

DOCUMENTOS DE
TRABAJO SOBRE
**ECONOMÍA
REGIONAL
Y URBANA**

**Impacto regional de las regalías
en Colombia**

Por:
Eduardo A. Haddad
Jaime Bonet-Morón
Gerson Javier Pérez-Valbuena

Núm. 309
Mayo, 2022



BANCO DE LA REPÚBLICA
CENTRO DE ESTUDIOS ECONÓMICOS REGIONALES (CEER) - CARTAGENA

Impacto regional de las regalías en Colombia*

La serie **Documentos de Trabajo Sobre Economía Regional y Urbana** es una publicación del Banco de la República – Sucursal Cartagena. Las opiniones contenidas en el presente documento son responsabilidad exclusiva de los autores y no comprometen al Banco de la República ni a su Junta Directiva.

Eduardo A. Haddad
Universidad de São Paulo - Nereus

Jaime Bonet-Morón
Banco de la República

Gerson Javier Pérez-Valbuena
Banco de la República♦

Resumen

La extracción de recursos naturales no renovables tiene el potencial de generar ingresos para financiar las actividades del gobierno. Una de las herramientas fiscales más usadas es el cobro de regalías a proyectos mineros ya que suelen estar desligadas de la rentabilidad de estos. Las regalías tienen diferentes canales para impactar positivamente el desarrollo regional, los cuales en algunos casos pueden tener efectos contrarios. Usando un modelo de equilibrio general regional computable, este documento estima los efectos del pago de regalías por parte de las actividades mineras en el desarrollo regional en Colombia. Los resultados evidencian que los beneficios en el bienestar y la reducción de las desigualdades regionales por la imposición de regalías, son mayores que las pérdidas que puede generar en el producto regional. Adicionalmente, se encontraron evidencias de efectos heterogéneos por región y por sector.

Palabras clave: Regalías, desarrollo regional, modelo de equilibrio regional computable.

Clasificación JEL: H77, R12, R13.

* Los autores agradecen a Inácio Araújo por sus valiosos comentarios y sugerencias a una primera versión de este documento. Del mismo modo se agradece Jhorland Ayala y Luis Galvis por sus comentarios y recomendaciones en etapas preliminares de este documento.

♦ Los autores son en su orden: Profesor Titular del Departamento de Economía de la Universidad de Sao Paulo, Gerente del Banco de la República en Cartagena, y Economista del Centro de Estudios Económicos Regional (CEER) del Banco de la República en Cartagena. Los comentarios y sugerencias son bienvenidos y los pueden enviar a: gperezva@banrep.gov.co Las opiniones y posibles errores son solamente responsabilidad de los autores y no comprometen al Banco de la República ni a su Junta Directiva.

Regional Impact of Royalties in Colombia *

The series **Documentos de Trabajo Sobre Economía Regional y Urbana** is a publication of Banco de la República in Cartagena. The opinions contained in this document are the sole responsibility of the authors and do not commit Banco de la República or its Board of Directors.

Eduardo A. Haddad
University of São Paulo - Nereus

Jaime Bonet-Morón
Banco de la República

Gerson Javier Pérez-Valbuena
Banco de la República♦

Abstract

The extraction of non-renewable natural resources has the potential to generate revenue to finance government activities. One of the most used tax tools is the collection of royalties from mining projects because they are usually unrelated to their profitability. Royalties often have different channels to have a positive impact on regional development, which in some cases can have opposite effects. Using a computable regional equilibrium model, this paper estimates the general equilibrium effects of royalty payments by mining activities in the regional development in Colombia. The results indicate that the benefits in welfare and the reduction of regional inequalities due to the imposition of royalties, are greater than the losses that it can generate in the regional output. Further results show the presence of regional and sectoral heterogeneities.

Key words: Royalties, regional development, CGE model.

JEL Classification: H77, R12, R13

* The authors are grateful to Inácio Araújo for their valuable comments and suggestions to a first version of this document. We also thank to Jhorland Ayala and Luis Galvis for their comments and advice during preliminary stages of this document.

♦ The authors are, respectively: Full Professor at the Department of Economics at University of Sao Paulo, Manager of Banco de la República at the Cartagena's branch, and Economist at the Center for Regional Economic Studies (CEER) of Banco de la República in Cartagena. Comments and suggestions are welcome and can be sent to gperezva@banrep.gov.co Opinions and errors are the sole responsibility of authors and do not commit Banco de la República and its Board of Directors.

1. Introducción

La extracción de recursos naturales no renovables tiene el potencial de generar ingresos para financiar las actividades del gobierno. La captura de rentas a través de impuestos puede mejorar la capacidad del sector público para aprovechar el potencial de los recursos naturales y así sostener un desarrollo de base amplia. Colombia, un importante productor y exportador de petróleo y carbón en América Latina, persigue el éxito en este empeño¹. La estrategia del país, asociada al Sistema General de Regalías (SGR), se basa en la formación de activos a través de la inversión interna, centrándose en la transferencia de riqueza intergeneracional de largo plazo y gastos iniciales para generar efectos de crecimiento de corto plazo, con un fuerte enfoque en equidad social y regional.

Existen diferentes herramientas fiscales disponibles para aumentar los ingresos del gobierno basados en la minería. Debido a que las regalías generalmente se pagan independientemente de la rentabilidad de un proyecto (Otto *et al.*, 2006), tienden a ser una herramienta fiscal deseable para asegurar los ingresos de las operaciones de recursos naturales (Lilford, 2017). Las regalías reflejan los pagos realizados con base en la cantidad producida y el valor de los recursos naturales no renovables (ingresos por ventas). La forma más común de regalías, denominada *ad valorem*, recauda ingresos en función de un porcentaje del valor del recurso extraído. Este porcentaje generalmente se aplica al valor bruto de la producción sin tener en cuenta los costos de producción.

En este contexto, este estudio revisa el impacto del esquema de regalías colombiano. Para ello, se simula la asignación regional de los ingresos de las regalías para financiar proyectos de desarrollo regional. La existencia de una distribución regional justa de las rentas de las actividades minero-energéticas en Colombia sigue estando en el debate nacional. Este trabajo busca aportar nueva evidencia sobre los efectos de las regalías empleando un modelo regional de equilibrio general (Modelo CEER²), con simulaciones sobre diferentes escenarios de los

¹ Para 2021 los mayores productores de petróleo en América Latina fueron Brasil (2,9 millones de barriles/día (mbpd)), México (1,7 mbpd) y Colombia (0,75 mbpd) (<https://www.opec.org>). En el caso del carbón, Colombia lidera en la región ya que, según Información del Ministerio de Minas y Energía, entre 2012 y 2020 la producción promedio anual fué de 83,9 millón de toneladas, que lo ubica en el primer lugar en América Latina y el puesto 11 en el mundo (<https://www.minenergia.gov.co/documents/10192/24311177/documento+carbon%284%29.pdf>).

² Para más información sobre el Modelo CEER ver Haddad *et al.* (2016).

canales de transmisión del impacto en la economía de las rentas provenientes de recursos naturales no renovables para los departamentos y el agregado nacional.

Imponer regalías a las operaciones mineras puede generar costos sustanciales para la economía (Ergas *et al.*, 2010; Dobraand Dobra, 2013; Postali, 2015), incluida la esterilización de recursos y sus consecuencias (Lilford, 2017). Existen pérdidas potenciales para la industria, que debe enfrentar costos adicionales a sus operaciones. No obstante, si se reincorporan en la economía para financiar los gastos públicos, los ingresos de las regalías pueden proporcionar beneficios iniciales al gobierno.

El objetivo de este artículo es calcular los efectos de equilibrio general del pago de regalías por parte de las actividades mineras en Colombia, mediante la desagregación de sus efectos. La principal contribución de este estudio es que, según el conocimiento de los autores, es la primera vez que se analizan los efectos de una reforma de regalías en Colombia en un escenario de equilibrio general multirregional.

Luego de realizar cálculos para varios escenarios se encuentra que, en ausencia de las regalías, las pérdidas agregadas podrían llegar hasta el 1,5% del PIB. Adicionalmente, los efectos presentan significativas heterogeneidades por sector económico y por región. En particular, los sectores más afectados ante tales escenarios serían la administración pública, la educación, las actividades de los hogares individuales en calidad de empleadores y las actividades de atención a la salud humana y de servicios sociales. Por regiones, aunque en todos los departamentos se observarían reducciones del producto agregado, las mayores afectaciones estarían localizadas en los Nuevos Departamentos (Arauca y Casanare en particular), La Guajira y Cesar.

El documento está compuesto de seis secciones. La Sección 2 presenta las principales características del SGR. La Sección 3 discute algunas de las características críticas del estudio de caso. La Sección 4 presenta las características adicionales del Modelo CEER descrito en Haddad *et al.* (2016), relevantes para esta evaluación. La Sección 5 resume los principales resultados de la simulación asociados con el uso de regalías como herramienta fiscal en Colombia. Por último, la sección 6 concluye.

2. El Sistema General de Regalías (SGR)

En Colombia existe una alta producción de recursos naturales no renovables en América Latina, hidrocarburos, petróleo y gas, que representan el 60,5% y 13% de la producción total, respectivamente, y la minería con el 26,5% restante, donde el carbón tiene la participación más alta, 83%. La Constitución de 1991 estableció que los recursos provenientes de la explotación de los recursos naturales sólo tenían como destino los territorios donde se realizaba la explotación y aquellos territorios por donde se realizaba el transporte. Este diseño de coparticipación implicó una importante concentración de destinatarios, ya que solo unos pocos departamentos y municipios recibían regalías. Por ejemplo, esta concentración espacial es evidente para la producción de petróleo, pues esta actividad involucra a menos de 100 de 1.100 municipios y la mitad de los departamentos (Bonet *et al.* 2020). Una característica de este antiguo esquema de reparto de regalías es que no consideró la pobreza o el tamaño de la población como criterios para asignar los recursos, sino únicamente un criterio de compensación ambiental. Otra es que las regalías estaban condicionadas a ser invertidas en sectores particulares (educación, nutrición, salud y saneamiento, principalmente). La legislación establecía que el 80% de los recursos se distribuyeran entre los productores (regalías directas) y el 20% restante a territorios no productores (regalías indirectas), condicionado a la presentación y aprobación de proyectos de inversión por parte de la Comisión Nacional de Regalías (Ley 141 de 1994 y Ley 756 de 2002).

Los deficientes resultados en materia de desarrollo y reducción de la desigualdad de los entes territoriales llevaron al sistema de regalías a un cambio significativo (Benavides *et al.*, 2000; Gaviria *et al.*, 2002; Sánchez *et al.*, 2005). El Acto Legislativo 05 de 2011 (luego reglamentado por la Ley 1530 de 2012) dio origen a un sistema más equitativo, el Sistema General de Regalías (SGR). Este esquema introdujo varias modificaciones corrigiendo algunos de los inconvenientes mencionados anteriormente. La primera transformación significativa fue que, a partir de 2012, todos los territorios participarían en el esquema de reparto independientemente de su condición de productores o no productores. Sin embargo, los productores aún podrían recibir una participación adicional en forma de regalías directas. Un segundo cambio fue que, bajo el SGR, para que los departamentos y municipios tuvieran

acceso a las regalías, tendrían que pasar por los trámites de presentación y aprobación de sus planes de inversión³.

Otra de las novedades que aporta el nuevo SGR es la introducción de una serie de fondos dirigidos a diferentes destinatarios en función de sus finalidades: Ciencia, Tecnología e Innovación (FCTeI); Ahorro y Estabilización (FAE); Desarrollo Regional (FDR); y Compensación Regional (FCR). Asimismo, un fondo de Ahorro para Pensiones de las Entidades Territoriales (FONPET), previamente creado, es receptor de parte de las regalías. En cuanto a la distribución de los recursos, FAE, FCTeI y FONPET participan con el 50% del SGR, mientras que el 50% restante se reparte entre el FCR, el FDR y las regalías directas.

El nuevo SGR también concibió un nuevo mecanismo para la aprobación de los proyectos puestos a consideración de los departamentos y municipios. Los nuevos órganos de evaluación y decisión son Órganos Colegiados de Administración y Decisión (OCAD), cuya composición, según el Decreto 1075 de 2012, depende del nivel de gobierno al que pertenezca el proyecto de inversión. Los OCAD incluyen dos delegados del gobierno nacional, el gobernador correspondiente y el 10% de los alcaldes de esa jurisdicción para proyectos presentados por departamentos. Para los proyectos presentados por los municipios, los OCAD incluyen un delegado del gobierno nacional y el correspondiente alcalde y gobernador de esa jurisdicción. En el caso de proyectos regionales, los OCAD están integrados por cuatro ministros, el director del Departamento Nacional de Planeación (DNP), todos los gobernadores de esa región, dos alcaldes por departamento y un alcalde representante de las ciudades capitales. El OCAD nacional está reservado únicamente para el análisis y aprobación de proyectos de ciencia y tecnología relacionados con el fondo FCTeI. Como era de esperar, los procedimientos requeridos para que las regalías sean totalmente accesibles a los departamentos y municipios crean un desajuste temporal entre la extracción de recursos naturales, la asignación de recursos como regalías y la disponibilidad real para financiar proyectos de inversión.

³ Estos proyectos de inversión presentados por departamentos y municipios deben cumplir con dos condiciones: (i) el proyecto debe ser parte del plan de desarrollo correspondiente, y (ii) el objetivo principal del proyecto debe ser el mejoramiento del bienestar de la población.

Si bien este era el esquema de distribución vigente para el año en que se calibró el modelo (2015), es importante destacar que el SGR sufrió dos modificaciones posteriores. La primera fue aprobada en 2017 mediante el Acto Legislativo 04, en donde se constituyó un fondo para atender algunas inversiones que harían parte del Acuerdo de Paz firmado en 2016. Posteriormente, en 2019, fue aprobado el Acto Legislativo 05 con el fin de incrementar las regalías directas, simplificar los fondos y el esquema de aprobación, y reducir los recursos destinados al ahorro (FAE) y al funcionamiento del sistema.

3. Estudio de caso

El sector minero en el modelo CEER incluye cuatro actividades diferentes, totalmente integradas en el modelo. Las actividades son minería de carbón y lignito (S6), extracción de petróleo crudo y gas natural (S7), minería de minerales metálicos (S8) y otras actividades extractivas (S9). Su distribución geográfica no es homogénea en todo el país. La producción de S6 se concentra principalmente en dos departamentos, Cesar (52,8%) y La Guajira (37,8%), mientras que la producción de S7 se ubica fundamentalmente en Meta (49,7%) y Casanare (19,1%). Cabe mencionar que estas dos actividades (S6 y S7) no solo representan más del 95% de la producción minera total del país, sino que además se ubican en departamentos de baja población, los cuatro representan el 7% del total nacional en comparación con una participación del 15% en la superficie del país (Figura 1).

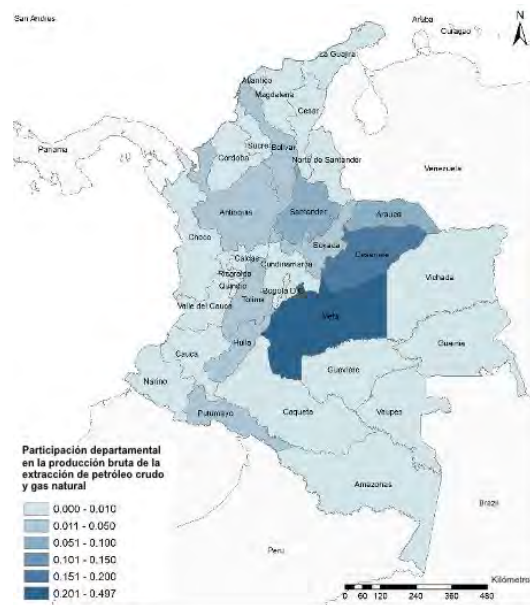
Otro aspecto para considerar es la llamada maldición de los recursos naturales no renovables, que ha sido ampliamente analizada en la literatura. Para el caso particular de Colombia los trabajos más recientes son el de Bonet *et al.* (2020) y Ayala y Dall'erba (2021). En un escenario de maldición de los recursos naturales no renovables, un país o región que depende en gran medida de estos no muestra una mejora significativa en los indicadores socioeconómicos, como la reducción de la pobreza o cambios positivos en el bienestar, a pesar del aumento importante de los fondos provenientes de regalías. Para el caso colombiano, Bonet *et al.* (2020) encontraron efectos positivos en las inversiones subnacionales tanto en los departamentos como en los municipios, donde la reforma de 2012 parece haber liderado estos resultados. Por su parte, Ayala y Dall'erba (2021) mostraron que las regalías han afectado negativamente la eficiencia de la provisión de atención médica y educación. A pesar de que existen evidencias a favor o en contra de la hipótesis de la

maldición de los recursos, según el sector o la dimensión analizada, lo cierto es que algunos de los principales productores de recursos naturales presentan algunas de las cifras más altas de pobreza monetaria (La Guajira 53,3%, y Cesar 42,3%, frente a la media nacional de 27,8%).

Figura 1. Distribución regional de la producción minera, 2015

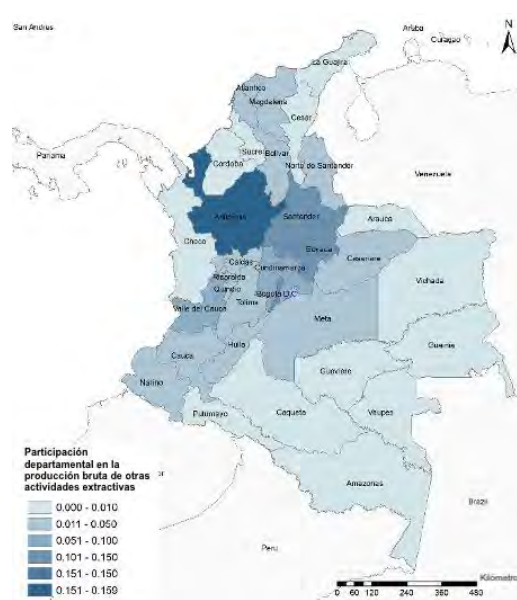
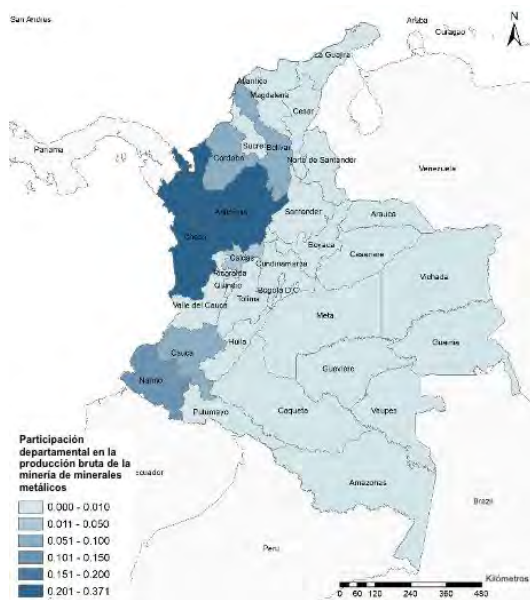
Minería de carbón y lignito (S6)

Extracción de petróleo crudo y gas natural (S7)



Minería de minerales metálicos (S8)

Otras actividades extractivas (S9)



Fuente: Estimaciones propias.

Tabla 1. Estructura agregada de encadenamientos del sector minero en Colombia, 2015
(Miles de millones de pesos-MMP)

	S6		S7		S8		S9		Total	
	MMP	%	MMP	%	MMP	%	MMP	%	MMP	%
Consumo intermedio	906	7,2	21.208	34,0	5.235	95,6	3.328	88,5	30	36,4
Demanda de inversión	28	0,2	3.103	5,0	1	0,0	-51	-1,3	3081	3,7
Demanda de los hogares	6	0,1	122	0,2	79	1,4	7	0,2	215	0,3
Demanda del gobierno regional	0	0,0	1	0,0	1	0,0	2	0,1	4	0,0
Demanda del gobierno central	0	0,0	1	0,0	1	0,0	2	0,0	3	0,0
Exportaciones	11.713	92,6	37.598	60,8	162	3,0	474	12,6	49.947	59,6
Discrepancias estadísticas	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Demanda total	12.653	100,0	61.853	100,0	5.478	100,0	3.762	100,0	83.746	100,0
Consumo intermedio	3.271,00	25,9	25.347	41,0	1.729	31,6	1.414	37,6	31.761	37,9
Importaciones	427	3,4	2.793	4,5	107	1,9	128	3,4	3.454	4,1
Impuestos y subsidios	122	1,0	668	1,1	51	0,9	63	1,7	904	1,1
Valor agregado	8.833	69,8	33.046	53,4	3.592	65,6	2.156	57,3	47.627	56,9
Producción bruta	12.653	100,0	61.853	100,0	5.478	100,0	3.762	100,0	83.746	100,0
Relación capital-trabajo	3,210		5,820		9,800		8,710		1.58*	
Elasticidad de exportaciones	-0,420		-0,478		-0,040		-1,658		-0.692*	

S6 - Minería de carbón y lignito; S7 - Extracción de petróleo crudo y gas natural; S8 - Minería de minerales metálicos; S9 - Otras actividades extractivas

Fuente: Estimaciones propias con base en DANE.

En 2015, las actividades mineras fueron responsables del 5,8% del valor agregado nacional y del 42,0% de las exportaciones totales. S7 fue su producción principal (69,5% de la producción minera total), seguida de S6 (18,5%), S8 (7,5%) y S9 (4,5%). La mayor parte de la producción de carbón y petróleo se exportó a otros países (92,6% y 60,8%, respectivamente), mientras que la producción de las otras dos actividades mineras se destinó principalmente a abastecer las cadenas de valor locales. En la extracción de crudo y gas natural, existen importantes encadenamientos internos con el sector de refinería de petróleo, ya que el 34,0% de su producción se utiliza como insumo intermedio para los sectores locales.

Desde una perspectiva de costos de encadenamientos hacia atrás, el consumo intermedio de insumos domésticos fue responsable del 37,9% de los costos totales de las actividades mineras, variando del 25,9% en el sector del carbón al 41,0% en el sector del petróleo y el gas natural. En general, los pagos a componentes de valor agregado por parte de las cuatro actividades mineras promediaron el 56,9% de los pagos totales, por encima del promedio nacional de 50,1%. Cabe señalar que el valor agregado generado por los sectores mineros fue muy intensivo en capital; mientras que la relación nacional de pagos de capital a mano de obra alcanzó 1,58, las cifras de S6 a S9 fueron 3,21, 5,82, 9,80 y 8,71, respectivamente (Tabla 1).

En 2015, el gobierno central recaudó 6.384 millones de pesos por concepto de regalías (0,8% del PIB), las cuales se generaron dentro de las cuatro actividades mineras diferentes del modelo. El impuesto implícito *ad valorem*, calculado como el monto de las regalías recaudadas como porcentaje del valor de producción del recurso extraído, varió del 11,08% al carbón, 7,60% al petróleo y gas natural, 4,76% a los minerales metálicos y solo 0,61% a otras actividades mineras. Para estimar los ingresos por regalías generados en cada Departamento, se aplicaron esas tasas a la respectiva producción sectorial regional (Tabla 2).

**Tabla 2. Distribución regional y sectorial de los ingresos por regalías, 2015
(miles de millones de pesos)**

Departamento	S6	S7	S8	S9	Total	%
Antioquia	2,0	105,4	96,7	3,6	207,7	3,3
Atlántico	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0
Bogotá, D.C.	0,0	0,0	0,0	3,4	3,4	0,1
Bolívar	0,0	54,6	14,0	1,1	69,7	1,1
Boyacá	40,0	231,1	0,7	2,4	274,1	4,3
Caldas	0,0	0,0	8,2	0,3	8,5	0,1
Caquetá	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,0
Cauca	0,2	5,3	21,9	0,6	27,9	0,4
Cesar	741,1	42,6	0,0	0,2	783,8	12,3
Córdoba	0,0	0,0	14,2	0,1	14,3	0,2
Cundinamarca	48,5	2,3	0,0	1,8	52,6	0,8
Chocó	0,0	0,0	65,8	0,1	65,9	1,0
Huila	0,0	135,6	0,3	0,6	136,5	2,1
La Guajira	530,6	41,1	0,0	0,1	571,8	9,0
Magdalena	0,0	2,0	0,0	0,3	2,2	0,0
Meta	0,0	2332,8	0,0	0,5	2333,3	36,6
Nariño	0,0	1,6	31,3	0,5	33,4	0,5
Norte de Santander	36,9	19,1	0,0	0,3	56,3	0,9
Quindío	0,0	0,0	0,3	0,2	0,6	0,0
Risaralda	0,0	0,0	0,8	0,4	1,2	0,0
Santander	2,7	295,2	0,3	2,9	301,0	4,7
Sucre	0,0	4,5	0,0	0,1	4,6	0,1
Tolima	0,0	91,2	0,8	0,7	92,7	1,5
Valle del Cauca	0,5	0,0	2,5	1,3	4,3	0,1
Arauca	0,0	241,1	0,0	0,1	241,2	3,8
Casanare	0,0	899,0	0,0	0,3	899,3	14,1
Putumayo	0,0	193,8	0,1	0,0	193,9	3,0
Archipiélago de San Andrés	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Amazonas	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Guaianía	0,0	0,0	2,4	0,0	2,4	0,0
Guaviare	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Vaupés	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Vichada	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total	1402,5	4689,1	260,5	22,9	6384,0	100,0

Fuente: Estimaciones propias.

Existe un desajuste temporal entre la recaudación de los ingresos por regalías y su uso real para financiar proyectos de desarrollo regional. La falta de agilidad de algunos gobiernos regionales para asignar los fondos disponibles genera preocupaciones por la baja o nula ejecución de los recursos en los proyectos de inversión destinados a fomentar el crecimiento y el bienestar regional. La Tabla 3 presenta estimaciones del gasto total ejecutado por los gobiernos regionales (Columna A), la asignación de regalías para cada entidad territorial en 2015 (Columna B) y su participación en el monto total asignado (Columna C). Además, se encuentra la dependencia de regalías en la Columna D, la cual es estimada como la relación entre las regalías asignadas y el gasto total ejecutado. Luego se incluye el promedio de regalías ejecutadas por cada entidad territorial en el periodo 2016-2017 (Columna E) y la eficiencia en ejecución (Columna F), estimada como la relación entre las regalías ejecutadas y las asignadas. Así, según las estimaciones, del monto total de los ingresos por regalías recaudados por el gobierno central y puestos a disposición de los gobiernos regionales colombianos en 2015, el 62,0% se gastó y el 38,0% restante no retroalimentó al sistema económico como inyecciones de ingresos (gastos de regalías no ejecutados).

**Tabla 3. Transferencias Subnacionales de Regalías con base en la Estructura del Gasto 2015-2016
(Miles de millones de pesos-MMP)**

Codigo	Departamento	Gasto total ejecutado (MMP)	Asignación departamental de Regalías (MMP)	Estructura de asignación departamental de regalías (%)	Dependencia de regalías (%)	Gasto de regalías ejecutados (MMP)	Eficiencia en la ejecución*	Gasto de regalías ejecutados (MMP)
		(A)	(B)	(C)	(D)=(B)/(A)	(E)	(F)=(E)/(B)	(G)=(B)-(E)
D1	Antioquia	9.198,7	388,0	6,1	4,2	192,9	0,5	195,1
D2	Atlántico	3.454,8	159,4	2,5	4,6	73,3	0,5	86,1
D3	Bogotá, D.C.	19.050,6	118,6	1,9	0,6	23,7	0,2	94,9
D4	Bolívar	2.784,6	313,9	4,9	11,3	183,2	0,6	130,7
D5	Boyacá	1.616,4	233,9	3,7	14,5	147,5	0,6	86,4
D6	Caldas	1.095,7	94,0	1,5	8,6	35,7	0,4	58,3
D7	Caquetá	468,7	119,5	1,9	25,5	29,7	0,2	89,8
D8	Cauca	1.501,4	244,2	3,8	16,3	88,3	0,4	155,9
D9	Cesar	1.357,7	341,2	5,4	25,1	237,4	0,7	103,8
D10	Córdoba	2.603,5	373,6	5,9	14,4	189,7	0,5	183,9
D11	Cundinamarca	3.292,3	203,5	3,2	6,2	73,7	0,4	129,8
D12	Chocó	605,8	188,9	3,0	31,2	66,5	0,4	122,4
D13	Huila	1.198,0	240,0	3,8	20,0	166,6	0,7	73,4
D14	La Guajira	812,4	349,8	5,5	43,1	256,5	0,7	93,3
D15	Magdalena	1.723,9	239,1	3,8	13,9	164,1	0,7	75,0
D16	Meta	1.603,1	491,7	7,7	30,7	491,7	1,0	0,0
D17	Nariño	1.827,4	281,4	4,4	15,4	85,0	0,3	196,4
D18	Norte de Santander	1.575,5	189,1	3,0	12,0	153,3	0,8	35,8
D19	Quindío	571,6	56,5	0,9	9,9	4,3	0,1	52,2
D20	Risaralda	1.149,7	79,4	1,2	6,9	36,5	0,5	42,9
D21	Santander	2.827,7	229,7	3,6	8,1	229,7	1,0	0,0
D22	Sucre	1.294,2	242,3	3,8	18,7	118,7	0,5	123,6
D23	Tolima	1.659,6	175,6	2,8	10,6	139,1	0,8	36,5
D24	Valle del Cauca	5.684,4	203,8	3,2	3,6	46,0	0,2	157,8
D25	Arauca	300,9	136,8	2,1	45,5	136,8	1,0	0,0
D26	Casanare	706,4	271,7	4,3	38,5	271,7	1,0	0,0
D27	Putumayo	686,5	130,3	2,0	19,0	117,8	0,9	12,5
D28	Archipiélago de San Andrés	78,3	45,7	0,7	58,3	39,8	0,9	5,9
D29	Amazonas	107,6	46,7	0,7	43,4	46,7	1,0	0,0
D30	Guaianía	71,5	39,8	0,6	55,6	24,7	0,6	15,1
D31	Guaviare	100,4	57,8	0,9	57,6	45,1	0,8	12,7
D32	Vaupés	64,8	39,5	0,6	61,0	6,0	0,2	33,5
D33	Vichada	127,8	58,4	0,9	45,7	36,6	0,6	21,8
Total		71.201,9	6.384,0	100,0	9,0	3.958,2	0,6	2.425,7

* Participación de la ejecución promedio de regalías en el período 2016-2017 en las regalías asignadas en 2015.

Fuente: Estimaciones propias.

4. Modelo CEER incluyendo los ingresos y gastos ejecutados con regalías

Usamos el Modelo CEER, un modelo espacial de equilibrio general computable (CGE), completamente operacional, para Colombia (Haddad *et al.*, 2009). El modelo utiliza una aproximación similar a la de Peter *et al.* (1996), Haddad (1999) y Haddad y Hewings (2005) para incorporar la estructura económica interregional. Utilizamos una matriz de absorción publicada por Haddad *et al.* (2019) como la base para calibrar el modelo CGE, junto con un conjunto de elasticidades tomadas de la literatura econométrica aplicada para Colombia. Esta base de datos nos ayuda a capturar los efectos en toda la economía a través de un esquema complejo de relaciones insumo-producto.

La versión actual del modelo CEER reconoce las economías de los 32 departamentos colombianos y la ciudad capital, Bogotá. Los resultados se basan en un enfoque ascendente, es decir que los resultados nacionales se obtienen de la agregación de los productos regionales. El modelo identifica 54 sectores de producción/inversión en cada región produciendo 54 bienes, un hogar representativo en cada región, gobiernos regionales y un gobierno central, y una única área extranjera que comercia con cada región del país. Se utilizan dos factores primarios locales en el proceso de producción, de acuerdo con las dotaciones regionales (capital y trabajo). Grupos especiales de ecuaciones definen las finanzas de los gobiernos, relaciones de acumulación y mercados laborales regionales.

El modelo CEER califica como un modelo tipo-Johansen en que las soluciones se obtienen resolviendo el sistema de ecuaciones linealizado del modelo, siguiendo la tradición australiana. Un resultado típico muestra el cambio porcentual en el conjunto de variables endógenas después de implementada una política, comparado con los valores en ausencia de dicha política en un contexto dado. Los encadenamientos interregionales juegan un papel importante en los mecanismos de funcionamiento del modelo. Estos encadenamientos son liderados por las relaciones comerciales (flujos de mercancías), y factores de movilidad (migración de mano de obra y capital). En el primer caso, se incorporan los flujos de comercio interregional; las relaciones insumo-producto interregional son necesarias para calibrar el modelo, y las elasticidades de comercio interregional juegan un papel importante (ver Haddad, 2009).

En el modelo los gobiernos consumen principalmente bienes públicos ofrecidos por los sectores de la administración pública. La ecuación (1), que es la ecuación clave para el diseño de las simulaciones de este ejercicio, muestra la dinámica del consumo del gobierno en relación a movimientos en los ingresos tributarios reales, para los gobiernos regionales⁴:

$$x_{(is)}^{(5)r} = taxrev^r + f_{(is)}^{(5)r} + f^{(5)r} + f^{(5)} \quad (1)$$

$$i \in G; s = 1b, 2; r, b \in S^*$$

en donde $x_{(is)}^{(5)r}$ es la demanda de los gobiernos regionales en la región r por el bien i por parte de la región s ; $f_{(is)}^{(5)r}$, $f^{(5)r}$ y $f^{(5)}$ son, respectivamente, el término de cambio específico para los productos y origen para el gasto de los gobiernos regionales en la región r , el término de cambio para el gasto de los gobiernos regionales en la región r , y un término de cambio completo para el gasto de los gobiernos regionales. Finalmente, $taxrev^r$ es el cambio porcentual en los ingresos reales de los impuestos indirectos en la región r , tal que la demanda del gobierno se mueve con los cambios endógenos en las bases tributarias regionales y nacional.

Se definen los cambios en el producto regional, los cuales serán el punto central del análisis, como promedios ponderados de cambios en los agregados regionales, de acuerdo con la ecuación (2):

$$GRP^r grp^r = C^r x_{(\bullet\bullet)}^{(3)r} + INV^r z^{(2)\bullet r} + GOV^{(5)r} x_{(\bullet\bullet)}^{(5)r} + GOV^{(6)r} x_{(\bullet\bullet)}^{(6)r} + \left(FEXP^r x_{(\bullet\bullet)}^{(4)r} - FIMP^r x_{(\bullet 2)}^{(\bullet)r} \right) + \left(DEXP^r x_{(\bullet(1r))}^{(\bullet)s} - DIMP^r x_{(\bullet(1s))}^{(\bullet)r} \right) \quad (2)$$

$$r \in S^*; s \in S^* \text{ para } s \neq r$$

donde grp^r es el cambio porcentual en el producto regional bruto en la región r ; y los coeficientes GRP^r , INV^r , $GOV^{(5)r}$, $GOV^{(6)r}$, $FEXP^r$, $FIMP^r$, $DEXP^r$, y $DIMP^r$ representan, respectivamente, los siguientes agregados regionales: inversión, gasto del gobierno regional, gasto del gobierno central, exportaciones extranjeras, importaciones extranjeras, exportaciones e importaciones domésticas. El producto interno bruto, GDP , es,

⁴ En el Apéndice 1 se presenta la especificación completa del modelo CEER. En lo que sigue, se utiliza la misma notación usada en ese apéndice.

entonces, la suma de GRP^r a través de todas las regiones r . Nótese que los balances comerciales regionales se cancelan.

4.1. Modelando los escenarios de las regalías

Utilizamos el modelo CEER para evaluar los impactos de las regalías impuestas al sector minero. Modelamos los pagos de regalías como un impuesto *ad valorem* a la producción sobre el costo total de producción de las industrias mineras. El precio de producción (ajustado por los impuestos a la producción) del sector j , en la región r , PX_j^r , está dado por el promedio ponderado de los precios del valor agregado y el costo de los insumos intermedios:

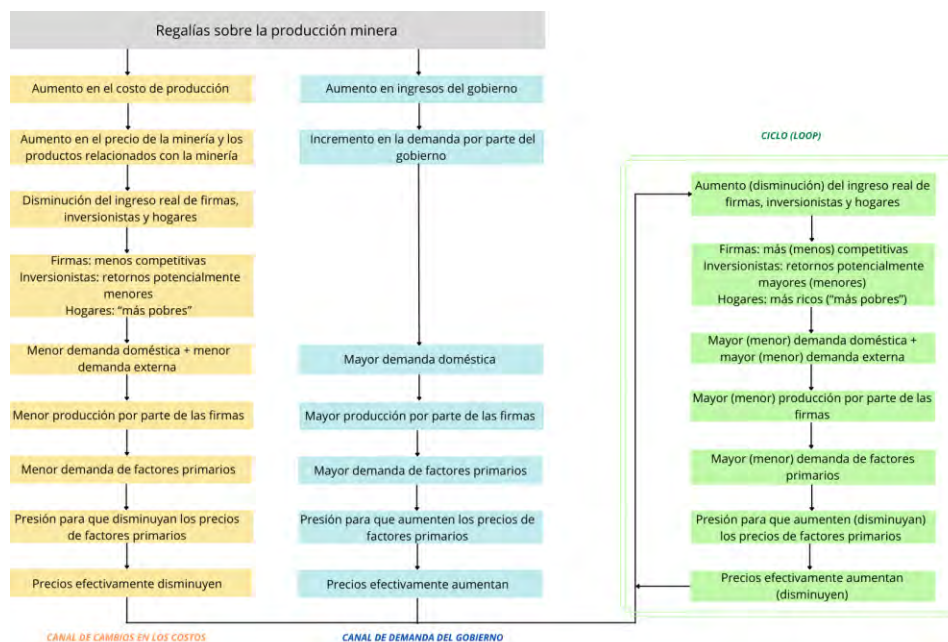
$$PX_j^r(1 - \text{prodtax}_j^r) = X_j^{r-1} \{PV_j^r V_j^r + \sum_i a_{ij}^{rs} PC_i^s X_j^r\} \quad (3)$$

donde prodtax_j^r es la tasa del impuesto a la producción en el sector j en la región r .

Se define el escenario para transferencias interregionales de ingresos por regalías en el contexto de la especificación del Modelo CEER, similar a la estrategia desarrollada en Haddad *et al.* (2018). Se asume que el gobierno central transfiere sus ingresos anuales por regalías para financiar diferentes componentes del gasto del gobierno regional a la región r , de acuerdo con la información provista en el Tabla 3. Con esta información, se calcula el tamaño del “choque” imponiendo cambios específicos de la región en $f^{(5)r}$ en la Ecuación (1) y en el término de cambio para el gasto público en la región r que son proporcionales a los cambios en $GOV^{(5)r}$ de la Ecuación (3), según los valores combinados presentados en las columnas F y A. Usando los valores en la columna F para definir la cantidad de los gastos de regalías en cada departamento, consideramos nuestra medida de eficiencia fiscal como solo una parte del sistema de retroalimentación de ingresos.

Por lo tanto, un impuesto a la producción en el sector minero aumentará sus costos de producción, aumentando el precio de la producción minera y los productos relacionados con la minería. Este canal de cambio de costos es uno de los dos canales principales para lograr los resultados del modelo. El segundo es el canal de demanda del gobierno que opera cuando permitimos que los ingresos por regalías retroalimenten el sistema para financiar los gastos del gobierno (Figura 2).

Figura 2. Relaciones causales que subyacen al sistema de ecuaciones del modelo CEER



Fuente: Elaboración propia.

5. Resumen de resultados

¿Qué pasaría si hipotéticamente se eliminaran de la economía colombiana las regalías existentes que gravan la producción minera? Para dar respuesta a esta pregunta se estima el modelo CEER bajo tres variantes de un cierre de ajuste macro de corto plazo para medir sus impactos y desagregar los efectos de diferentes canales.

El Cierre 1 se centra en el choque de costos en las posibles pérdidas económicas debido a las imposiciones de impuestos y regalías. Esta configuración es un cierre estándar de corto plazo en el conjunto australiano de modelos equilibrio general computables (Horridge *et al.*, 2010). Por el lado de la oferta, hacemos exógenos el stock de capital, la tecnología y el salario real. Con el salario real dado, el modelo puede determinar el empleo agregado. Con el empleo, la tecnología y el capital determinados, el modelo puede establecer la producción agregada (PIB). El consumo, la inversión y otras demandas (e inventarios) de los hogares agregados se fijan en el lado de la demanda. Con el PIB determinado desde el lado de la oferta y dada la absorción interna (consumo de los hogares, inversión, consumo del gobierno e

inventarios), la balanza comercial debe actuar como una variable de oscilación endógena para satisfacer la identidad del PIB. Si el PIB aumenta o disminuye en relación con la absorción interna debido a nuestro choque, la balanza comercial debe avanzar hacia un superávit o déficit.

Luego, flexibilizamos el Cierre 1 al permitir que el consumo del gobierno se mueva con los ingresos fiscales en el Cierre 2, que se enfoca en los beneficios iniciales a través de impuestos y regalías pagaderos al gobierno central y transferidos a los gobiernos regionales. En el cierre 3 también permitimos que el consumo de los hogares se mueva con la renta de los factores.

La Tabla 4 presenta los resultados de la simulación comparando los tres escenarios de ajuste. Los resultados del Cierre 1 muestran que, debido a la eliminación de los pagos de regalías por parte de los sectores mineros, el PIB aumentaría 0,074% en relación con la absorción interna. Así, la balanza comercial se movería hacia el superávit. En comparación con el Cierre 2, si se excluye la reasignación de parte de los ingresos por regalías a la economía a través de los gastos de los gobiernos regionales, el PIB disminuiría un 1,047 %. Esta diferencia se debe principalmente a la naturaleza inelástica de las curvas de oferta y demanda de productos mineros. No permitir que la renta real de los factores afecte el consumo de los hogares en el Cierre 3 perjudica aún más los resultados del PIB (-1,570%).

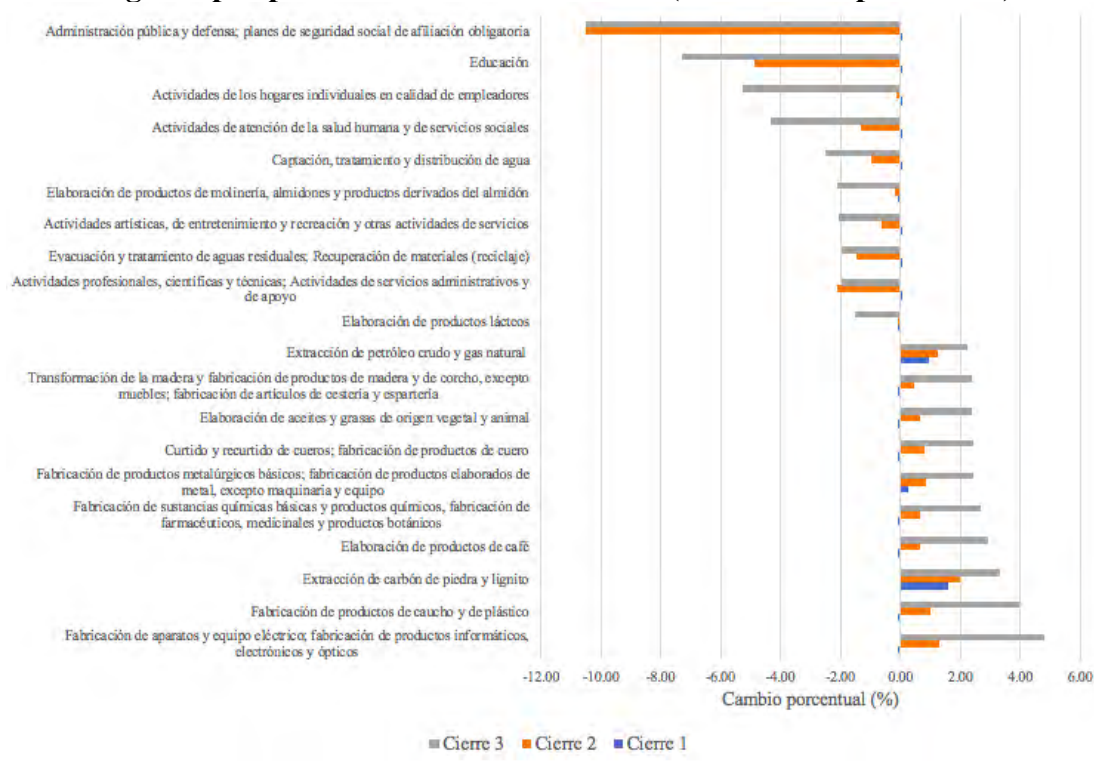
Tabla 4. Impactos macroeconómicos de un retiro hipotético de pagos de regalías por parte de los sectores mineros (en cambio porcentual)

Concepto	Cierre 1	Cierre 2	Cierre 3	Costo de eficiencia
Pagos agregados al capital	1,266	-3,206	-14,605	2,978
Pagos agregados al empleo	0,275	-5,898	-16,831	3,140
Stock de capital agregado, ponderaciones de alquiler	0,000	0,000	0,000	0,000
Empleo agregado, ponderaciones de gasto salarial	0,203	-2,827	-3,671	0,628
PIB real desde el gasto	0,074	-1,047	-1,570	0,275
Gasto real de inversiones agregadas	0,000	0,000	0,000	0,000
Consumo real de los hogares	0,000	0,000	-3,359	0,674
Demandas reales agregadas del gobierno regional	0,000	-14,257	-14,336	3,167
Demandas reales agregadas del gobierno central	0,000	-6,891	-6,481	-0,439
Índice del volúmen de exportaciones	0,546	1,575	4,617	-0,767
índice del volúmen de importaciones, ponderaciones CIF	0,034	-1,973	-7,947	1,500
Utilidad nacional promedio	0,000	0,000	-5,928	1,058
Cambios en puntos porcentuales de la tasa de desempleo	-0,164	2,706	3,619	-0,799
Salario real promedio	0,000	0,000	0,000	0,000
Devaluación real	-1,183	-2,819	-7,611	1,210
Índice de precios al consumidor	0,072	-3,071	-13,165	2,512
Índice de precios de exportaciones, en moneda local	-1,183	-2,819	-7,611	1,210
Índice de precios al gobierno regional	0,075	-5,273	-15,268	2,814
Índice de precios al gobierno central	0,075	-5,140	-15,142	2,839

Fuente: Estimaciones propias.

También hemos calculado los impactos de los pagos de regalías sobre la producción sectorial. La Figura 3 destaca los sectores que lograron un desempeño superior e inferior. Las actividades más afectadas ante tales escenarios serían la administración pública, la educación, las actividades de los hogares individuales en calidad de empleadores y las actividades de atención a la salud humana y de servicios sociales, mientras que estarían favorecidas la fabricación de productos de caucho y plástico, la fabricación de aparatos y equipos eléctricos, informáticos, electrónicos y ópticos, y la extracción de carbón de piedra y lignito. Esto podría afectar la convergencia regional si consideramos que, de acuerdo con Acosta y Bonet-Morón (2022), el gasto público es un motor de ese proceso, donde se incluye la administración pública y las actividades en educación y salud pública.

Figura 3. Impactos en la actividad sectorial de un hipotético retiro del pago de regalías por parte de los sectores mineros (en variación porcentual)



Fuente: Estimaciones propias.

Adicionalmente, se calculó el efecto sobre el producto de las regiones (Tabla 5). Los resultados sobre el crecimiento son evidentes para La Guajira, Chocó, Cesar, Meta y los llamados nuevos departamentos (especialmente Putumayo, Arauca y Casanare), todos pertenecientes a regiones periféricas. Nuevamente, este hecho podría tender a una mayor

polarización del PIB per capital regional en Colombia porque, precisamente, la evidencia muestra que durante las dos últimas décadas la tendencia observada a la convergencia/divergencia provenía de departamentos con recursos naturales no renovables ubicados en la periferia del país (Acosta y Bonet-Morón, 2022).

Estos resultados muestran consistentemente cómo la implementación de políticas redistributivas (la reforma SGR 2012 buscó ingresos de recursos redistribuidos de manera más equitativa) puede marcar la diferencia a favor de las regiones con mayor rezago relativo. Otro resultado interesante es que la mayor reducción del producto bruto regional ocurre a través del canal de demanda del gobierno al incluir la reincorporación de parte de los ingresos por regalías a la economía a través de los gastos del gobierno regional (entre los Cierres 1 y 2). Estos resultados también han demostrado la presencia de claras y bien definidas heterogeneidades regionales en los efectos de las regalías en las economías colombianas. Las mayores pérdidas en escenarios más restrictivos recaen en las regiones periféricas y más desfavorecidas sin excepciones aparentes.

Tabla 5. Efecto sobre el Producto Regional Bruto (en variación porcentual)

Departamento	Cierre 1	Cierre 2	Cierre 3	Costo de eficiencia
Antioquia	0,024	-0,444	-0,679	0,146
Atlántico	0,019	-0,558	-1,045	0,241
Bogotá, D.C.	0,014	-0,599	-1,133	0,170
Bolívar	0,051	-0,915	-1,358	0,345
Boyacá	0,107	-1,069	-1,478	0,244
Caldas	0,014	-0,617	-1,040	0,363
Caquetá	0,006	-1,410	-2,835	2,221
Cauca	0,016	-0,948	-1,244	0,700
Cesar	0,537	-3,574	-4,528	0,344
Córdoba	0,013	-1,262	-2,434	1,044
Cundinamarca	0,021	-0,366	-0,685	0,195
Chocó	0,065	-3,246	-4,910	2,477
Huila	0,078	-1,393	-2,076	0,375
La Guajira	0,631	-3,967	-5,888	0,587
Magdalena	0,011	-1,324	-2,409	0,518
Meta	0,516	-3,531	-3,822	-0,125
Nariño	0,015	-1,087	-2,133	1,316
Norte de Santander	0,051	-1,301	-2,425	0,268
Quindío	0,009	-0,540	-1,131	0,630
Risaralda	0,011	-0,602	-1,067	0,290
Santander	0,068	-0,595	-0,774	0,002
Sucre	0,017	-1,501	-2,915	1,507
Tolima	0,046	-1,015	-1,600	0,186
Valle del Cauca	0,015	-0,461	-0,727	0,201
Arauca	0,368	-5,038	-5,376	-0,052
Casanare	0,480	-4,250	-4,358	-0,095
Putumayo	0,382	-14,848	-16,089	0,227
Archipiélago de San Andrés	0,008	-2,359	-3,396	0,421
Amazonas	0,005	-5,385	-6,848	0,146
Guainía	0,020	-6,479	-8,655	3,533
Guaviare	0,004	-4,804	-6,944	1,420
Vaupés	0,002	-2,500	-4,379	10,980
Vichada	0,001	-4,872	-6,210	2,877
TOTAL	0,074	-1,047	-1,570	0,275

Fuente: Estimaciones propias.

La anterior evidencia tiene una relevancia significativa para las futuras reformas de los ingresos por recursos naturales, debido al potencial redistributivo de una ganancia inesperada proveniente de la explotación de recursos naturales no renovables. Por lo tanto, si bien tiene efectos positivos en términos de equidad, el resultado de esta política redistributiva no parece socavar el crecimiento nacional en el corto plazo. Estos resultados estarían en línea con el no cumplimiento de la maldición de recursos naturales, consistentes con lo encontrado por Bonet *et al.* (2020) quienes, a través del análisis del efecto de la reforma a las regalías de 2012, encontraron efectos positivos en las inversiones subnacionales.

Un comentario final tiene que ver con el costo de la eficiencia en la ejecución, definida en nuestro contexto como el desajuste entre las regalías asignadas a las entidades territoriales y la ejecución real que se hacen de ellas, lo que puede posponer los beneficios potenciales a corto plazo de la reasignación de los recursos en el sistema. Los resultados presentados en la última columna de las Tablas 4 y 5 se refieren a la simulación de imponer en la economía un reciclaje completo contemporáneo de los recursos de regalías disponibles. Los impactos a corto plazo revelan un impacto potencial de aumentar el PIB nacional en comparación con el valor de referencia (0,275 %) y en el bienestar (0,675 % de aumento en el consumo real de los hogares y 1,058 % en la utilidad nacional promedio).

6. Comentarios finales

Este documento se centró en dar respuesta a la pregunta de ¿qué ocurriría en el caso de eliminar de la economía colombiana las regalías generadas por las actividades mineras? Haciendo uso de un modelo de equilibrio general multirregional se estiman los efectos bajo tres escenarios de cierre macro de corto plazo. Los resultados muestran pérdidas significativas de hasta cerca del 1,5% del PIB, con la característica adicional de presentar fuertes disparidades regionales y sectoriales. Por regiones, los efectos muestran un claro comportamiento centro-periferia, en donde los departamentos más afectados serían los Nuevos departamentos, y los localizados en las regiones Caribe y Pacífica. Por sectores, las actividades de mayor afectación bajo los tres escenarios serían la administración pública, la educación, las actividades de los hogares individuales en calidad de empleadores y las actividades de atención a la salud humana y de servicios sociales.

Cuanto más inelástica sea la demanda o la oferta de un artículo gravado, menor será el exceso de carga del impuesto debido a la menor reducción en la cantidad vendida como resultado del impuesto. La producción minera en Colombia se exporta principalmente y enfrenta una baja elasticidad de la demanda de exportaciones (Tabla 1). Además, dada su alta relación capital-trabajo, las respuestas de corto plazo están restringidas en entornos del inventario de capital fijo. Por lo tanto, gravar la producción minera puede aumentar los ingresos del gobierno con un exceso de carga bajo, al menos en el corto plazo.

La adecuada gobernanza de los recursos naturales está relacionada con el hecho de que dichos gobiernos destinan una parte sustancial de los ingresos fiscales recaudados del sector minero a la formación de activos por medio de la inversión interna, centrándose en la transferencia intergeneracional de riqueza a largo plazo (Collier y Venables, 2011). En el caso colombiano, los posibles efectos de crecimiento inicial a corto plazo, como se muestra en las simulaciones, pueden tentar a los gobiernos a desviarse del enfoque de largo plazo del actual régimen fiscal.

Como se mencionó en la sección 2, luego de la reforma a las regalías de 2012, Colombia enfrentó una serie de modificaciones a la normativa anterior en donde aumentó la participación de los territorios productores. Esto significa que las regalías están volviendo a los escenarios donde pocos territorios reciben una mayor participación en relación con la reforma de referencia de 2012. Los resultados de este trabajo son de importancia ya que cada cambio en la distribución de los ingresos por recursos tendrá un impacto significativo en los indicadores socioeconómicos. Sobre esto, una futura área de trabajo deber considerar los nuevos escenarios de distribución de regalías como consecuencias de las últimas reformas aprobadas en 2017 y 2019.

Referencias

- Acosta, K. & Bonet-Morón, J. (2022). “Convergencia regional en Colombia en el Siglo XXI”, *Documentos de Trabajo Sobre Economía Regional y Urbana*, No. 308. Banco de la República – Centro de Estudios Económicos Regionales (CEER). Cartagena de Indias, Colombia
- Ayala, J., & Dall’erba, S. (2021). The natural resource curse: Evidence from the Colombian municipalities. *Papers in Regional Science*, 100(2), 581-602. <https://doi.org/10.1111/pirs.12577>
- Benavides, J.; Carrasquilla, J.; Zapata, G.; Velasco, A. (2000), “Impacto de las regalías en la inversión de las entidades territoriales”, Bogotá, Fedesarrollo. <http://hdl.handle.net/11445/1562>
- Bonet, J., Pérez, G. J.; Marín-Llanes, L. (2020). “Oil shocks and subnational public investment: The role of institutions in regional resource curse”. *Energy Economics*, 92, 105002. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2020.105002>
- Collier, P., and Venables, A. J. (2011). Key decisions for resource management: principles and practice. In: P. Collier and A. J. Venables (eds.), *Plundered nations?* New York: Palgrave Macmillan, cap. 1, pp. 1-26.
- Dixon, P., & Parmenter, B. (1996). *Computable general equilibrium modelling for policy analysis and forecasting*. In: H. M. Amman, D. A. Kendrick and J. Rust (eds.), *Handbook of Computational Economics*, Amsterdam: Elsevier, v. 1, pp. 3-85.
- Dobra, J. and Dobra, M. (2013). State mineral production taxes and mining law reform. *Resources Policy*, v. 38, n. 2, pp. 162-168. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2012.10.005>
- Ergas, H., Harrison, M. and Pincus, J. (2010). Some economics of mining taxation. *Economic Papers*, v. 29, n. 4, pp. 369-383. <https://doi.org/10.1111/j.1759-3441.2010.00090.x>
- Gaviria, A.; Zapata, J.; González, A. (2002), “Petróleo y región: El caso del Casanare”, Cuadernos de Fedesarrollo, 8, Bogotá, Fedesarrollo. <http://hdl.handle.net/11445/1905>
- Haddad, E.A., Faria, W., Galvis-Aponte, L. A., Hahn-De-Castro, L. W. (2016), “Matriz insumo-producto interregional para Colombia, 2012”, *Documentos de Trabajo Sobre Economía Regional y Urbana*; No. 247. Banco de la República – Centro de Estudios Económicos Regionales (CEER). Cartagena de Indias, Colombia.

- Haddad, E., Araújo, I., & Galvis, L. (2019). “Matriz Insumo-Producto Interregional de Colombia, 2015”. Texto para Discussão, n. 10-2019. Núcleo de Economia Regional e Urbana da Universidade de São Paulo (NEREUS).
- Hewings, G. J., Haddad, E. A., Bonet-Morón, J. A., Perobelli, F. S., & Bonet-Morón, J. (2008). “Efectos regionales de una mayor liberación comercial en Colombia: una estimación con el Modelo CEER”. Documentos de Trabajo Sobre Economía Regional y Urbana; No. 104. Banco de la República – Centro de Estudios Económicos Regionales (CEER). Cartagena de Indias, Colombia.
- Horridge, M., Parmenter, B. and Pearson, K. (2000). *ORANI-G: A general equilibrium model of the Australian economy*. Centre of Policy Studies.
- Lilford, E. V. (2017). Quantitative impacts of royalties on mineral projects. *Resources Policy*, v. 53, pp. 369-377. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2017.08.002>
- Otto, J., Andrews, C., Cawood, F., Doggett, M., Guj, P., Stermole, F., Stermole, J. and Titon, J. (2006). *Mining royalties: A global study of their impact on investors, government, and civil society*. The World Bank.
- Postali, F. A. S. (2015). Tax effort and oil royalties in the Brazilian municipalities. *Economía*, v. 16, n. 3, pp. 395-405. <https://doi.org/10.1016/j.econ.2015.08.001>
- Sánchez, F.; Mejía, C.; Herrera, F. (2005), “Impacto de las regalías del carbón en los municipios del Cesar 1997 – 2003”, Bogotá, Cuadernos PNUD, Investigaciones sobre desarrollo regional. <https://censat.org/es/publicaciones/impacto-de-las-regalias-del-carbon-en-los-municipios-del-cesar-1997-2003>

Apéndice 1 - Especificación del Modelo CEER

Este apéndice presenta las estructuras analítica, funcional y numérica del modelo de equilibrio general interregional para Colombia, el Modelo CEER. Se presenta la especificación de la forma linealizada del modelo basado en diferentes grupos de ecuaciones. La convención notacional utiliza letras mayúsculas para representar los niveles de las variables y las minúsculas para la representación de sus cambios porcentuales. Los superíndices (u), $u = \{0, 1j, 2j, 3, 4, 5, 6\}$ hacen referencia, respectivamente, al producto (0) y los seis diferentes usuarios específicos para cada región de los productos identificados en el modelo⁵: productores en el sector j ($1j$), inversionistas en el sector j ($2j$), hogares (3), compradores de exportaciones (4), gobiernos regionales (5), y gobierno central (6); el segundo superíndice (r) identifica la región doméstica donde el usuario está localizado. Los insumos se identifican por dos subíndices: el primero (i) toma los valores $1, \dots, g$, para los productos, $g + 1$, para factores primarios; el segundo subíndice identifica la fuente de los insumos, siendo esta desde la región nacional b ($1b$) o importada (2), u originada en la mano de obra (1) o el capital (2), los dos factores primarios en el modelo. El símbolo (\bullet) se emplea para indicar una suma sobre un índice.

Se definen los siguientes conjuntos: $G = \{1, \dots, g\}$, donde g es el número de Bienes combinados; $G^* = \{1, \dots, g, g + 1\}$, donde $g+1$ es el número de Bienes combinados y factores primarios, con $G^* \supset G$; $H = \{1, \dots, h\}$, donde h es el número de industrias; $U = \{(3), (4b), (5), (6), (kj)\}$ para $k = (1), (2)$ y $j \in H$, es el conjunto de todos los Usuarios en el modelo; $U^* = \{(3), (5), (6), (kj)\}$ para $k = (1), (2)$ y $j \in H$, con $U \supset U^*$, es el subconjunto de usuarios domésticos; $S = \{1, \dots, r, r + 1\}$, donde $r+1$ es el número de todas las regiones (incluyendo las extranjeras); $S^* = \{1, \dots, r\}$, con $S \supset S^*$, es el subconjunto con las r regiones nacionales; y $F = \{1, \dots, f\}$ es el conjunto de factores primarios. En el modelo CEER, $g = h = 54$, $r = 33$, y $f = 2$.

Se modela el abastecimiento de bienes compuestos basados en una estructura multinivel, lo cual permite un gran número de posibilidades de sustitución. Se emplean funciones de abastecimiento anidadas para la creación de los Bienes combinados, disponibles para el

⁵ Se ha especificado también un séptimo usuario residual, (7), para manejar posibles discrepancias estadísticas en el balanceo de la matriz de absorción del modelo basado en el sistema inter-regional de insumo-producto colombiano (IIOS). Para más detalles ver Haddad *et al.* (2019).

consume en las regiones del modelo. Se asume que los usuarios domésticos, i.e. firmas, inversionistas, hogares, y el gobierno, utilizan combinaciones de bienes compuestos especificados al interior de nidos CES de dos niveles. En el nivel inferior, paquetes de Bienes producidos en el ámbito nacional se forman como combinaciones de bienes de diferentes fuentes regionales. En el nivel superior, la sustitución es posible entre productos nacionalmente producidos y bienes importados. Las ecuaciones (A1) y (A2) describen, respectivamente, el abastecimiento regional de los bienes nacionales, y la sustitución entre bienes nacionales e importados.

$$x_{(i(1b))}^{(u)r} = x_{(i(1\bullet))}^{(u)r} - \sigma 1_{(i)}^{(u)r} \left(p_{(i(1b))}^{(u)r} - \sum_{l \in S^*} \left(\frac{V(i, 1l, (u), r)}{V(i, 1\bullet, (u), r)} \right) \left(p_{(i(1l))}^{(u)r} \right) \right)$$

$$i \in G; b \in S^*; (u) \in U^*; r \in S^* \quad (A1)$$

donde $x_{(i(1b))}^{(u)r}$ es la demanda por parte del usuario (u) en la región r por el bien i en la región nacional ($1b$); $p_{(i(1b))}^{(u)r}$ es el precio pagado por el usuario (u) en la región r por el bien i en la región nacional ($1b$); $\sigma 1_{(i)}^{(u)r}$ es un parámetro que mide la elasticidad de sustitución usuario-específica entre fuentes nacionales alternativas del producto i , conocida como la elasticidad Armington de comercio regional; y $V(i, 1l, (u), r)$ es un coeficiente de flujo insumo-producto que mide el valor de los compradores del bien i desde una fuente nacional l utilizada por el usuario (u) en la región r .

$$x_{(is)}^{(u)r} = x_{(i\bullet)}^{(u)r} - \sigma 2_{(i)}^{(u)r} \left(p_{(is)}^{(u)r} - \sum_{l=1\bullet, 2} \left(\frac{V(i, l, (u), r)}{V(i, \bullet, (u), r)} \right) \left(p_{(il)}^{(u)r} \right) \right)$$

$$i \in G; s = 1\bullet, 2; (u) \in U^*; r \in S^* \quad (A2)$$

donde $x_{(is)}^{(u)r}$ es la demanda del usuario (u) en la región r ya sea por bienes combinados nacionales o por el bien extranjero i ; $p_{(is)}^{(u)r}$ es el precio pagado por el usuario (u) en la región r bien sea para el combinado nacional o el bien extranjero i ; $\sigma 2_{(i)}^{(u)r}$ es un parámetro que mide la elasticidad de sustitución usuario-específica entre el paquete doméstico y las importaciones del bien i , conocidas como la elasticidad Armington de comercio internacional; y $V(i, l, (u), r)$ es un coeficiente de flujo insumo-producto que mide el valor de los compradores del bien i ya sea desde la fuente del agregado nacional o desde la fuente extranjera l usada por el usuario (u) en la región r .

Adicionalmente a bienes usados como insumos intermedios, las firmas en el modelo también demandan factores de producción primarios. Las ecuaciones que describen las demandas de insumos de la industria j son derivadas bajo el supuesto de la tecnología Leontief con nidos Armington (sustitución imperfecta entre insumos del mismo tipo de diferente fuente). En la especificación de las funciones de producción anidadas, se asumen firmas para usar combinaciones de insumos intermedios compuestos, formados de acuerdo a las ecuaciones (A1) y (A2), y factores primarios compuestos. En el caso del paquete de factores primarios, la sustitución es posible entre los diferentes tipos de factores primarios. La ecuación (A3) especifica la sustitución entre la mano de obra y el capital en el modelo, y se deriva bajo el supuesto de que las industrias escogen sus factores de insumos primarios para minimizar los costos sujeto a obtener suficientes factores de insumos primarios para satisfacer sus requerimientos tecnológicos (Leontief anidada/especificación CES). Se han incluido variables de cambio tecnológico para permitir choques de productividad para factores específicos. Se modela la combinación de insumos intermedios y el valor agregado (factores primarios) agregados en proporciones fijas, en la parte más superior de la función de producción anidada, asumiendo que no hay sustitución entre factores primarios y otros insumos. La especificación Leontief se presenta en la ecuación (A4). Otras formas funcionales más flexibles rara vez se han incluido en modelos multi-regionales, debido a restricciones de disponibilidad de información. Adicional a un coeficiente técnico en la relación entre la demanda sectorial por factores primarios compuestos y el producto total, también se ha incluido un parámetro de escala. Este procedimiento de modelación se basa en estudios previos tales como Haddad y Hewings (2005) los cuales permiten la introducción de economías de aglomeración Marshallianas (externas), explorando propiedades locales de la función CES.

$$x_{(g+1,s)}^{(1j)r} - a_{(g+1,s)}^{(1j)r} = \alpha_{(g+1,s)}^{(1j)r} x_{(g+1,\bullet)}^{(1j)r} - \sigma \mathfrak{Z}_{(g+1)}^{(1j)r} \left(p_{(g+1,s)}^{(1j)r} + a_{(g+1,s)}^{(1j)r} - \sum_{l \in F} \left(\frac{V_{(g+1,l,(1j),r)}}{V_{(g+1,\bullet,(1j),r)}} \right) \left(p_{(g+1,l)}^{(1j)r} + a_{(g+1,l)}^{(1j)r} \right) \right)$$

$$j \in H; s \in F; r \in S^* \quad (A3)$$

donde $x_{(g+1,s)}^{(1j)r}$ es la demanda del sector j en la región r por cada factor primario; $a_{(g+1,s)}^{(1j)r}$ es la variable exógena sector-específica de (ahorro) cambio técnico por factores primarios s en

la región r ; $p_{(g+1,s)}^{(1j)r}$ es el precio pagado por el sector j en la región r por factores primarios s ; $\sigma_{(g+1)}^{(1j)r}$ es un parámetro que mide la elasticidad de sustitución sector-específica entre los diferentes factores primarios; y $V(g+1, l, (1j), r)$ es un coeficiente de flujo insumo-producto que mide el valor de los compradores del factor l usado por el sector j en la región r .

$$x_{(i\bullet)}^{(1j)r} = \mu_{(g+1,\bullet)}^{(1j)r} z^{(1j)r} + a_{(i)}^{(1j)r} \\ j \in H; i \in G^*; r \in S^* \quad (A4)$$

donde $x_{(i\bullet)}^{(1j)r}$ es la demanda por parte del sector j en la región r por los paquetes de insumos intermedios compuestos y factores primarios i ; $z^{(1j)r}$ es el producto total del sector j en la región r ; $a_{(i)}^{(1j)r}$ es la variable exógena sector-específica de cambio técnico para insumos intermedios compuestos y factores primarios en la región r ; y $\mu_{(i\bullet)}^{(1j)r}$ es un parámetro de escala que mide los retornos sector-específicos de la combinación de factores primarios en cada región.

Se crean unidades de stock de capital para la industria j , al mínimo costo. Los insumos son combinados vía una función Leontief, tal como se especifica en la ecuación (A5). Como se describe en las ecuaciones (A1) y (A2), los insumos regionales, y nacionales e importados se combinan, respectivamente, vía una especificación CES (con supuestos Armington). No se usan factores primarios en la creación del capital. El uso de estos insumos se reconoce por medio de sectores productores de bienes de capital en el modelo, principalmente industrias de maquinaria y equipo, construcción y servicios de asistencia.

$$x_{(i\bullet)}^{(2j)r} = z^{(2j)r} + a_{(i)}^{(2j)r} \\ j \in H; i \in G; r \in S^* \quad (A5)$$

donde $x_{(i\bullet)}^{(2j)r}$ es la demanda del sector j en la región r por los paquetes de bienes de capital combinados i ; $z^{(2j)r}$ es la inversión total del sector j en la región r ; $a_{(i)}^{(2j)r}$ es la variable exógena sector-específica del cambio técnico para el cambio de la composición de la unidad sectorial del capital en la región r .

Derivando las demandas del hogar por insumos compuestos, asumimos que los hogares en cada región se comportan como uno solo, una entidad restringida en presupuesto maximizadora de la utilidad. La función de utilidad es de la forma Stone-Geary o Klein-Rubin. La ecuación (A6) determina la composición óptima de la demanda del hogar en cada región. El consumo regional total del hogar se determina como una función del ingreso real del hogar. La demanda por los paquetes de insumos en la estructura anidada de la demanda del hogar sigue un patrón CES que se establece en las ecuaciones (A1) y (A2), en las cuales una variable de actividad y un término de sustitución de precio juegan los mayores roles. En la ecuación (A6), el consumo de cada insumo i depende de dos componentes: primero, para el componente de subsistencia, el cual se define como el requerimiento de gasto mínimo para cada insumo, los cambios en la demanda se generan por cambios en el número de hogares y gustos; segundo, para la parte de lujo o supernumeraria del gasto en cada bien, la demanda se mueve con cambios en el gasto regional supernumerario, cambios en los gustos, y cambios en el precio del insumo compuesto. Los dos componentes del gasto del hogar sobre los insumos compuestos se ponderan por sus participaciones respectivas en el consumo total del insumo compuesto.

$$\begin{aligned}
V(i, \bullet, (3), r) & \left(p_{(i\bullet)}^{(3)r} + x_{(i\bullet)}^{(3)r} - a_{(i\bullet)}^{(3)r} \right) \\
& = \gamma_{(i)}^r P_{(i\bullet)}^{(3)r} Q^r \left(p_{(i\bullet)}^{(3)r} + x_{(i\bullet)}^{(3)r} - a_{(i\bullet)}^{(3)r} \right) \\
& + \beta_{(i)}^r \left(C^r - \sum_{j \in G} \gamma_{(j)}^r P_{(j\bullet)}^{(3)r} Q^r \left(p_{(j\bullet)}^{(3)r} + x_{(j\bullet)}^{(3)r} - a_{(j\bullet)}^{(3)r} \right) \right)
\end{aligned}
\tag{A6}$$

$i \in G; r \in S^*$

donde $p_{(i\bullet)}^{(3)r}$ es el precio pagado por el hogar en la región r por el bien compuesto i ; $x_{(i\bullet)}^{(3)r}$ es la demanda del hogar en la región r por el bien compuesto i ; $a_{(i\bullet)}^{(3)r}$ es la variable insumo-específica del cambio en el gusto regional; Q^r es el número de hogares en la región r ; C^r es el gasto total por hogar en la región r , el cual es proporcional al ingreso laboral regional; $\gamma_{(i)}^r$ es el parámetro de subsistencia en el sistema de gasto lineal para el insumo i en la región r ; $\beta_{(i)}^r$ es el parámetro definido para el insumo i en la región r que mide las participaciones presupuestales marginales en el sistema lineal de gasto; y $V(i, \bullet, (3), r)$ es un coeficiente de

flujo insumo-producto que mide el valor de los compradores del bien i consumido por los hogares en la región r .

Como ha sido anotado por Peter *et al.* (1996), una característica de la función de utilidad Stone-Geary es que únicamente el componente de lujo, o por encima de subsistencia, del consumo real de los hogares, $utility^{(r)}$, afecta la utilidad por hogar, tal como se describe en la ecuación (A7).

$$utility^{(r)} = \left(C^r - \sum_{j \in G} \gamma_{(j)}^r P_{(j \bullet)}^{(3)r} Q^r \left(p_{(j \bullet)}^{(3)r} + x_{(j \bullet)}^{(3)r} - a_{(i \bullet)}^{(3)r} \right) \right) - q^r - \sum_{i \in G} \beta_{(i)}^r p_{(i \bullet)}^{(3)r}$$

(A7)

donde q^r es el cambio porcentual en el número de hogares en cada región.

En la ecuación (A8), la demanda extranjera (exportaciones) por el bien nacional i depende de los cambios porcentuales en un precio, y tres variables de cambio las cuales permiten movimientos horizontales y verticales en las curvas de demanda. La variable precio, la cual influencia la demanda de exportaciones es el precio del comprador en los países extranjeros, lo cual incluye los márgenes e impuestos relevantes. El parámetro $\eta_{(is)}^r$ controla la sensibilidad de la demanda de exportaciones a cambio en el precio.

$$\left(x_{(is)}^{(4)r} - f q_{(is)}^{(4)r} \right) = \eta_{(is)}^r \left(p_{(is)}^{(4)r} - phi - f p_{(is)}^{(4)r} \right)$$

(A8)

donde $x_{(is)}^{(4)r}$ es la demanda extranjera por el bien doméstico i producido en la región s y vendido desde la región r (en el modelo no hay re-exportaciones, tal que $r = s$); $p_{(is)}^{(4)r}$ es el precio de compradores en moneda doméstica del bien exportado i demandado en la región r ; phi es la tasa de cambio nominal; y $f q_{(is)}^{(4)r}$ y $f p_{(is)}^{(4)r}$ son, respectivamente, cambios en la cantidad y precio en las curvas de demanda extranjera por exportaciones regionales.

Los gobiernos consumen principalmente bienes públicos provistos por los sectores de la administración pública. Las ecuaciones (A9) y (A10) son el movimiento del consumo del

gobierno en relación con los movimientos en los ingresos tributarios reales, para los gobiernos regionales y el gobierno central, respectivamente.

$$x_{(is)}^{(5)r} = taxrev^r + f_{(is)}^{(5)r} + f^{(5)r} + f^{(5)} \\ i \in G; s = 1b, 2; r, b \in S^* \quad (A9)$$

$$x_{(is)}^{(6)r} = nattaxrev + f_{(is)}^{(6)r} + f^{(6)r} + f^{(6)} \\ i \in G; s = 1b, 2; r, b \in S^* \quad (A10)$$

donde $x_{(is)}^{(5)r}$ y $x_{(is)}^{(6)r}$ son las demandas de los gobiernos regional (5) y central (6) en la región r por el bien i desde la región s ; $f_{(is)}^{(5)r}$, $f^{(5)r}$ y $f^{(5)}$ son, respectivamente, los términos de cambio insumo-específico y fuente-específica para el gasto de los gobiernos regionales en la región r , el término de cambio para el gasto del gobierno regional en la región r , y un término de cambio total para el gasto del gobierno regional. Términos de cambio similar ($f_{(is)}^{(6)r}$, $f^{(6)r}$ y $f^{(6)}$) aparecen en la ecuación (A10) relacionadas al gasto del gobierno central. Finalmente, $taxrev^r$ es el cambio porcentual en los ingresos reales de impuestos indirectos en la región r , y $nattaxrev$ hace referencia al cambio porcentual en el ingreso real agregado de impuestos indirectos, tal que los movimientos de demanda del gobierno con cambios endógenos en las bases tributarias regionales y nacional.

La ecuación (A11) especifica las tasas de impuesto a las ventas para los distintos usuarios. Estas permiten variaciones en las tasas impositivas a través de los insumos, y sus fuentes y destinos. Los cambios en los impuestos están expresados como cambios punto-porcentuales en las tasas impositivas *ad valorem*.

$$t_{(is)}^{(u)r} = f_i + f_i^{(u)} + f_i^{(u)r} \\ i \in G; s = 1b, 2; b, r \in S^*; u \in U \quad (A11)$$

donde $t_{(is)}^{(u)r}$ es el poder del impuesto a las ventas del bien (is) al usuario (u) en la región r ; y f_i , $f_i^{(u)}$, y $f_i^{(u)r}$ son términos de cambio diferentes que permiten cambios porcentuales en el poder del impuesto.

Las ecuaciones (A12) y (A13) imponen condiciones de equilibrio en los mercados de insumos doméstico e importado. Nótese que en el modelo no hay insumo al margen. Además, no hay producción secundaria en el modelo. En la ecuación (A12), la demanda iguala a la oferta para el caso de los insumos regionales domésticos.

$$\sum_{j \in H} Y(l, j, r) x_{(l1)}^{(0j)r} = \sum_{(u) \in U} B(l, 1b, (u), r) x_{(l1)}^{(u)r}$$

$$l \in G, b, r \in S^* \quad (A12)$$

donde $x_{(l1)}^{(0j)r}$ es el producto del bien doméstico l por la industria j en la región r ; $x_{(l1)}^{(u)r}$ es la demanda del bien doméstico l por el usuario (u) en la región r ; $Y(l, j, r)$ es el flujo insumo-producto que mide el valor básico del producto del bien doméstico l por la industria j en la región r ; y $B(l, 1, (u), r)$ es el flujo insumo-producto que mide el valor básico del bien doméstico l usado por (u) en la región r .

La ecuación (13) impone cero ganancias puras en la importación. Donde $p_{(i(2))}^{(0)}$ es el precio básico en moneda doméstica del bien i desde una fuente extranjera; $p_{(i(2))}^{(w)}$ es el precio mundial (Cost, Insurance and Freight - C.I.F) del bien importado i ; phi es la tasa de cambio nominal; y $t_{(i(2))}^{(0)}$ es el poder de la tarifa, i.e. uno más la tarifa de precios, sobre importaciones de i . la ecuación (A13) entonces, define el precio básico de una unidad de bienes importados i – el ingreso recibido por unidad por e importador – como el precio internacional C.I.F. convertido en moneda nacional, incluyendo las tarifas de importación.

$$p_{(i(2))}^{(0)} = p_{(i(2))}^{(w)} - phi + t_{(i(2))}^{(0)}$$

$$i \in G \quad (A13)$$

Junto con la ecuación (A13), las ecuaciones (A14) y (A15) representan el sistema de precios del modelo. El precio recibido por cualquier actividad es igual a los costos por unidad de producto. Como se puede notar, el supuesto de retornos constantes a escala adoptado aquí previene la actividad de cualquier variable de la influencia de los precios básicos, i.e., los costos unitarios son independientes de la escala a la cual se desarrollan las actividades. Así, la ecuación (A14) define el cambio porcentual en el precio recibido por los productores en la

industria regional j por unidad de producto siendo igual al cambio porcentual in los costos de los j , los cuales están afectados por los cambios en la tecnología y cambios en los precios de los insumos.

$$\sum_{\substack{l \in G \\ j \in H; r \in S^*}} Y(l, j, r) \left(p_{(l1)}^{(0)r} + a_{(l1)}^{(0)r} \right) = \sum_{l \in G^*, F} \sum_{s \in S} V(l, s, (1j), r) p_{(ls)}^{(1j)r} \quad (\text{A14})$$

donde $p_{(l1)}^{(0)r}$ es el precio básico del bien doméstico l en la región r ; $a_{(l1)}^{(0)r}$ se refiere a los cambios tecnológicos, medidos como una media ponderada de los diferentes tipos de cambios tecnológicos con influencia sobre los costos unitarios de j ; $p_{(ls)}^{(1j)r}$ es el costo unitario del sector j en la región r ; $Y(l, j, r)$ es el flujo de insumo-producto que mide el valor básico del producto de bien doméstico l por parte de la industria j en la región r ; y $V(l, s, (1j), r)$ son los flujos insumo-producto que miden el valor de compra del bien o factor l de la fuente s usado por el sector j en la región r .

La ecuación (A15) impone cero beneficios puros en la distribución de bienes a diferentes usuarios. Los precios pagados por el bien i desde la región s en la industria j en la región r por parte de cada usuario igual a la suma de su valor básico y los costos de los impuestos relevantes.

$$V(i, s, (u), r) p_{(is)}^{(u)r} = \left(B(i, s, (u), r) + T(i, s, (u), r) \right) \left(p_{(is)}^{(0)} + t_{(is)}^{(u)r} \right) \quad (\text{A15})$$

$i \in G; s = 1b, 2; b, r \in S^*; u \in U$

donde $p_{(is)}^{(u)r}$ es el precio pagado por el usuario (u) en la región r para el bien (is) ; $p_{(is)}^{(0)}$ es el precio básico del bien doméstico (is) ; $t_{(is)}^{(u)r}$ es el poder del impuesto sobre las ventas del bien (is) al usuario (u) en la región r ; $V(i, s, (u), r)$ son los flujos insumo-producto que miden el valor de compra del bien i desde la fuente s utilizado por el usuario (u) in región r ; $B(i, s, (u), r)$ es el flujo insumo-producto que mide el valor básico del bien (is) usado por (u) en la región r ; y $T(i, s, (u), r)$ es el flujo insumo-producto asociado con ingresos tributarios de las ventas de (is) a (u) en la región r .

La teoría de la localización de inversión a través de las industrias se representa a través de las ecuaciones (A16) a (A19). La naturaleza de estática comparativa del modelo restringe su uso a análisis de política de corto y de largo plazo. Cuando se corre el modelo en modo de estática comparativa, no hay una relación fija entre capital y la inversión. El usuario decide la relación que se requiere con base en los requerimientos de la simulación específica. La ecuación (A16) define el porcentaje de cambio en la tasa actual de retorno sobre el capital físico en los sectores regionales. Bajo expectativas estáticas, las tasas de retorno están definidas como la razón entre los valores de alquiler y el costo de una unidad de capital en cada industria – definida en la ecuación (A17) –, menos la tasa de depreciación.

$$r_{(j)}^r = \psi_{(j)}^r \left(p_{(g+1,2)}^{(1j)r} - p_{(k)}^{(1j)r} \right) \\ j \in H; r \in S^* \quad (A16)$$

donde $r_{(j)}^r$ es la tasa de retorno industria-regional-específica; $p_{(g+1,2)}^{(1j)r}$ es el valor de alquiler del capital en el sector j en la región r ; $p_{(k)}^{(1j)r}$ es el costo de construir unidades de capital para las industrias regionales; y $\psi_{(j)}^r$ es un parámetro región-industria-específico refiriéndose a la razón de la tasa de retorno bruta a la neta.

La ecuación (A16) define $p_{(k)}^{(1j)r}$ como:

$$V(\bullet, \bullet, (2j), r) \left(p_{(k)}^{(1j)r} - a_{(k)}^{(1j)r} \right) = \sum_{i \in G} \sum_{s \in S} V(i, s, (2j), r) \left(p_{(is)}^{(2j)r} - a_{(is)}^{(2j)r} \right) \\ j \in H; r \in S^* \quad (A17)$$

donde $p_{(is)}^{(2j)r}$ es el precio pagado por el usuario $(2j)$ en la región r por el bien (is) ; $a_{(k)}^{(1j)r}$ y $a_{(is)}^{(2j)r}$ son términos técnicos; y $V(i, s, (2j), r)$ representa los flujos insumo-producto que miden el valor de compra del bien i desde la fuente s utilizado por el usuario $(2j)$ en la región r .

La ecuación (A18) dice que, si el cambio porcentual en la tasa de retorno en una industria regional crece más rápido que el promedio nacional, los choques de capital en esa industria aumentarán a una tasa más rápida que el promedio del stock nacional. Para las industrias con aumentos por debajo del promedio en su tasa de retorno al capital físico, los stocks de capital

aumentarán a una tasa menos que el promedio, i.e., el capital es atraído a industrias de altos retornos. La variable de cambio, $f_{(k)}^{(1j)r}$, exógena en simulaciones de largo plazo, permite cambios en la tasa de retorno de la industria.

$$r_{(j)}^r - \omega = \varepsilon_{(j)}^r \left(x_{(g+1,2)}^{(1j)r} - x_{(g+1,2)}^{(\bullet)r} \right) + f_{(k)}^{(1j)r}$$

$$j \in H; r \in S^*$$
(A18)

donde $r_{(j)}^r$ es la tasa de retorno región-industria-específica; ω es la tasa de retorno total del capital; $x_{(g+1,2)}^{(1j)r}$ es el stock de capital in la industria j en la región r ; $f_{(k)}^{(1j)r}$ el término de variación del capital en el sector j en la región r ; y $\varepsilon_{(j)}^r$ mide la sensibilidad del crecimiento del capital a la tasa de retorno de la industria j en la región r .

La ecuación (A19) implica que el cambio porcentual en el stock de capital de la industria, $x_{(g+1,2)}^{(1j)r}$, es igual al cambio porcentual en las inversiones de la industria en el periodo, $z^{(2j)r}$.

$$z^{(2j)r} = x_{(g+1,2)}^{(1j)r} + f_{(k)}^{(2j)r}$$

$$j \in H; r \in S^*$$
(A19)

donde $f_{(k)}^{(2j)r}$ permite los cambios exógenos en las inversiones sectoriales en la región r .

En la especificación del Mercado de trabajo, la ecuación (A20) define la agregación regional de los precios de la mano de obra (salarios) a través de las industrias. La ecuación (A21) muestra los movimientos en los diferenciales salariales regionales, $wage_diff^{(r)}$ es definido como la diferencia entre el movimiento del salario real agregado recibido por los trabajadores, y el salario real nacional.

$$V(g+1,1,\bullet,r) \left(p_{(g+1,1)}^{(\bullet)r} - a_{(g+1,1)}^{(\bullet)r} \right) = \sum_{j \in H} V(g+1,1,(1j),r) \left(p_{(g+1,1)}^{(1j)r} - a_{(g+1,1)}^{(1j)r} \right)$$

$$r \in S^*$$
(A20)

donde $p_{(g+1,1)}^{(1j)r}$ es el salario en el sector j en la región r , $a_{(g+1,1)}^{(1j)r}$ es un término técnico, y $V(g+1,1,(1j),r)$ representa los flujos insumo-producto que miden los pagos sectoriales a la mano de obra en la región r .

$$wage_diff^{(r)} = p_{(g+1,1)}^{(\bullet)r} - cpi - natrealwage$$

$$r \in S^* \tag{A21}$$

donde cpi es el índice de precios al consumidor, calculado como el promedio ponderado de $p_{(is)}^{(3)r}$ a través de las regiones r y bienes de consumo (is); y $natrealwage$ es el salario real del consumidor a nivel nacional.

La población regional está definida través de la interacción de variables demográficas, incluyendo la migración interregional. También se proveen los vínculos entre la población y la oferta regionales de mano de obra. Las variables demográficas son usualmente definidas exógenamente, y junto con la especificación de algunos de los entornos del mercado laboral, la oferta de mano de obra puede determinarse en conjunto con, ya sea los diferenciales salariales interregionales o la tasa de desempleo regional. En resumen, ya sea que la oferta laboral y los diferenciales salariales determinan las tasas de desempleo, o la oferta laboral y la tasa de desempleo determinan los diferenciales salariales.

La ecuación (A22) define el cambio en puntos porcentuales en las tasas de desempleo regional en términos del cambio porcentual en la oferta laboral y trabajadores empleados.

$$LABSUP(r)del_unr^{(r)} = EMPLOY(r) \left(labsup^{(r)} - x_{(g+1,1)}^{(\bullet)r} \right)$$

$$r \in S^* \tag{A22}$$

donde $del_unr^{(r)}$ mide el cambio porcentual en la tasa de desempleo regional; $labsup^{(r)}$ es la variable para la oferta laboral regional; y los coeficientes $LABSUP(r)$ y $EMPLOY(r)$ son los valores de referencia para la oferta laboral regional y el empleo regional, respectivamente. La variable $labsup^{(r)}$ se mueve con la participación de la fuerza laboral regional, proporcional a la población regional, y la población en edad de trabajar. La ecuación (A23) define los cambios de la población regional en el modelo como cambios ordinarios en los

flujos de migración regional neta ($d_{rm}^{(r)}$), migración extranjera neta ($d_{fm}^{(r)}$), y crecimiento poblacional natural ($d_g^{(r)}$).

$$POP(r)pop^{(r)} = d_{rm}^{(r)} + d_{fm}^{(r)} + d_g^{(r)}$$

$$r \in S^* \quad (A23)$$

donde $POP(r)$ es un coeficiente que mide la población regional en el año de referencia.

La ecuación (A24) muestra movimientos en los diferenciales de utilidad por-hogar, $util_diff^{(r)}$, definido como la diferencia entre el movimiento en la utilidad regional, y la utilidad total nacional (agg_util), incluyendo una variable de cambio, $futil^{(r)}$.

$$util_diff^{(r)} = utility^{(r)} - agg_util + futil^{(r)}$$

$$r \in S^* \quad (A24)$$

Finalmente, se pueden definir los cambios en el producto regional como los promedios ponderados de cambios en los agregados regionales. De acuerdo con la ecuación (A25) abajo:

$$GRP^r grp^r = C^r x_{(\bullet\bullet)}^{(3)r} + INV^r z^{(2)\bullet r} + GOV^{(5)r} x_{(\bullet\bullet)}^{(5)r} + GOV^{(6)r} x_{(\bullet\bullet)}^{(6)r} + (FEXP^r x_{(\bullet\bullet)}^{(4)r} -$$

$$FIMP^r x_{(\bullet 2)}^{(\bullet)r}) + (DEXP^r x_{(\bullet(1r))}^{(\bullet)s} - DIMP^r x_{(\bullet(1s))}^{(\bullet)r})$$

$$r \in S^*; s \in S^* \text{ para } s \neq r \quad (A25)$$

donde grp^r es el cambio porcentual en el Producto Regional Bruto en la región r ; y los coeficientes GRP^r , INV^r , $GOV^{(5)r}$, $GOV^{(6)r}$, $FEXP^r$, $FIMP^r$, $DEXP^r$, y $DIMP^r$ representan, respectivamente, los siguientes agregados regionales: inversiones, gasto de los gobiernos regionales, gasto del gobierno central, exportaciones extranjeras, importaciones extranjeras, exportaciones e importaciones domésticas. El producto nacional, GDP , es, entonces, la suma de GRP^r a través de todas las regiones r . Nótese que el balance del comercio doméstico se cancela.

Para cerrar el modelo, establecemos las siguientes variables exógenamente, las cuales son usualmente exógenas tanto en las simulaciones de corto como de largo plazo: $a_{(g+1,s)}^{(1j)r}$, $a_{(i)}^{(1j)r}$, $a_{(i)}^{(2j)r}$, $a_{(i\bullet)}^{(3)r}$, $f q_{(is)}^{(4)r}$, $f p_{(is)}^{(4)r}$, $f_{(is)}^{(5)r}$, $f^{(5)r}$, $f^{(5)}$, $f_{(is)}^{(6)r}$, $f^{(6)r}$, $f^{(6)}$, f_i , $f_i^{(u)}$, $f_i^{(u)r}$, $p_{(i(2))}^{(w)}$, $t_{(i(2))}^{(0)}$, $a_{(l1)}^{(0)r}$, $a_{(k)}^{(1j)r}$, $a_{(is)}^{(2j)r}$, $a_{(g+1,1)}^{(\bullet)r}$, ω , $f_{(k)}^{(2j)r}$, $d_{fm}^{(r)}$, $d_g^{(r)}$, y $futil^{(r)}$. Para completar el ajuste

de corto plazo, también fijamos sin-cambios los choques actuales de capital ($x_{(g+1,2)}^{(1j)r}$), el salario real nacional ($natrealwage$), los diferenciales de salario regional, ($wage_diff^{(r)}$), y la población regional, manteniendo la migración regional sin cambios ($d_rm^{(r)}$).⁶

Hay otras definiciones de variables calculadas usando productos de simulaciones basadas en el sistema de ecuaciones (A1)-(A25). De especial interés para esta discusión es la definición del PIB regional/nacional y sus componentes.

Calibración

La calibración del modelo requiere dos subconjuntos de Información para definir su estructura numérica tal que se pueda implementar el modelo empíricamente. Primero, se necesita información de una matriz de absorción derivada de fuentes interregional de insumo-producto (Tabla A1) para calcular los coeficientes del modelo basado en los siguientes flujos insumo-producto:

- $B(i, 1b, (u), r)$, with $i \in G^*$, $(u) \in U$, $b, r \in S^*$
- $M(i, s, (u), r)$, with $i \in G^*$, $s \in S$, $(u) \in U$, $r \in S^*$ ⁷
- $T(i, s, (u), r)$, with $i \in G^*$, $s \in S$, $(u) \in U$, $r \in S^*$
- $V(i, s, (u), r)$, with $i \in G^*$, $s \in S, F$, $(u) \in U$, $r \in S^*$
- $Y(i, j, r)$, with $i \in G^*$, $j \in H$, $r \in S^*$

Se completa esta información con datos demográficos suplementarios del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) para calibrar los coeficientes $LABSUP(r)$, $EMPLOY(r)$ y $POP(r)$, con $r \in S^*$. Debido a que estos estimadores están basados en observaciones instantáneas para un solo año particular que revela la estructura económica del sistema económico, este subconjunto de información se denota como “coeficientes estructurales” (Haddad *et al.*, 2002).

⁶ En un cierre de largo plazo, los supuestos sobre movilidad interregional de capital y trabajo se relajan intercambiando las variables $x_{(g+1,2)}^{(1j)r}$, $natrealwage$, $wage_diff^{(r)}$ y $d_rm^{(r)}$, por $f_{(k)}^{(1j)r}$, $del_unr^{(r)}$ y $util_diff^{(r)}$.

⁷ En la presentación del modelo, se incluye el margen de los insumos $M(i, s, (u), r)$, in $B(i, 1b, (u), r)$.

El segundo segmento de la información, necesaria para calibrar el modelo, está representada por el subconjunto de datos que definen varios parámetros, principalmente elasticidades. Estos se conocen como “parámetros comportamentales”.

Tabla A1. Flujos agregados en la matriz de absorción: Colombia, 2015
(valores en billones de pesos corrientes)

<u>LABELS</u>	User (1j) ^r	User (2j) ^r	User (3) ^r	User (4)	User (5) ^r	User (6) ^r	User (7)	TOTAL
iEG, sES*	B(i,1b,(1j),r)	B(i,1b,(2j),r)	B(i,1b,(3),r)	B(i,1b,(4))	B(i,1b,(5),r)	B(i,1b,(6),r)	B(i,1b,(7))	B(i,1b,(•),•)
iEG, sES-S*	B(i,2,(1j),r)	B(i,2,(2j),r)	B(i,2,(3),r)	B(i,2,(4))	B(i,2,(5),r)	B(i,2,(6),r)	B(i,2,(7))	B(i,2,(•),•)
iEG, sES	T(i,s,(1j),r)	T(i,s,(2j),r)	T(i,s,(3),r)	T(i,s,(4))	T(i,s,(5),r)	T(i,s,(6),r)	-	T(i,s,(•),•)
sEF	V(g+1,s,(1j),r)	-	-	-	-	-	-	V(g+1,s,(•),•)
TOTAL	Y(•,•,r)	V(•,•,(2j),r)	V(•,•,(3),r)	V(•,•,(4))	V(•,•,(5),r)	V(•,•,(6),r)	V(•,•,(7))	V(•,•,(•),•)

<u>2015</u>	User (1j) ^r	User (2j) ^r	User (3) ^r	User (4)	User (5) ^r	User (6) ^r	User (7)	TOTAL
iEG, sES*	584,016	157,554	460,601	118,997	69,872	49,902	0	1,440,942
iEG, sES-S*	94,223	28,373	51,902	1	1,330	936	0	176,766
iEG, sES	32,160	5,378	30,863	263	185	132	-	68,981
sEF	730,543	-	-	-	-	-	-	730,543
TOTAL	1,440,942	191,305	543,367	119,261	71,387	50,970	0	2,417,232

Fuente: Haddad, *et al.* (2019)

En el Modelo CEER, las elasticidades del comercio en la estructura de demanda Armington determinan las posibilidades de sustitución entre bienes de diferentes fuentes (extranjeras y domésticas). Elasticidades de comercio más pequeñas implican una sustitución más débil entre las fuentes geográficas en el modelo, reduciendo la fortaleza potencial de la estructura de encadenamiento en los ajustes post-choque. La Tabla A2 muestra los valores por defecto para las elasticidades de comercio, $\sigma 1_{(i)}^{(u)r}$ en la ecuación (A1), y las elasticidades de comercio internacionales, $\sigma 2_{(i)}^{(u)r}$ en la ecuación (A2) en la agregación utilizada en esta versión del modelo. Las elasticidades de sustitución extranjero-doméstico (elasticidades Armington) reflejan la manera en la que las importaciones responden a cambios en los precios relativos entre los bienes importados y domésticos (Dixon *et al.*, 2013). Las elasticidades de sustitución entre bienes domésticos e importados ($\sigma 2_{(i)}^{(u)r}$) en el Modelo CEER se obtienen del modelo GTAP (GTAP 9 Data Base). El Modelo GTAP lista los valores para las elasticidades Armington para 57 productos estimados por Hertel *et al.*, (2007). De

estos estimadores se calculan las elasticidades para cada sector para los 54 sectores de la economía colombiana considerando la estructura de la tabla de fabricación nacional. Los valores especificados para las elasticidades de comercio regionales ($\sigma_{(i)}^{(u)r}$) son dos veces tan grandes como las de las elasticidades de comercio internacionales. La escogencia arbitraria de los valores se basa en la literatura internacional que evalúa este tipo de estimación de la elasticidad, pero también contiene un criterio de decisión personal. Se asume implícitamente que la sustitución entre los bienes de diferentes regiones al interior del país es más fuerte que la sustitución entre bienes domésticos e importados (Haddad, 1999).

$$\ln X_{it} = \alpha + \beta \ln P_{it} + D_t + v_i + u_{it} \quad (\text{A26})$$

donde, X_{it} es la demanda de exportaciones por un bien colombiano i en el momento t ; P_{it} es el precio del bien; D_t es un término de tiempo; v_i es un efecto fijo que captura la influencia de variables no-observables (tales como tasas de cambio, costos de transporte, política, y otros precios); u_{it} es el término de error; α y β son los coeficientes ser estimados. El número de Bienes define las observaciones i en el Sistema de clasificación en un nivel básico de 10 dígitos ($i = 12,780$ bienes) a través del tiempo t ($t = 2011$ to 2015). La variable dependiente (X_{it}) es el valor de las exportaciones en USD. Se calcula el precio del bien (P_{it}) como el valor de las exportaciones dividido por su peso.

Se usan microdatos de exportaciones⁸ de la *Dirección de Metodología y Producción Estadística* (DIMPE) y del *Departamento Administrativo Nacional de Estadística* (DANE). Se armonizaron los bienes especificados en los microdatos usando el correspondiente diccionario creado por el DANE que asocia los 12.780 bienes (clasificación POSAR⁹) con 499 códigos de actividad de la “*Clasificación Industrial Internacional Uniforme*” (Clases CIIU Rev. 4 AC). Luego, se agruparon las actividades CIIU bajo 392 productos (Clases CPC Vers. 2 AC) y 67 productos (Divisiones CPC 2.0 A.C.) del “*Sistema de Cuentas Nacionales*” especificado en las tablas de Oferta y Uso (SUT) para Colombia.¹⁰

⁸ Fuente: http://microdatos.dane.gov.co/index.php/catalog/472/get_microdata

⁹ POSAR es el sistema de clasificación de importaciones y exportaciones usado en el DIMPE a nivel básico de 10 dígitos. Se usa para identificar productos/insumos.

¹⁰ *Nomenclatura de clasificaciones DANE* en: <https://www.dane.gov.co/index.php/sistema-estadistico-nacional-sen/normas-y-estandares/nomenclaturas-y-clasificaciones>.

Se estima la ecuación (A26) a su nivel básico de 10 dígitos (clasificación POSAR) en ecuaciones separadas para cada uno de los 392 productos (Clases) y 67 productos (Divisiones). Se está interesado en la elasticidad precio de la demanda de exportaciones a nivel de 392 productos (Clases); sin embargo, cuando los coeficientes estimados para este nivel de agregación fueron no estadísticamente significativos, se usaron los coeficientes al nivel de agregación de 67 productos (Divisiones). Los microdatos de exportaciones DIMPE/DANE especifican únicamente bienes agrícolas, minerales, y manufactureros, lo cual comprende 140 productos (Clases) y 37 productos (Divisiones). La elasticidad precio de la demanda de exportaciones para los productos de servicios iguala es coeficiente estimado en la ecuación (A26) en una sola regresión para los 12.780 bienes (POSAR). Finalmente, se transforman los coeficientes de elasticidad exportación-demanda a 392 productos en 54 sectores del modelo CEER usando la matriz de participaciones de mercado (generada por la Tabla de Producción).

La elasticidad precio de demanda de exportaciones refleja el cambio en la demanda extranjera causada por la variación del precio FOB en moneda extranjera. La elasticidad exportación-demanda es negativa, i.e., en la ecuación (A8), las exportaciones son una función negativa de sus precios en moneda extranjera en el mercado mundial. Dixon y Rimmer (2010) discuten la sensibilidad de los resultados de los modelos CGE a las elasticidades exportaciones-demanda. El análisis de sensibilidad o los resultados de las simulaciones históricas son usadas para evaluar los parámetros estimados en los modelos econométricos (Dixon y Rimmer, 2013).

Tabla A2. Parámetros comportamentales del Modelo CEER

<i>Sector</i>	<i>Regional trade elasticities (Equation 6)</i>	<i>International trade elasticities (Equation 7)</i>	<i>Export demand elasticities (Equation 13)</i>
S1	2.016	1.008	-0.407
S2	2.016	0.000	0.000
S3	1.227	0.614	-0.526
S4	1.185	0.593	-0.425
S5	0.664	0.332	-1.793
S6	3.022	1.511	-0.420
S7	4.277	2.139	-0.478
S8	0.111	0.056	-0.040
S9	0.913	0.457	-1.658
S10	3.872	1.936	-0.678
S11	3.239	1.620	-0.864
S12	2.995	1.497	-2.076
S13	2.155	1.077	-0.989
S14	3.088	1.544	-0.721
S15	2.328	1.164	-0.634
S16	2.025	1.012	-0.880
S17	2.513	1.256	-0.880
S18	1.233	0.617	-1.433
S19	3.489	1.744	-0.662
S20	3.779	1.890	-1.116
S21	3.358	1.679	-1.288
S22	2.771	1.386	-0.883
S23	0.656	0.328	-0.353
S24	3.021	1.511	-0.675
S25	3.218	1.609	-0.768
S26	2.831	1.416	-1.518
S27	2.909	1.455	-1.046
S28	3.818	1.909	-0.630
S29	1.282	0.641	-0.273
S30	1.955	0.978	-0.499
S31	3.651	1.826	-0.600
S32	3.673	1.836	-0.523
S33	2.135	1.067	-0.663
S34	2.794	1.397	-0.694
S35	2.724	1.362	-0.678
S36	1.436	0.718	-0.369
S37	0.472	0.236	-0.170
S38	1.865	0.933	-0.682
S39	1.900	0.950	-0.694
S40	1.900	0.950	-0.694
S41	0.391	0.196	-0.143
S42	1.900	0.950	-0.694
S43	1.047	0.523	-0.383
S44	1.900	0.950	-0.694
S45	1.908	0.954	-0.698
S46	1.864	0.932	-0.671
S47	1.884	0.942	-0.646
S48	0.312	0.156	-0.114
S49	1.699	0.849	-0.623
S50	1.863	0.931	-0.023
S51	1.081	0.540	-0.393
S52	1.695	0.847	-0.620
S53	1.753	0.877	-0.575
S54	0.000	0.000	-0.694

Fuente: Haddad *et al.* (2019).

Los estimadores empíricos para algunos de los parámetros del modelo no están disponibles en la literatura. De modo que este modelo se basa en las “mejores aproximaciones” basadas en valores típicos empleados en modelos similares. La elasticidad de sustitución entre factores primarios, $\sigma 3_{(g+1)}^{(1j)r}$ en la ecuación (A3) se estableció en 0,5. La versión actual del modelo corre bajo rendimientos constantes a escala tal que se establecen en 1,0 los valores

de $\mu_{(g+1,\bullet)}^{(1j)r}$ en la ecuación (A4). Las participaciones marginales del presupuesto en el consumo regional de los hogares, $\beta_{(i)}^r$ en la ecuación (A1), fueron calibrados desde la Información insumo-producto y las elasticidades de gasto de Cortés y Pérez (2010), ajustando las participaciones presupuestales promedio con los estimadores para los diferentes grupos de bienes y servicios¹¹, y el parámetro de subsistencia $\gamma_{(i)}^r$, también en la ecuación (A6), asociada con un parámetro Frisch igual a -1,6578. La razón de la tasa de retorno bruta a neta, $\psi_{(j)}^r$ en la ecuación (A16), se estableció en 1,20. Finalmente, se estableció en 3,0184 el parámetro para la sensibilidad del crecimiento del capital a cambios en las tasas de retorno, $\varepsilon_{(j)}^r$ en la ecuación (A18).

¹¹ Las elasticidades de gasto usadas en la calibración: alimentos (0,786), salud (0,973), vestuario (1,025), vivienda (1,043), servicios personales y otros bienes (1,131), transporte (1,115), cultura y educación (1,186).