo expuesto anteriormente en este artículo sobre el nivel de reservas y la reducción de las importaciones de los dos principales mercados (Argentina y Brasil), surgen preguntas importantes: ¿cómo sostener un sistema de tipo de cambio fijo si las exportaciones están cayendo y la necesidad de inversión aumenta? ¿Pueden las exportaciones de litio sustituir a las de gas como principal proveedor de divisas del país?

4.3. Reservas de litio

La transición a una economía más verde podría ayudar a Bolivia a ser más autosuficiente, equitativa y resiliente (Zhang et al. (2022)). La inversión en tecnologías respetuosas con el medio ambiente y la reestructuración económica pueden reducir la pobreza, prevenir conflictos relacionados con los recursos y mejorar la seguridad humana. El país tiene un potencial importante en el ámbito de la energía renovable, especialmente la solar y la hidroeléctrica, que podrían impulsar una transición verde (Buch and Filho (2012)). Sin embargo, este potencial se ve mermado por varios obstáculos, como la falta de financiación y de políticas de apoyo (Buch and Filho (2012)). Si se superan estos problemas, la transición a la energía renovable podría aportar beneficios económicos. Por ejemplo, Lopez et al. (2021)

descubrieron que la transición de Bolivia a un sistema energético totalmente sostenible de aquí a 2050 podría reducir los costes energéticos en un 27% y eliminar las emisiones de gases de efecto invernadero.

La economía boliviana ya está en transición. El país ha experimentado con nuevas actividades: i) el Gobierno puso en marcha la producción de electricidad a partir de fuentes renovables (solar y eólica), la producción de carbonato de litio (fuente de divisas) y baterías, todo ello a pequeña escala; ii) el sector privado se introdujo en la producción propia de electricidad a partir de energía solar, la fabricación de los primeros vehículos eléctricos, la industria de software de exportación y, en general, se ha apoderado del espíritu empresarial (innovador y no innovador), todo ello también a pequeña escala.

La exploración de las reservas de litio de Bolivia es vital para la transición del país hacia el Acuerdo de París debido al papel fundamental que desempeña el litio en la cadena de valor con bajas emisiones de carbono. Las baterías de iones de litio son el corazón de los sistemas de energía renovable y de los vehículos eléctricos, fundamentales para mitigar el cambio climático y alcanzar los objetivos del Acuerdo de París, del Plan de Desarrollo Económico y Social (PDES) y de las NDCs actualizadas para 2022–2030. Con el desarrollo de una sólida industria del litio, Bolivia puede crear un suministro sostenible para el mercado mundial y, al mismo tiempo, fomentar su sector nacional de tecnologías verdes. Esto ayuda a reducir la huella de carbono de la nación, genera oportunidades económicas y posiciona a Bolivia como un agente clave en el esfuerzo mundial de lucha contra el cambio climático.

Para superar los desafíos que plantean los riesgos de la transición, Bolivia debería considerar la aplicación de políticas que fomenten la transferencia de tecnología, el desarrollo de infraestructuras y la mejora de las competencias, facilitando en última instancia la transformación del litio con especial atención al valor añadido en las etapas anteriores y posteriores de la cadena. Esta estrategia promete un crecimiento económico sustancial. Esto se alinea con los objetivos de desarrollo sostenible y de reducción de las emisiones de carbono fijados en el Acuerdo de París, garantizando un futuro más limpio, ecológico y próspero para Bolivia y el mundo.

5. Conclusiones

En este artículo se han explorado los intrincados retos que conlleva la transición a una economía con bajas emisiones de carbono para los países en desarrollo, centrándose específicamente en el caso de Bolivia. Se utilizó una metodología estática basada en matrices híbridas *input-output* multirregionales para evaluar las capacidades de los diferentes sectores para generar divisas, ingresos fiscales, empleo y salarios. Los resultados obtenidos ponen de relieve que este profundo cambio estructural puede afectar negativamente al crecimiento económico, a las finanzas públicas y a la estabilidad financiera de estos países. Aunque este enfoque estático presenta ciertas limitaciones técnicas, debidas principalmente a la disponibilidad de datos, proporciona una visión crucial de las restricciones que pueden surgir, especialmente en el caso de las economías que luchan por promover la transformación estructural.

El análisis de la exposición y las vulnerabilidades actuales de los países en desarrollo ante la transición hacia una economía con bajas emisiones de carbono es crucial para diseñar políticas eficaces para cada contexto específico. La transición hacia una economía más respetuosa con el medio ambiente requiere inversiones públicas sustanciales en infraestructura verde, subvenciones para las industrias y tecnologías emergentes y medidas de protección social. Los países con una elevada vulnerabilidad fiscal encontrarán enormes dificultades para llevar a cabo una transición hacia una economía con bajas emisiones de carbono, a menos que las políticas públicas tengan en cuenta esta limitación. Del mismo modo, los países que dependen de insumos y maquinaria importados para pasar de tecnologías intensivas en emisiones a tecnologías verdes se enfrentarán a vulnerabilidades externas, a menos que las políticas ecológicas tengan en cuenta este aspecto.

Las emisiones de GEI per cápita de Bolivia se encuentran entre las más altas del mundo, superando incluso las de países con sectores industriales más extensos. Esto exige políticas ambiciosas, innovación tecnológica y colaboración internacional para hacer factible la transición, salvaguardando al mismo tiempo los aspectos económicos y sociales fundamentales.

Aunque la necesidad de una transición hacia una economía con bajas emisiones de carbono es evidente, el camino hacia la neutralidad en carbono presenta un complejo entramado de reestructuración económica, que es específico de cada país. Bolivia, en particular, se enfrenta a importantes desafíos para reducir sus emisiones de CO₂ como consecuencia de determinados factores, como la deforestación. Además, la economía del país adolece de una dependencia histórica de un reducido número de industrias con altas emisiones, lo que incrementa los costes de la transición hacia una economía con bajas emisiones de carbono.

También hemos complementado nuestro análisis evaluando la capacidad de Bolivia para adaptarse a las limitaciones de la transición hacia una economía con bajas emisiones de carbono y valorando la red de protección social del país. Constatamos que Bolivia presenta una alta exposición y una capacidad productiva y tecnológica restringida, así como una protección social limitada en los sectores más expuestos a la transición, aspectos indicativos de vulnerabilidad a la transición hacia un modelo económico con bajas emisiones de carbono. Esta investigación revela que Bolivia tiene una exposición y una vulnerabilidad muy elevadas.

De hecho, nuestro examen de las industrias emisoras de gases de efecto invernadero en Bolivia reveló que una parte sustancial de los ingresos netos en divisas, los ingresos públicos, el empleo y los salarios están vinculados a estos sectores de altas emisiones. Esta dependencia se suma a los riesgos macroeconómicos asociados a la transición hacia una economía con bajas emisiones de carbono en Bolivia.

Dado que este artículo se ha centrado principalmente en la exposición macroeconómica de Bolivia al rápido cambio estructural provocado por la transición hacia una economía con bajas emisiones de carbono, es esencial hacer hincapié en la necesidad de adoptar estrategias normativas detalladas y acompañadas de estrategias de implementación para abordar estos retos. Al igual que muchas naciones en desarrollo, Bolivia debe recorrer con precaución el camino hacia la neutralidad en carbono, reconociendo las posibles

perturbaciones y oportunidades que presenta dicha transición, ya que los ingresos fiscales y el empleo fuertemente ligados a industrias en declive podrían plantear desafíos para los países con alta vulnerabilidad fiscal y socioeconómica.

En términos socioeconómicos, los países que presentan una exposición elevada pueden beneficiarse de la introducción de estímulos fiscales verdes para paliar algunos de los efectos sociales durante la transición y promover la aparición de nuevos sectores mediante políticas industriales adecuadas. Numerosos países en desarrollo, entre ellos la Bolivia, han propuesto NDCs condicionales, que dependen de la asistencia técnica y financiera de la comunidad internacional.

El ajuste estructural sistémico se convierte en una cuestión trascendental para los países con una elevada exposición socioeconómica y externa. En estas economías, la transición hacia un modelo con bajas emisiones de carbono puede crear desequilibrios que obstaculicen el crecimiento y el empleo, así como la propia transición. Esto justifica la necesidad de programas específicos de financiación internacional y transferencia tecnológica. El análisis multidimensional de la exposición proporciona un conjunto de herramientas para adaptar las políticas de transición en función de la dependencia de un país respecto de las industrias en declive, a fin de estabilizar los desequilibrios macroeconómicos y socioeconómicos.

En conclusión, comprender los riesgos y oportunidades específicos asociados a la transición hacia una economía con bajas emisiones de carbono es vital para los países en desarrollo, y esta investigación sirve de trampolín hacia la elaboración de políticas eficaces que promuevan la sostenibilidad y la resiliencia económica frente al cambio climático.

References

- T. S. Adebayo, H. Rjoub, S. S. Akadiri, S. D. Oladipupo, A. Sharif, and I. Adeshola. The role of economic complexity in the environmental Kuznets curve of MINT economies: evidence from method of moments quantile regression. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(16):24248–24260, nov 25 2021.
- I. Aldasoro and I. Angeloni. Input-output-based measures of systemic importance. *Quantitative Finance*, 15(4):589–606, Apr. 2015. ISSN 1469–7688. doi: 10.1080/14697688.2014.968194.
- L. E. Andersen, L. E. Gonzales, and A. Malky. Bolivia's net zero path: Investment needs, challenges, and opportunities. *Frontiers in Climate*, 4, Oct. 2022. doi: 10.3389/fclim.2022.1026344.
- R. M. Andrew and G. P. Peters. A MULTI-REGION INPUT-OUTPUT TABLE BASED ON THE GLOBAL TRADE ANALYSIS PROJECT DATABASE (GTAP-MRIO). *Economic Systems Research*, 25(1):99–121, 3 2013.
- P. Antràs, D. Chor, T. Fally, and R. Hillberry. Measuring the Upstreamness of Production and Trade Flows. *American Economic Review*, 102(3):412–416, May 2012. ISSN 0002–8282. doi: 10.1257/aer.102.3.412.
- C. Azar and H. Dowlatabadi. A review of technical change in assesment of climare policy. *Annual Review of Energy and the Environment*, 24(1):513–544, 11 1999.
- C. Bachmann, M. J. Roorda, and C. Kennedy. Developing A MULTI-SCALE MULTI-REGION INPUT-OUTPUT MODEL. *Economic Systems Research*, 27(2): 172–193, dec 11 2014.
- D. Bastidas and F. Mc Isaac. Reaching brazil's nationally determined contributions: An assessment of the key transitions in final demand and employment. *Energy Policy*, 135: 110983, 2019.
- L. F. Buch and W. L. Filho. An assessment of the potential and barriers for the diffusion of renewable energy technologies in Bolivia. *International Journal of Energy Technology and Policy*, 8(2):109, 2012.
- C. Bullard and R. Herendeen. Energy impact of consumption decisions. *Proceedings of the IEEE*, 17:484–493, 1975.
- S. Bustos and M. Yildirim. Production ability and economic growth. 2019.
- L. Cahen-Fourot, E. Campiglio, E. Dawkins, A. Godin, and E. Kemp-Benedict. Looking for the inverted pyramid: An application using input-output networks. *Ecological Economics*, 169: 106554, 2020.
- E. Campiglio and F. van der Ploeg. Macrofinancial Risks of the Transition to a Low-Carbon Economy. *Review of Environmental Economics and Policy*, 16 (2):173–195, jun 1 2022.
- F. Cerina, Z. Zhu, A. Chessa, and M. Riccaboni. World Input-Output Network. *PLOS ONE*, 10(7):e0134025, jul 29 2015.
- Z. Chen, G. Marin, D. Popp, and F. Vona. Green stimulus in a post-pandemic recovery: The role of skills for a resilient recovery. *Environmental and Resource Economics*, 76(4):901–911, 2020.
- H. B. Chenery. Regional analysis. In P. G. Clark and V. C. Pinna, editors, *The Structure and Growth of the Italian Economy*, pages 97–129. Rome: US Mutual Security Agency, 1953.
- J. H. Cumberland. A regional interindustry model

- for analysis of development objectives. *Papers of the Regional Science Association*, 17:65–94, 1966.
- A. de Fiscalización de Electricidad y Tecnología Nuclear. Anuario estadístico 2021. *Ministero de Hidrocarburos y Energías*, 2021.
- M. Demiral and E. E. Akça. Economic complexity–carbonization nexus in the European Union: A heterogeneous panel data analysis. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 17(1), mar 2 2022.
- V. Diaz-Cuellar. The political economy of mining in Bolivia during the government of the Movement Towards Socialism (2006–2015). *The Extractive Industries and Society*, 4(1):120–130, 1 2017.
- E. Dietzenbacher. In vindication of the Ghosh model: A reinterpretation as a price model. *Journal of Regional Science*, 37(4):629–651, 1997. ISSN 1467–9787. doi: 10.1111/0022-4146.00073.
- E. Dietzenbacher and M. Lahr. Expanding extractions. *Economic Systems Research*, 25(3):341–360, Sept. 2013. ISSN 0953–5314. doi: 10.1080/09535314.2013.774266.
- B. Doğan, B. Saboori, and M. Can. Does economic complexity matter for environmental degradation? An empirical analysis for different stages of development. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(31):31900–31912, sep 5 2019.
- J. Downie and W. Stubbs. Evaluation of australian companies’ scope 3 greenhouse gas emissions assessments. *Journal of Cleaner Production*, 56:156–163, 2013.
- EU-TEG. *Taxonomy: Final report of the Technical Expert Group on Sustainable Finance (TEG)*. European Commission, 2020.
- N. Fabricant and B. Gustafson. The Political Economy of Gas, Soy and Lithium in Morales’s Bolivia. *Bolivian Studies Journal*, pages 45–59, may 11 2020.
- L. Galbusera and G. Giannopoulos. On input-output economic models in disaster impact assessment. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 30:186–198, Sept. 2018. ISSN 2212–4209. doi: 10.1016/j.ijdr.2018.04.030.
- A. Ghosh. Input-output approach in an allocation system. *Economica*, 25(97):58–64, 1958.
- J. J. Guilhoto. Input–output models applied to environmental analysis, Aug. 2021.
- D. Hartmann, M. Guevara, C. Jara-Figueiroa, M. Aristara, and C. A. Hidalgo. Linking economic complexity, institutions, and income inequality. *World Development*, 93: 75–93, 2017.
- R. Hausmann, C. Hidalgo, S. Bustos, M. Coscia, A. Simoes, and M. Yildirim. *The atlas of economic complexity*. 2013.
- G. Hebbink, L. Berkvens, M. Bun, H. van Kerkhoff, J. Koistinen, G. Schotten, A. Stokman, et al. *The price of transition: An analysis of the economic implications of carbon taxing*. Technical report, Netherlands Central Bank, Research Department, 2018.
- C. Hidalgo. Economic complexity theory and applications. *Nature Reviews Physics*, 3:92–113, 2021.
- C. A. Hidalgo and R. Hausmann. The building blocks of economic complexity. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, 106(26):10570–10575, June 2009.
- C. A. Hidalgo, B. Klinger, A.-L. Barabási, and R. Hausmann. The product space conditions the development of nations.

- Science*, 317(5837):482–487, July 2007.
- ILO. *World Social Protection Report 2017–19: Universal Protection to Achieve the Sustainable Development Goals*. Geneva: ILO, 2017.
- A. Jaffe, R. Newell, and R. Stavins. A tale of two market failures: Technology and environmental policy. *Ecological Economics*, 54(2–3):164–174, 2005.
- K. Kobayashi, T. Bui, and T. Vu. The impact of energy and air emissions in a changing economic structure: Input-output approach.
- W. W. Leontief. Quantitative input and output relations in the economic systems of the united states. *The Review of Economics and Statistics*, 18:105–125, 1936.
- W. W. Leontief. *The Structure of the American Economy*. Cambridge: Harvard University Press, 1941.
- G. Lopez, A. Aghahosseini, D. Bogdanov, T. N. O. Mensah, N. Ghorbani, U. Caldera, A. Prada Rivero, J. Kissel, and C. Breyer. Pathway to a fully sustainable energy system for Bolivia across power, heat, and transport sectors by 2050. *Journal of Cleaner Production*, 293:126195, 4 2021.
- W. Mackenzie. What’s the future of bolivia upstream? *Wood Mackenzie Reports*, 2022.
- G. Magacho, E. Espagne, and A. G. . Impacts of cbam on eu trade partners: consequences for developing countries. *Climate Policy*, pages 1–17, 2023a.
- G. Magacho, E. Espagne, A. Godin, A. Mantes, and D. Yilmaz. Macroeconomic exposure of developing economies to low-carbon transition. *World Development*, 167:106231, 2023b.
- M. T. Majeed, M. Mazhar, I. Samreen, and A. Tauqir. Economic complexities and environmental degradation: evidence from OECD countries. *Environment, Development and Sustainability*, 24(4):5846–5866, aug 6 2021.
- P. Mealy and A. Teytelboym. Economic complexity and the green economy. *Research Policy*, 103948, 2020.
- S. M. Medinaceli Monroy and M. G. Velásquez Bilbao La Vieja. Precios y subsidios a los hidrocarburos en bolivia 1986–2025. *Energy for Sustainable Development*, 2022.
- R. Miller and P. D. Blair. *Input-output Analysis: Foundations and Extensions*. Cambridge University Press, 2009.
- J. A. Morales. *Economic Vulnerability in Bolivia*, pages 41–60. Palgrave Macmillan UK, 2001.
- L. N. Moses. The stability of interregional trading patterns and input-output analysis. *American Economic Review*, 45:803–832, 1955.
- P. K. Nath and B. Behera. A critical review of impact of and adaptation to climate change in developed and developing economies. *Environment, Development and Sustainability*, 13(1):141–162, jun 25 2010.
- J. Oosterhaven. On the Plausibility of the Supply-Driven Input-Output Model. *Journal of Regional Science*, 28(2):203–217, 1988. ISSN 1467-9787. doi: 10.1111/j.1467-9787.1988.tb01208.x.
- Q. Perrier and P. Quirion. How shifting investment towards low-carbon sectors impacts employment: Three determinants under scrutiny. *Energy Economics*, 75:464–483, Sept. 2018. ISSN 0140-9883. doi: 10.1016/j.eneco.2018.08.023.

- P. Piñero, M. Bruckner, H. Wieland, E. Pongrácz, and S. Giljum. The raw material basis of global value chains: Allocating environmental responsibility based on value generation. *Economic Systems Research*, 31(2):206–227, Apr. 2019. ISSN 0953-5314. doi: 10.1080/09535314.2018.1536038.
- H. Ritchie, M. Roser, and P. Rosado. CO₂ and greenhouse gas emissions. *Our World in Data*, 2020.
- D. Rodrik. Green industrial policy. *Oxford Review of Economic Policy*, 30(3):469–491, 2014. ISSN 0266903X, 14602121.
- M. Savona and T. Ciarli. Structural changes and sustainability. a selected review of the empirical evidence. *Ecological Economics*, 105:244–260, 2019.
- G. Semieniuk, E. Campiglio, J. Mercure, U. Volz, and N. R. Edwards. Lowcarbon transition risks for finance. *WIREs Climate Change*, 12(1), 10 2020.
- N. H. Stern. *The economics of climate change: the Stern review*. Cambridge University Press, 2007.
- A. Tukker and E. Dietzenbacher. Global MULTIREGIONAL INPUT–OUTPUT FRAMEWORKS: An INTRODUCTION AND OUTLOOK. *Economic Systems Research*, 25(1): 1–19, 3 2013.
- UNFCCC. *Paris Agreement to the United Nations Framework Convention on Climate Change*. Paris : United Nations, 2015.
- Q. Wang and X. Chen. Rethinking and reshaping the climate policy: Literature review and proposed guidelines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 21:469–477, 5 2013.
- M. Weisbrot and L. Sandoval. Bolivia’s Economy—An Update. *International Journal of Health Services*, 38(2):399–402, 4 2008.
- Z. Escobar and Ariel J. Santiago. Capital market development and economic growth in Bolivia.
- L. Zhang, M. Xu, H. Chen, Y. Li, and S. Chen. Globalization, Green Economy and Environmental Challenges: State of the Art Review for Practical Implications. *Frontiers in Environmental Science*, 10, mar 15 2022.
- Y. Zhang. Supply-side structural effect on carbon emissions in China. *Energy Economics*, 32(1):186–193, Jan. 2010. ISSN 0140-9883. doi: 10.1016/j.eneco.2009.09.016.
- Z. Zhang, Z. Zhang, and K. Zhu. Allocating carbon responsibility: The role of spatial production fragmentation. *Energy Economics*, 87:104491, Mar. 2020. ISSN 0140-9883. doi: 10.1016/j.eneco.2019.104491.

A. Métodos y datos

A.1. Modelo

El método *input-output* (IO) nos permite analizar las conexiones que existen entre las diferentes industrias en un país determinado o en diferentes economías (Leontief (1936), Leontief (1941) and Miller and Blair (2009)). En nuestro caso, exploramos un modelo *input-output* multirregional (MRIO, por sus siglas en inglés) (Chenery (1953) and Moses (1955)) para entender cómo afectarían a la economía de Bolivia las políticas aplicadas en otros países, como la imposición de restricciones a una determinada cesta de productos con altas emisiones.

Leontief (1936) imaginó inicialmente las matrices IO utilizando cantidades físicas, pero la mayoría de las matrices IO se basaban en datos monetarios debido a limitaciones asociadas a la recopilación de datos. Sin embargo, las matrices IO híbridas, utilizadas por primera vez por Cumberland (1966) y sistematizadas por Bullard y Herendeen Bullard and Herendeen. (1975), identifican los flujos físicos de los insumos intermedios, proporcionando así un marco crucial para analizar la transición hacia una economía con bajas emisiones de carbono. De este modo, las matrices MRIO híbridas nos ayudan a comprender los efectos medioambientales directos e indirectos en la producción y la demanda mundiales (Guilhoto (2021)). Kobayashi et al. analizaron el impacto de los cambios en la estructura económica sobre el uso de la energía y las emisiones a la atmósfera utilizando un modelo *input-output* basado en el concepto de multiplicador interrelacional de la renta de Miyazawa.

Todas las metodologías que se presentan en las secciones siguientes están basadas en la adaptación del modelo de (Leontief (1936)) o el modelo de Ghosh (Ghosh (1958)). Estos modelos ocupan un lugar destacado en la literatura económica por su capacidad para descubrir las interdependencias específicas de cada sector. El modelo de Leontief dilucida estas interdependencias derivadas de las perturbaciones de la demanda, mientras que el modelo de Ghosh se centra en las asociadas a las perturbaciones de la oferta.

Cabe señalar que ambos modelos presentan ciertas limitaciones. Estas incluyen supuestos de rendimientos constantes de escala, elasticidad perfecta de los insumos y la demanda, además de la baja sustituibilidad entre los factores de insumo, como explican Oosterhaven (1988), Dietzenbacher (1997), and Galbusera and Giannopoulos (2018). No obstante, a pesar de estas limitaciones, estos modelos son de valiosa utilidad para comparar y contrastar estructuras económicas, calibrar la importancia económica y medioambiental relativa sectorial (como demuestran Zhang (2010), Antràs et al. (2012), Aldasoro and Angeloni (2015), Piñero et al. (2019), Zhang et al. (2020), y Cahen-Fourot et al. (2020)), y evaluar los efectos indirectos de las políticas climáticas (como ponen de manifiesto Chen et al. (2020), Hebbink et al. (2018), Bastidas and Mc Isaac (2019), and Perrier and Quirion (2018)). Por último, este modelo es estático, ya que no tiene en cuenta las posibilidades del país de orientarse hacia otros sectores, modificando sus coeficientes técnicos. Por lo tanto, los resultados representan la exposición actual. El análisis a largo plazo requeriría una modelización dinámica, que queda fuera del ámbito del presente artículo.

A.2. Datos

Utilizamos las tablas *input-output* multirregionales GLORIA como base de datos principal para identificar la exposición de los países. GLORIA es una base de datos que analiza en profundidad las interdependencias de la economía mundial, preservando las diferencias regionales (Bachmann et al. (2014)). GLORIA y otros modelos similares como GTAP-MRIO (Andrew and Peters (2013)) y WIOD (Tukker and Dietzenbacher (2013)) han sido desarrollados para comprender los factores que impulsan los problemas medioambientales mediante la identificación de las cadenas de suministro mundiales. Estos modelos consideran el sistema mundial de insumos y productos como una red interconectada en la que los nodos representan industrias de distintas economías y los extremos, los flujos monetarios entre ellas (Cerina et al. (2015)).

La base de datos GLORIA contiene información sobre 160 países y 120 industrias, con especial énfasis y detalle en la agricultura y las industrias manufactureras, y se actualizó por última vez en 2021. Dado que su objetivo es reunir datos de una gran cantidad de países, el principal reto es lograr una compatibilidad entre las distintas fuentes de datos. Para ello, se utiliza una serie de métodos de cálculo para estimar los coeficientes técnicos. Por último, el uso de esta base de datos se justifica por su desglose de la producción agrícola, minera y metalúrgica, un aspecto sumamente importante para comprender la distribución de las emisiones entre sectores y explorar la exposición de cada industria a la transición hacia una economía con bajas emisiones de carbono.

Los análisis realizados con GLORIA han demostrado que, aunque las industrias presentan un alto grado de interconexión a nivel global, el sistema de producción mundial sigue funcionando principalmente a escala nacional o regional (Cerina et al. (2015)). Sin embargo, estas conexiones mundiales implican que pequeñas perturbaciones pueden tener repercusiones más amplias (Cerina et al. (2015)).

A.3. Industrias en declive e intensidad de las emisiones

La transición hacia una economía con bajas emisiones de carbono exigirá ir substituyendo de manera progresiva las industrias en declive con altas emisiones de carbono, como los combustibles fósiles, por industrias y tecnologías menos emisivas, mientras que las industrias de energías renovables en expansión experimentarán un rápido crecimiento (Semieniuk et al. (2020)). Para determinar qué industrias deben clasificarse como industrias en declive, exploramos la base de datos GLORIA para estimar las emisiones de GEI directas e indirectas de cada industria, tanto ascendentes (emisiones incorporadas en los insumos intermedios) como descendentes (emisiones después de la producción hasta el consumo final), por país (EU-TEG (2020)).

La intensidad de las emisiones mide las emisiones de CO₂ o de CO₂ equivalente (CO₂e), que engloban otras emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) por unidad de producción. En este contexto, la unidad de producción se normaliza a dólares estadounidenses, lo que garantiza la uniformidad de todas las transacciones monetarias en las tablas MRIO. Por

consiguiente, la intensidad de las emisiones se expresa como la relación entre las emisiones de CO₂ o de CO₂e por cada dólar estadounidense. De acuerdo con Magacho et al. (2023b), al dividir las emisiones de CO₂ entre la producción total (x) por industria (d) para un país determinado (i), obtenemos la intensidad de las emisiones directas:

$$e_i^d = \frac{Emisiones_i^d}{x_i^d} \quad (1)$$

Para calcular las emisiones indirectas ascendentes, debemos tener en cuenta las emisiones no solo dentro de los insumos directos, sino también dentro de todos los insumos necesarios para producir esos insumos directos. De acuerdo con el método de Miller and Blair (2009) podemos derivar la matriz multirregional de Leontief considerando que la producción total de cada industria y país resulta de la suma del vector columna que representa los insumos intermedios y el vector columna que representa la demanda final (\mathbf{f}). Así, para cada país, los insumos intermedios se determinan multiplicando la matriz de coeficientes técnicos (\mathbf{A}) por el vector columna de la producción total (\mathbf{x}):

$$\mathbf{x} = \mathbf{Ax} + \mathbf{f} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}\mathbf{f} = \mathbf{L}^{-1}\mathbf{f} \quad (2)$$

donde \mathbf{L} es la matriz de Leontief y proporciona los insumos directos e indirectos necesarios para producir una unidad en cada industria y país.

Para calcular las emisiones indirectas de forma retroactiva, multiplicamos en primer lugar el vector diagonalizado que representa los coeficientes de emisión directa por industria por la matriz de Leontief y, a continuación, restamos las emisiones directas:

$$\mathbf{e}_{ind}^{bw} = \hat{\mathbf{e}}\mathbf{L} - \hat{\mathbf{e}} \quad (3)$$

Se obtiene así una matriz en la que las columnas representan las industrias consideradas (para cada país) y las filas, las industrias responsables de las emisiones directas. Sumando los elementos de cada columna se obtiene un vector de emisiones indirectas retroactivas clasificadas por industria y país.

Para identificar las emisiones descendentes (o hacia delante), es decir, las resultantes del consumo de bienes y servicios producidos por las industrias, seguimos a Ghosh (1958). A diferencia del modelo de Leontief, que rastrea el uso de insumos por parte de una industria, el modelo de Ghosh nos permite rastrear qué industrias utilizan insumos desde el momento en que se producen hasta su utilización final. La contabilización de las emisiones en sentido descendente implica determinar las emisiones totales asociadas indirectamente al insumo analizado después de la producción. Por lo tanto,

$$\mathbf{G} = (\mathbf{I} - \mathbf{B})^{-1} \quad (4)$$

donde \mathbf{G} es la matriz de Ghosh y \mathbf{B} es la matriz de coeficientes de emisiones directas de la producción. Por lo tanto,

$$\mathbf{e}_{ind}^{fw} = \mathbf{G}\hat{\mathbf{e}} - \hat{\mathbf{e}} \quad (5)$$

Del mismo modo, la suma de los elementos de cada fila de \mathbf{e}_{ind}^{fw} proporciona un vector de emisiones indirectas en sentido descendente por industria y país.

Con estos resultados, podemos evaluar, basándonos en la intensidad total de las emisiones por industria, qué industrias podrían definirse como industrias en declive. Sin embargo, es importante subrayar que se trata de posibles industrias en declive. En primer lugar, dado que la definición de intensidad es siempre relativa, aunque determinadas industrias tengan una elevada intensidad de emisiones, es posible que no experimenten un declive durante la transición hacia una economía con bajas emisiones de carbono si sustituyen a industrias con una intensidad de emisiones aún mayor. No obstante, es necesario introducir avances tecnológicos para reducir las emisiones de estas industrias. En segundo lugar, existe una importante variación regional en las emisiones dentro de un mismo sector, lo que significa que algunas industrias emisoras de carbono en países concretos podrían beneficiarse de la transición al sustituir a industrias idénticas en otros países (Magacho et al. (2023a)). Por último, la definición de las industrias en declive debe aplicarse a nivel mundial y no de país, identificando aquellas que tienen una elevada intensidad de emisiones y excluyendo después las que no tengan una intensidad de emisiones elevada en un país concreto o sean cruciales para sustituir a otras industrias a pesar de su alta intensidad de emisiones.

A.4. Exposición externa, fiscal y socioeconómica

Seguimos a Magacho et al. (2023b), evaluamos la exposición externa de los países a la transición hacia una economía con bajas emisiones de carbono. Medimos su dependencia de las industrias en declive calculando la generación sectorial neta de divisas. Este parámetro cuantifica el volumen de divisas que se perdería si un país dejara de exportar productos de industrias en declive, teniendo en cuenta que esos bienes incluyen insumos importados.

Sin embargo, como ya se ha señalado, los países deben importar insumos para fabricar esos bienes exportados. Por consiguiente, para determinar la generación neta de divisas de cada sector, debemos calcular los insumos importados incorporados, tanto directos como indirectos. Para calibrar la importancia de las industrias en declive en el aumento neto global de las divisas, sumamos el aumento neto de las divisas de estas industrias por país y lo dividimos por el aumento total de las divisas.

Para identificar los países más vulnerables a la dimensión fiscal de la transición hacia una economía con bajas emisiones de carbono, evaluamos la dependencia de sus ingresos fiscales con respecto a las industrias en declive. Además de considerar la cuota que representan estas industrias en los ingresos fiscales totales, tenemos en cuenta las posibles repercusiones negativas que puede tener la transición en las industrias que no se encuentran en declive. Esto implica examinar las industrias situadas en eslabones anteriores de la cadena, que suministran insumos (tanto de forma directa como indirecta) a las industrias en declive. La contribución fiscal total de las industrias en declive se calcula

sumando los ingresos fiscales recaudados de dichas industrias y de las que les suministran insumos.

Antes de estimar la exposición fiscal directa e indirecta utilizando la Técnica de Extracción Hipotética (TEH) (Dietzenbacher and Lahr (2013)), debemos calcular la producción sectorial no relacionada de manera directa ni indirecta con industrias en declive. En esencia, la TEH aplicada aquí parte de la hipótesis de que la demanda final y la producción para otras industrias tienen una presencia nula dentro de las industrias en declive. Recalculando el sistema de Leontief sin estos elementos, podemos medir su importancia directa e indirecta para la economía. Una vez determinada la producción sectorial no relacionada con industrias en declive y la producción total por sector, podemos calcular la exposición fiscal de los países a la transición hacia una economía con bajas emisiones de carbono como la proporción de los ingresos fiscales asociada, de forma directa o indirecta, a las industrias en declive. Lo mismo se aplica a la exposición externa, entendiendo por exposición externa de un país aquella parte de los ingresos netos en divisas originados de manera directa o indirecta por las industrias en declive.

En primer lugar, se obtiene un vector de demanda total por sectores y países, \mathbf{x} , mediante un sistema Leontief multirregional:

$$\mathbf{x} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \mathbf{y} \quad (6)$$

donde \mathbf{y} es el vector de la demanda final por sectores y países.

A continuación, las industrias en declive se excluyen total o parcialmente tanto del vector de demanda final como de la matriz de coeficientes técnicos. En caso de exclusión total, se asignan valores nulos a las líneas correspondientes y, en caso de exclusión parcial, el valor se reduce de manera proporcional. Por lo tanto, se estima una nueva demanda total (teórica) basada en la nueva matriz de coeficientes técnicos, \mathbf{A}^* , y el nuevo vector de demanda final, \mathbf{y}^* :

$$\mathbf{x}^* = (\mathbf{I} - \mathbf{A}^*)^{-1} \mathbf{y}^* \quad (7)$$

La diferencia entre la demanda total real y la teórica ($\Delta \mathbf{x} = \mathbf{x} - \mathbf{x}^*$) mide la dependencia directa e indirecta de la economía respecto a las industrias en declive. Dado que este método está construido en un marco multirregional, no se consideran únicamente los efectos potenciales indirectos dentro de un país, sino también entre países.

De acuerdo con Magacho et al. (2023b), se consideran tres dimensiones diferentes en el análisis: externa, fiscal y socioeconómica. Este marco nos permite identificar aquí los países más expuestos a la transición hacia una economía con bajas emisiones de carbono en diferentes dimensiones (externa, fiscal y socioeconómica), debido a la importancia relativa de sus industrias afectadas.

Para la estimación de las dependencias fiscales y socioeconómicas de las industrias que pueden verse afectadas, estimamos en primer lugar un vector de ingresos fiscales, salarios y empleo por producción según los sectores y los países (\mathbf{t} , \mathbf{w} , and \mathbf{n} , respectivamente), y, a continuación, suponiendo que los coeficientes permanecen inalterados, calculamos el efecto potencial en estas tres variables:

$$\Delta \mathbf{t} = \hat{\mathbf{t}} \Delta \mathbf{x} \quad (8)$$

$$\Delta \mathbf{w} = \hat{\mathbf{w}} \Delta \mathbf{x} \quad (9)$$

y

$$\Delta \mathbf{n} = \hat{\mathbf{n}} \Delta \mathbf{x} \quad (10)$$

donde el circunflejo indica un vector diagonalizado, $\Delta \mathbf{t}$ son las pérdidas potenciales en términos de ingresos fiscales, $\Delta \mathbf{w}$ en términos de masa salarial y $\Delta \mathbf{n}$ en términos de empleo.

Por último, para evaluar la exposición externa, calculamos las divisas netas obtenidas por cada industria (exportaciones ajustadas por los insumos directos e indirectos importados utilizados en la producción), y extraemos parcialmente el sector del vector de exportaciones:

$$\Delta \mathbf{NX} = \Delta \mathbf{EX} - \left[\mathbf{A} \odot (\mathbf{I} - \mathbf{ID}) \right] (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \Delta \mathbf{EX} \quad (11)$$

donde $\Delta \mathbf{NX}$ es la reducción potencial de divisas causada por la reducción de las exportaciones $\Delta \mathbf{EX}$ debido a los daños climáticos, \odot significa multiplicación por elementos, y \mathbf{ID} es la variable ficticia nacional, donde todos los elementos de las relaciones *input-output* internas son uno y todos los demás son cero.

B. Tablas

Table 2: List de países

Código	Nombre
ARG	Argentina
BRA	Brasil
BOL	Bolivia
CHL	Chile
COL	Colombia
ECU	Ecuador
PER	Perú
PRY	Paraguay
CRI	Costa Rica
DOM	Rep. Dominicana
MEX	México
GTM	Guatemala
PAN	Panamá
SLV	El Salvador
VEN	Venezuela

Table 3: Lista de sectores en declive por escenarios

Industria	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
Cría de ganado vacuno	✓		
Cría de ganado ovino	✓		
Cría de ganado porcino	✓		
Cría de aves de corral	✓		
Cría de animales n.c.o.p.; servicios a la agric.	✓		
Carne de vacuno	✓		
Carne de ovino	✓		
Carne de cerdo	✓		
Carne de ave	✓		
Otros productos cárnicos	✓		
Extracción de gas	✓	✓	
Distribución de combustibles gaseosos	✓	✓	
Hulla	✓	✓	✓
Lignito y turba	✓	✓	✓
Extracción de petróleo	✓	✓	✓
Minerales de hierro	✓	✓	✓
Mineral de aluminio	✓	✓	✓
Minerales de estaño	✓	✓	✓
Extracción de piedra, arena y arcilla	✓	✓	✓
Minerales para abonos y productos químicos	✓	✓	✓
Productos de coquería	✓	✓	✓
Productos del petróleo refinados	✓	✓	✓
Fertilizantes nitrogenados	✓	✓	✓
Productos petroquímicos básicos	✓	✓	✓
Materiales de construcción de arcilla	✓	✓	✓
Otras cerámicas n.c.o.p.	✓	✓	✓
Productos de cemento, cal y yeso	✓	✓	✓
Siderurgia básica	✓	✓	✓
Aluminio básico	✓	✓	✓
Estaño básico	✓	✓	✓
Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica	✓	✓	✓

Table 4: Grupos industriales

Industria en la base de datos GLORIA	Grupo sectorial
Minerales para abonos y productos químicos	Fertilizantes
Fertilizantes nitrogenados	Fertilizantes
Hulla	Combustibles fósiles
Lignito y turba	Combustibles fósiles
Extracción de petróleo	Combustibles fósiles
Productos de coquería	Combustibles fósiles
Productos del petróleo refinados	Combustibles fósiles
Productos petroquímicos básicos	Combustibles fósiles
Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica	Combustibles fósiles, electricidad
Extracción de gas	Combustibles fósiles, gas
Distribución de combustibles gaseosos por tuberías	Combustibles fósiles, gas
Cría de ganado vacuno	Carne
Cría de ganado ovino	Carne
Cría de ganado porcino	Carne
Cría de aves de corral	Carne
Cría de animales n.c.o.p.; servicios a la agricultura	Carne
Carne de vacuno	Carne
Carne de ovino	Carne
Carne de cerdo	Carne
Carne de ave	Carne
Otros productos cárnicos	Carne
Minerales de hierro	Metales
Mineral de aluminio	Metales
Minerales de estaño	Metales
Siderurgia básica	Metales
Aluminio básico	Metales
Estaño básico	Metales
Extracción de piedra, arena y arcilla	Minerales no metálicos
Materiales de construcción de arcilla	Minerales no metálicos
Otras cerámicas n.c.o.p.	Minerales no metálicos
Productos de cemento, cal y yeso	Minerales no metálicos

¿Qué es AFD?

Las Éditions Agence française de développement publican trabajos de investigación y de evaluación sobre temas de desarrollo sostenible. Realizadas con múltiples socios del Norte y del Sur, estas publicaciones contribuyen al análisis de los retos a los que se enfrenta nuestro planeta, con el fin de tener una mejor comprensión, prevención y puesta en marcha de acciones concertadas en el marco de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

Con un catálogo de más de 1.000 títulos y con un promedio de 80 publicaciones nuevas editadas cada año, las Éditions Agence française de développement promueven la difusión del conocimiento y la experticia, a través de sus colecciones y de aquellas de sus socios clave.

Descubre todas nuestras publicaciones de acceso libre en editions.afd.fr

Por un mundo en común.

Director de publicación Rémy Rioux

Jefe de redacción Thomas Melonio

Depósito legal Primer trimestre 2024

ISSN 2492 - 2846

Créditos y autorizaciones

Licencia Creative Commons

Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0)



Diseño gráfico MeMo, Juliegilles, D. Cazeils

Maquetación Denise Perrin, AFD

Impreso por el centro de impresión de AFD