



Universitat Autònoma de Barcelona

ADVERTIMENT. L'accés als continguts d'aquesta tesi queda condicionat a l'acceptació de les condicions d'ús establertes per la següent llicència Creative Commons:  http://cat.creativecommons.org/?page_id=184

ADVERTENCIA. El acceso a los contenidos de esta tesis queda condicionado a la aceptación de las condiciones de uso establecidas por la siguiente licencia Creative Commons:  <http://es.creativecommons.org/blog/licencias/>

WARNING. The access to the contents of this doctoral thesis it is limited to the acceptance of the use conditions set by the following Creative Commons license:  <https://creativecommons.org/licenses/?lang=en>



Universitat Autònoma de Barcelona

Actividad económica y emisiones de CO₂: Ensayos empíricos para el Ecuador

Tesis para optar por el grado de Doctor en Economía

Autor: Edwin Vladimir Buenaño Hermosa

Director: Dr. Emilio Padilla

Departamento de Economía Aplicada

Doctorado en Economía Aplicada

Junio, 2017

Dedicatoria

*A toda mi familia,
en especial a mis padres Fabián y Laura*

Agradecimiento

Quiero empezar agradeciendo a mis profesores Emilio y Vicente quienes me abrieron las puertas desde un inicio para cumplir con el objetivo de avanzar en mis estudios. Durante estos años me han brindado no sólo su conocimiento y experiencia sino además la motivación y confianza para continuar con el desarrollo de la investigación, muchas gracias por toda la ayuda brindada durante este tiempo.

A los profesores del Departamento de Economía Aplicada de la Universidad Autónoma de Barcelona, quienes fueron una fuente de conocimiento importante durante mi formación académica y de quienes guardo gratos recuerdos. Así también, agradezco al personal administrativo del Departamento, en particular a Pilar e Imma, quienes me han brindado su ayuda en cada gestión que debía realizarse.

Quiero agradecer a mis compañeros y amigos del programa. Tuve la suerte de conocer personas que estuvieron dispuestas a compartir más allá de un aula de clase, con quienes formamos un grupo de amigos que permitieron que la experiencia recorrida sea una de las más enriquecedoras. Un agradecimiento especial para David y Andrés, ya que gracias a su valiosa ayuda ha sido posible llegar hasta este punto.

También quiero agradecer a las personas que me ayudaron con información muy valiosa para el desarrollo de esta investigación. Amigos del BCE y del INEC que fueron muy generosos en facilitarme los datos que necesité. En especial el agradecimiento para Mauricio y Juan Carlos, ya que sin su ayuda hubiese sido más difícil avanzar con la investigación.

Un agradecimiento especial a todos mis amigos, quienes me han motivado continuamente y me han brindado su apoyo y ayuda en los momentos más difíciles. En particular para Silvi, quien fue una de las primeras personas en motivarme para lograr este objetivo, y a lo largo de estos años me ha brindado siempre su apoyo, consejo y su tiempo.

Quiero agradecer también al programa de becas SENESCYT, quienes financiaron mi permanencia en el programa de doctorado correspondiente a la etapa de escolarización en España.

Gracias a todos quienes de una u otra manera han influido para lograr este trabajo y este avance en mi carrera, pero que por motivos de espacio no son mencionados en estos agradecimientos. Tengo la fortuna de contar con la amistad de muchas personas que sienten este logro como algo propio.

Finalmente, el agradecimiento más importante para mi familia, ellos son la principal fuente de inspiración y motivación para avanzar.

Contenido

1. Introducción	13
1.1. Algunas ideas básicas de economía y medioambiente	13
1.2. Motivación, planteamiento del problema y objetivos.....	15
1.3. Estructura de la investigación	17
1.4. Bibliografía	21
2. Aplicación de herramientas input-output para la identificación de sectores clave en las emisiones de CO ₂ en Ecuador.....	25
2.1. Introducción	26
2.2. Metodología para el análisis de sectores clave	29
2.3. Descripción de los datos	35
2.4. Principales resultados y discusión	36
2.4.1. Efectos Directos y Totales.....	36
2.4.2. Sectores clave	40
2.4.3. Componentes propio y puro de las actividades relevantes en la emisión de CO ₂	44
2.5. Conclusiones	49
2.6. Bibliografía	52
3. Descomposición de emisiones de CO ₂ para el Sector Servicios del Ecuador: un análisis mediante subsistemas input-output.....	75
3.1. Introducción	76
3.2. Metodología.....	78
3.3. Descripción de los datos	86
3.4. Resultados obtenidos	86
3.4.1. Análisis general de las emisiones de CO ₂ del subsistema servicios.....	86
3.4.2. Análisis de la descomposición de las emisiones de CO ₂ del subsistema servicios.....	88
3.4.3. Análisis de políticas para actividades influyentes.....	93
3.5. Conclusiones	98
3.6. Bibliografía	100

4. Descomposición estructural de las emisiones totales de CO ₂ del subsistema servicios en Ecuador entre 2007 y 2013	107
4.1. Introducción	108
4.2. Metodología para la descomposición estructural de los componentes de un subsistema	110
4.2.1. Análisis de subsistemas	111
4.2.2. Descomposición estructural del subsistema	113
4.4. Principales resultados y discusión	119
4.4.1. Cambios en los efectos del subsistema.....	120
4.4.2. Descomposición estructural de los componentes de las emisiones totales de CO ₂ del subsistema servicios.	124
4.5. Conclusiones	130
4.6. Bibliografía	134
5. Conclusiones generales	147
5.1. Bibliografía	152

Índice de Tablas

Tabla 2.1. Las 10 actividades con mayor peso en las emisiones directas y totales de CO2 (Kton).	37
Tabla 2.2. Clasificación de las actividades económicas en sectores clave, relevantes de demanda u oferta.	43
Tabla 3.1. Emisiones directas y totales de CO2 generadas por las actividades del sector servicios.	87
Tabla 3.2. Descomposición de las emisiones totales del subsistema servicio por actividad económica.	90
Tabla 3.3. Descomposición del componente spillover externo y su relación con actividades que no son parte del subsistema.	95
Tabla 4.1. Emisiones totales de CO2 desagregado por actividades del subsistema servicios para los años 2007 y 2013.	120
Tabla 4.2. Componentes de la emisión total de CO2 del subsistema servicios.	121
Tabla 4.3. Variación de los componentes de la emisión total de CO2 del subsistema servicios por actividad económica.	122
Tabla 4.4. Efectos de la descomposición estructural del subsistema servicios, desagregado por componente de las emisiones totales.	124

Índice de Figuras

Figura 2.1. Emisiones directas y totales para los sectores primario, manufacturero y servicios. (en Kton de CO ₂)	39
Figura 2.2. Sectores con multiplicadores ponderados de demanda y oferta mayores a la media.	41
Figura 2.3. Componentes puro y propio de los backward y forward linkages	45
Figura 3.1. Descomposición de las emisiones totales del subsistema servicio a nivel agregado (en Kton de CO ₂).....	89
Figura 4.1. Descomposición del componente escala (CE) (en KtCO ₂).	127
Figura 4.2. Descomposición del componente spillover interno (CSI) (en KtCO ₂).	128
Figura 4.3. Descomposición del componente spillover externo (CSE) (en KtCO ₂).....	129

Índice de Anexos

Anexo 2A.1. Metodología para la estimación de las emisiones de CO2 por actividad económica en el Ecuador para el año 2013.	58
Anexo 2A.2. Matriz T de Transformación de energía primaria en energía final para Ecuador para el año 2013.....	59
Anexo 2A.3. Estimación de consumo final de energía por actividad económica para Ecuador para el año 2013.	61
Anexo 2A.4. Estimación de emisiones de CO2 por actividad económica para Ecuador para el año 2013.	63
Anexo 2A.5. Clasificación de las actividades económicas de la matriz IO.	65
Anexo 2A.6. Emisiones directas y total de CO2 por actividad económica.....	66
Anexo 2A.7. Clasificación de las actividades económicas en sectores clave, relevantes de demanda u oferta.	68
Anexo 2A.8. Comparación de tipología de clasificación de sectores en función de la matriz de Ghosh y Leontief para cálculo de Forward Linkage.....	70
Anexo 2A.9. Componentes puro y propio de los backward y forward linkages.....	72
Anexo 3A.1. Emisiones totales frente a emisiones por ventas a otras actividades fuera del subsistema.....	104
Anexo 3A.2. Desagregación de emisiones por ventas a otras actividades fuera del subsistema (para comercio, transporte y servicios prestados a empresas).	105
Anexo 4A.1. Explicación del método RAS utilizado para transformar una matriz IO de dólares corrientes a dólares constantes.....	139
Anexo 4A.2. Emisiones directas y total de CO2 por actividad económica para 2007 y 2013.	142
Anexo 4A.3. Emisiones por componentes de las emisiones totales del subsistema, desagregado por actividad económica para 2007 y 2013.	144
Anexo 4A.4. Descomposición de los efectos escala, tecnológico y demanda para componente de las emisiones totales del subsistema, desagregado por actividad económica para 2007 y 2013.	145

1. Introducción

1.1. Algunas ideas básicas de economía y medioambiente

El estudio de la economía y el medioambiente tiene sus orígenes desde las primeras escuelas de pensamiento económico. Los fisiócratas, con su principal figura Quesnay, consideraban que el crecimiento económico tenía correspondencia con el crecimiento físico. Trataron de conciliar las ideas de valor y dinero con la economía de la naturaleza, visualizándolo como un solo sistema. En palabras de Naredo (2004, p. 86), en aquella época: *“La economía se afianzó como disciplina asumiendo la tarea de promover y orientar ese crecimiento de las riquezas generadas por la Madre-Tierra”*.

Con el pasar del tiempo, la ciencia económica centró sus objetivos en temas como la producción y el crecimiento. Surge la economía del bienestar y la preocupación recae en la maximización de la utilidad. El concepto de riqueza, otrora relacionado a la naturaleza, se limitó a las cosas “útiles”, siendo éstas aquellas que tienen valor de cambio (Teruel, 2003). Bajo este esquema, se construye un sistema paralelo al diseño original de Quesnay y desaparece por completo el rol del mundo físico (Naredo, 2004). El principal factor para el funcionamiento de este esquema lo constituye el stock de capital, ya que todo lo demás es reemplazable. Así, los principios que fundamentaron el pensamiento económico sufrieron un sesgo. Se rompió el vínculo entre economía y medioambiente y el interés recayó sólo en una parte de la ecuación. La economía fue aislada de la naturaleza y del mundo físico, creándose un sistema cerrado cuyo fin último era permanecer en constante equilibrio.

Las críticas a estas visiones vuelven a tomar fuerza durante los años 70, en un contexto marcado por la recesión y el encarecimiento de los combustibles, se retoman cuestionamientos sobre la forma de concebir el crecimiento y desarrollo. Autores como Georgescu-Roegen, introducen conceptos de física al análisis económico; este autor califica a la entropía como la más económica de todas las leyes naturales, ya que sin entropía no habría ni escasez de energía ni de materiales, no habría desgaste. Considera que, para que exista crecimiento económico debe utilizarse inevitablemente recursos no renovables. De

esta manera, si estos recursos son finitos no podría existir un crecimiento económico infinito (Georgescu-Roegen, 1971). Autores como Daly (1997 y 1999) plantean la necesidad de revisar los modelos de crecimiento económico imperante, así como reconocer el papel de los recursos naturales y su complementariedad en el proceso económico. Estos autores lideran la crítica a la ciencia económica desde lo que se conoce como la *economía ecológica*. Bajo esta corriente se considera a los procesos económicos como parte integrante de los ecosistemas, por lo tanto, no existe una separación entre el proceso productivo que realiza el hombre y el medio en el que se lo lleva a cabo. Esta corriente busca analizar y comprender las interrelaciones que se producen en este sistema, aceptando que se trata de un sistema interdisciplinario e integrativo, (Kapp, 1978). La economía ecológica va más allá de una rama de la economía que conjugue la economía con la ecología. Para varios autores (Bookchin, 1978; Gudynas, 1991; Alier, 1998; Aguilera y Alcántara, 2004), la modificación de los sistemas biológicos por parte los sistemas socioeconómicos obligan a generar un proceso de retroalimentación entre ambos sistemas; sólo la creación de este nuevo conocimiento permitiría un uso adecuado de los recursos, y esto será posible siempre y cuando se construyan nuevas leyes, reglas o normas sociales de comportamiento, lo que podría considerarse como una “*ecología social*”.

Por otra parte, también surgieron autores que sin alejarse de la visión de la economía neoclásica empezaron a analizar los temas ambientales, estos autores hacen sus desarrollos desde lo que se conoce como la *economía ambiental*. Esta corriente centra su interés en el estudio de las externalidades y la asignación intergeneracional óptima de los recursos no renovables (Aguilera y Alcántara, 2004). Para ello utiliza todo el instrumental analítico de la economía convencional, razonando en términos de precios, costes y beneficios monetarios (Navarro, 2012). Por tanto, el objetivo de la economía ambiental no está en solucionar los problemas ambientales, sino en justificar la toma de decisiones como lo haría la economía tradicional, desde una óptica racional.

En el presente trabajo se pretende hacer uso de metodologías rigurosas que permitan comprender, de mejor manera, las interrelaciones existentes entre el aparato productivo y el medioambiente, con el afán de generar información útil para la toma de decisiones. Para

ello, se integran el análisis de la estructura productiva con el estudio de uno de los flujos físicos más relevantes asociados con las diferentes actividades económicas, las emisiones de CO₂.

1.2. Motivación, planteamiento del problema y objetivos.

El Ecuador está considerado como uno de los países más megadiversos del mundo. Sin embargo, a pesar de tener alternativas distintas de desarrollo, desde los años 70 no ha escapado al camino del extractivismo, así como a políticas que fomentan el consumo. Muestra de lo anterior es que el consumo de energía entre 2004 y 2013 creció en un 49%, provocando un incremento en las emisiones de CO₂ del 48% (MICSE, 2014).

Este continuó incremento en el consumo ha generado consecuencias sobre la naturaleza. Entre 1960 y 2006 el Ministerio de Ambiente (MAE) reportó un incremento de la temperatura media anual de 0,8 °C. Se pronostica que estos cambios tendrían impactos sobre el clima, como: la disminución de los suministros de agua para la sierra y amazonia e inundaciones en la costa del país, esto a su vez generaría consecuencias negativas en temas productivos y económicos (MAE, 2011).

Ante esa realidad, la nueva constitución del Ecuador, redactada en el 2008, estableció por primera vez garantías para los derechos de la naturaleza y la promoción de la sostenibilidad ambiental (Constitución de la República del Ecuador, 2008), colocando al país a la vanguardia de estas temáticas. Así también, el Plan Nacional del Buen Vivir (PNBV 2013-2017), que se constituye en la hoja de ruta de la planificación nacional, propone la transformación de sus matrices productiva y energética para enmarcarlas en un contexto de respeto a los derechos de la naturaleza y de justicia intergeneracional (SENPLADES, 2013).

En cuanto a la matriz energética, el PNBV 2013-2017 señala que los desarrollos estarán basados en energías de fuentes renovables. Con ello se espera que para el año 2021 estas fuentes representen el 69% de la generación de la electricidad. También señala la reducción

drástica de la importación de combustibles mediante el cambio en la estructura de refinación, el incremento de la producción de derivados livianos, mejoras tecnológicas, entre otros (SENPLADES, 2013).

En lo referente a la matriz productiva, el PNBV 2013-2017 propone el impulso a los sectores estratégicos y la redefinición de la composición de la oferta de bienes y servicios. Según el PNBV 2013-2017, para el año 2030 la meta es exportar un 40% de servicios, en su mayor parte de alto valor agregado (frente a un 7% que registraba al año 2012), 30% de bienes industrializados y 30% de productos primarios (SENPLADES, 2013).

Si bien el PNBV 2013-2017 parece estar sustentado en un diagnóstico claro sobre la problemática productiva, social y medioambiental, la articulación de políticas que coadyuven a conseguir todos esos objetivos es compleja. En la última década, donde el gobierno central marcó las pautas en temas de impulso a la economía mediante políticas de gasto e inversión, pero sin cambios profundos en la estructura productiva y sin la consolidación de una nueva matriz energética, los resultados en términos ambientales difícilmente estarían alineados con los objetivos planteados.

Analizar toda la problemática ambiental del país es un tema complejo que escapa a los alcances de este estudio. Sin embargo, ante una situación de continuo deterioro medioambiental, en esta trabajo se pretende abordar una parte de la problemática; en especial, aquella relacionada a las emisiones de CO₂ generadas por el aparato productivo. Bajo ese contexto, es pertinente preguntarse lo siguiente:

¿Qué actividades económicas son las más influyentes en la generación de emisiones de CO₂ en el Ecuador?

¿Qué tan influyente es el sector terciario o de servicios en la generación de emisiones de CO₂ en el país y cuáles son los canales a través de los que se generan sus emisiones?

¿Cuáles son las razones estructurales que están detrás de la evolución de las emisiones de CO₂ en el país, en especial las vinculadas de manera directa o indirecta al sector servicios?

Así, el objetivo general de la investigación es profundizar sobre las relaciones existentes entre las actividades productivas y la generación de emisiones de CO₂ en el Ecuador.

Para conseguir ese objetivo general, se plantean tres objetivos específicos.

1. Estimar las emisiones de CO₂ por actividad económica y determinar los sectores clave en la generación de emisiones para el Ecuador, mediante multiplicadores input-output.
2. Determinar la responsabilidad, directa e indirecta, del sector servicios en la generación de emisiones de CO₂ en el Ecuador y los canales a través de los cuales se generan dichas emisiones, mediante el análisis de subsistemas input-output.
3. Determinar los factores que influyen en la evolución de las emisiones totales de CO₂ del sector servicios y en la evolución de los distintos canales a través de los cuales se generan dichas emisiones, mediante la combinación de análisis de subsistema input-output y análisis de descomposición estructural.

Para ello, se utilizan las metodologías basadas en los modelos input-output (IO) y sus extensiones al mundo ambiental. Cabe señalar que, de la revisión de literatura efectuada, no se encontró evidencia previa de estudios similares para el Ecuador.

1.3. Estructura de la investigación

El documento consta de tres capítulos en los que se desarrollan aplicaciones empíricas para el Ecuador en materia de economía y medio ambiente. De esta forma, el lector podrá encontrar lo siguiente:

El primer capítulo empieza por estimar un vector de emisiones de CO₂ para las 71 actividades que conforman el aparato productivo del país. Estos datos constituyen un primer aporte a la generación de información en materia ambiental para el país, ya que el

Ecuador carece de cifras oficiales sobre el tema. Para ello, se emplearon metodologías propuestas por Alcántara y Roca (1995) y Alcántara et al. (2008), donde se establecen relaciones energéticas input-output por tipo de energía y actividad económica. La parte central del capítulo analiza la relación entre la economía y medioambiente a través de la identificación de actividades económicas que, debido a su propia producción o su interrelación con otras actividades, son las más influyentes en las emisiones de CO₂. Además, las emisiones de cada actividad se desagregan por tipo de efecto (propio y puro) lo que permite explicar de mejor manera dicha interrelaciones. Los resultados muestran que existe un total de 19 actividades relevantes en las emisiones de CO₂, de las cuales 8 pueden considerarse como sectores clave, estas 8 son responsables del 60% de las emisiones totales que genera el aparato productivo. Un hallazgo que da pie para seguir profundizando sobre la temática es que 4 de esas 8 actividades pertenecen al sector servicios, convirtiéndolo en un sector relevante para el análisis en temas relacionados con la emisión de CO₂.

Dada la importancia que tiene el sector servicios para las estrategias políticas, económicas y ambientales, el segundo capítulo profundiza en el análisis de las emisiones de CO₂ generadas por las actividades pertenecientes a este sector. La metodología utilizada se denomina análisis de “subsistemas input-output”, la cual permite ahondar en el análisis específico de un sector o grupo de sectores sin tener que desvincularlo del resto del aparato productivo (Alcántara, 1995). A través de ésta metodología se pueden establecer una serie de canales a través de los cuales se generan las emisiones del sector servicios, resultado de una descomposición de las emisiones totales (directas e indirectas) generadas. Si bien, la descomposición utilizada sigue la línea de los desarrollos efectuados por Alcántara y Padilla (2009), Navarro y Alcántara (2010), Navarro (2012) y Piaggio et al. (2015), en el presente trabajo se plantea una forma alternativa, que resulta más directa, para la obtención de los componentes de las emisiones totales.

Los resultados muestran la importancia del sector servicios en materia de generación de emisiones de CO₂, al ser responsable de una tercera parte de las emisiones generadas por todo el aparato productivo. Gracias a la metodología empleada, se puede cuantificar la responsabilidad directa e indirecta del sector; se constata que, a pesar de ser un sector

supuestamente “inmaterial”, su influencia en la generación de emisiones de CO₂ no es trivial, siendo estos hallazgos semejantes a los encontrados para otros países. La metodología permite obtener el peso que ejerce cada actividad sobre la generación total de emisiones (directa e indirecta), lo que brinda información útil para la toma de decisiones en materia de política ambiental. Por ejemplo, se revela que, actividades como el comercio, las telecomunicaciones o la propia administración pública son altamente influyentes en la generación de emisiones de CO₂.

El tercer y último capítulo pretende explicar los factores que están detrás de la evolución de las emisiones de CO₂ para el sector servicios en el Ecuador, tomando como período de referencia los años 2007 y 2013. La metodología empleada es una combinación del análisis de subsistemas input-output con el análisis de descomposición estructural. La combinación de ambas técnicas permite establecer los elementos que están detrás de la evolución de emisiones de este gas de efecto invernadero. A pesar de que la aplicación metodológica sigue la línea utilizada por Butnar y Llop (2011); Zhang y Liu (2014); y Yuan y Zhao (2016), a diferencia de los autores mencionados, en este trabajo se realiza una descomposición estructural sobre un número mayor de componentes en que se desagregan las emisiones totales (directas e indirectas) del sector servicios, obteniendo un mayor poder explicativo para cada componente.

Los resultados muestran que el principal componente para el incremento de las emisiones totales de CO₂ del sector servicios fue la expansión de la demanda, lo cual se asemeja a estudios similares efectuados para otras economías. De igual forma, se observa que factores que ayudarían a disminuir la contaminación ambiental como mejoras tecnológicas o eficiencia, se presentan sólo en ciertas actividades del sector servicios, pero en términos generales su impacto positivo es muy pequeño en comparación con el incremento de emisiones de CO₂ ocasionado por la expansión de la demanda. Destacan algunos resultados que no se han podido observar en otros estudios y que son visibles para el caso analizado gracias a la metodología empleada. Por ejemplo, las relaciones productivas generadas al interior del propio subsistema tuvieron una aparente mejora en términos de eficiencia y tecnología que, compensó el efecto negativo de la expansión de la demanda.

Para finalizar esta introducción, es importante señalar que, a pesar de que Ecuador es un país pionero en garantizar los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad ambiental, territorial y global, queda mucho trabajo por delante en materia ambiental. La solución a la problemática existente en el país apenas empieza con las declaraciones constitucionales y con la implementación de algunas políticas emprendidas en materia ambiental, productiva y energética. Por ello resultan relevantes los aportes que puedan brindarse desde distintas vertientes, entre ellas la económica. Así, las metodologías empleadas en esta investigación bien podrían ser utilizadas para el análisis de otros elementos relevantes en materia ambiental como el uso del suelo y agua, u otros temas relacionados al mundo energético. Aquí se pretende mostrar las bondades de las herramientas utilizadas y abonar a la discusión mediante la generación de información complementaria.

1.4. Bibliografía

- Aguilera, F. y Alcántara, V., (1994), *“De la economía ambiental a la economía ecológica”*, Barcelona, Colección Economía Crítica. Icaria y Fuhem
- Alcántara, V. (1995), “Economía y contaminación atmosférica: hacia un nuevo enfoque desde el análisis input–output”, Tesis doctoral Universidad de Barcelona.
- Alcántara, V. y Padilla, E. (2009), “Input–output subsystems and pollution: An application to the service sector and CO2 emissions in Spain”. *Ecological Economics*. Vol. 68, pp. 905–914.
- Alcántara, V. y Roca, J (1995), “Energy and CO2 emissions in Spain. Methodology of analysis and some results for 1980-90”. *Energy Economics*, Vol. 17, No. 3, pp. 221–230.
- Alcántara, V. Padilla, E. y Roca, J (2008), “De los consumos finales de energía a los requerimientos de energía primaria y las emisiones de CO2. Aproximación a partir de los balances de energía. Aplicación a Cataluña, 1990-2005”, XI Jornadas de Economía Crítica, Bilbao.
- Bookchin, M., (1993). “Por una sociedad ecológica”, Ed. Gili. Barcelona,
- Butnar, I. y Llop, M. (2011). “Structural decomposition analysis and input-output subsystems: Changes in CO2 emissions of Spanish service sectors (2000-2005)”. *Ecological Economics*, Vol. 70, pp. 2012–2019.
- Chang, Y. y Lin, S. (1998). “Structural decomposition of industrial CO₂ emission in Taiwan: an input-output approach”, *Energy Policy*, Vol. 26, No. 1, pp. 5 - 12.

- CONELEC (2013) “Plan Maestro de Electrificación 2013 – 2022”, CONELEC, Quito – Ecuador
- Costanza, R. y Daly, H., (1992), “Natural Capital and Sustainable Development”, *Conservation Biology*, Vol. 6, No. 1, pp. 37-46.
- Daly, H., (1997), “Criterios operativos para el desarrollo sostenible”, En Daly, H. y Schutze, C., *Crisis ecológica y sociedad*, Valencia: Ed. Germania.
- Daly, H., (1999), “Ecological Economics and the Ecology of Economics: Essays in Criticism”, Cheltenham: E. Elgar.
- Georgescu-Roegen, N., (1971), “The Entropy Law and the Economic Process”, Cambridge Mass, Harvard University Press.
- Gudynas, E., y Graciela, E., (1991), “La Praxis por la Vida - Introducción a las metodologías de la Ecología Social”, CIPFE - CLAES - NORDAN, Montevideo.
- Kapp, K., (1978), “El carácter de sistema abierto de la economía y sus implicaciones”, pp. 126-146 de *La economía del futuro*. Doepfer, K. (Ed.), FCE, México.
- Kelman, H., (1982), “Ethics Issues in Different Social Science Methods”, En Tom L. Beauchamp, Ruth R. Faden, R. Jay Wallace, Jr., LeRoy Walters (editors), *Ethical issues in social science research* (pp. 40-98), Baltimore and London: The Johns Hopkins University Press.
- MAE (Ministerio del Ambiente), (2011), “Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático”, Quito: MAE.
- Martínez Alier, J., (1995), “Los principios de la Economía Ecológica”, Madrid. Fundación Argentaria-Visor distribuciones.

- MICSE (Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos), (2014), “Balance energético 2014”, Quito: MICSE.
- Navarro, F. y Alcántara, V. (2010) “Las emisiones de metano (CH₄) en el subsistema agroalimentario catalán: un análisis input-output alternative”, *Economía Agraria y Recursos Naturales*, Vol. 10, No. 2, pp. 25–39.
- Naredo, J., (1987), “La economía en evolución”, Madrid. Siglo XXI de España Editores s.a. 1996.
- Naredo, J., (2004), "La economía en evolución: invento y configuración de la economía en los siglos XVIII y XIX y sus consecuencias actuales", *Manuscrits: revista d'història moderna*, No. 22, pp. 83-117.
- Navarro, F (2012), “Modelos multisectoriales input-output en el estudio de los impactos ambientales: Una aplicación a la economía de Cataluña”, Tesis para obtener el título de doctor en economía aplicada, UAB, España.
- Piaggio M., Alcántara V. y Padilla E. (2015) “The materiality of the immaterial: Service sectors and CO2 emissions in Uruguay”, Vol. 110, pp. 1–10.
- SENPLADES (2013). “Plan Nacional de Desarrollo / Plan Nacional para el Buen Vivir 2013-2017”. Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo.
- Teurel, M., (2003), “Apuntes de Economía Ecológica”, *Boletín Económico de ICE* No. 2767.
- Urteaga, L., (1985), “La economía ecológica de Martínez Alier”, *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, Vol. 7, pp. 193-205.

Yuan, R. y Zhao, T., (2016), “Changes in CO2 emissions from China's energy-intensive industries: a subsystem input-output decomposition analysis”, *Journal of Cleaner Production* Vol. 117, No. 20, pp. 98-109.

Zhang, G. y Liu, M. (2014), “The Changes of Carbon Emission in China’s Industrial Sectors from 2002 to 2010: A Structural Decomposition Analysis and Input-Output Subsystem”, Hindawi Publishing Corporation, Article ID 798576.

2. Aplicación de herramientas input-output para la identificación de sectores clave en las emisiones de CO₂ en Ecuador.

Resumen

El presente capítulo analiza la relación entre la economía ecuatoriana y la contaminación ambiental desde un enfoque input-output, identificando los sectores clave en las emisiones de CO₂. La metodología empleada determina las actividades económicas que, debido a su propia producción o su interrelación con otras actividades, son las más influyentes en la generación de emisiones. Los resultados muestran que además de actividades consideradas tradicionalmente como contaminadoras (transporte, electricidad, derivados del petróleo), existen otras como el comercio, la construcción, las telecomunicaciones o los servicios administrativos del gobierno, que también son altamente influyentes en la generación de emisión de todo el aparato productivo.

En total, 19 de las 71 actividades productivas son consideradas como relevantes en la generación de emisiones de CO₂, 8 de las cuales pueden considerarse como sectores clave; es decir, que son relevantes por el efecto de arrastre y empuje que ejercen sobre el resto de la economía. Estas 8 actividades son responsables del 60% de las emisiones totales. Los resultados también evidencian que la mitad de estas 8 actividades pertenecen al sector servicios, lo que convierte al sector terciario en un actor relevante para el análisis de la generación de emisiones de CO₂. Gracias a las metodologías utilizadas, también es posible establecer acciones que pueden llevarse a cabo en temas de política ambiental.

Palabras clave: análisis input-output, emisiones de CO₂, sectores clave.

2.1. Introducción

El Acuerdo de París, suscrito por consenso entre los 195 países miembros de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático, se suma a compromisos alcanzados anteriormente como la cumbre de Río de 1992, el Protocolo de Kyoto, la Conferencia de las Partes (COP 17), entre otros. Estos acuerdos ponen de manifiesto el compromiso de los líderes del mundo con el desarrollo sostenible que busca un equilibrio entre las dimensiones ambiental, social y económica.

El Ecuador, además de formar parte de varios de estos acuerdos mundiales, ha desarrollado el concepto del “Buen Vivir” como hoja de ruta para su crecimiento y desarrollo (SENPLADES, 2013). Bajo este concepto la dimensión ambiental cumple un rol fundamental para alcanzar dichos objetivos. No obstante, lograr un adecuado equilibrio entre las dimensiones económica, ambiental y social, puede ser muy complejo.

El presente plantea la utilización del enfoque input-output (IO) para determinar la relación entre la estructura económica y los flujos materiales. Esta herramienta brinda información que permite comprender, de mejor manera, las estructuras existentes entre las relaciones productivas y los efectos que su interrelación generan sobre el medioambiente.

El modelo inicial de Leontief ha sido desarrollado y utilizado en el estudio y aplicación de múltiples temas relacionados con la economía, como: trabajo, comercio, energía o temas ambientales. Como señala Hoekstra (2010), entre 1970 y principios de los 90’s las investigaciones relacionadas con el modelo de Leontief se concentraban principalmente en el tema energético. Con el tiempo se fueron incrementando, de manera considerable, los análisis extendidos al medioambiente, los cuales en la actualidad ocupan la mayoría de investigaciones relacionados con el calentamiento global.

Respecto a la determinación de sectores clave, las primeras propuestas que se presentaron fueron las de Rasmussen (1956), quien define los coeficientes “*de dispersión y de absorción*”, mediante las relaciones directas e indirectas que existen entre los distintos sectores. De forma casi paralela surge la propuesta de Chenery y Watanabe (1958), quienes presentaron sus “*multiplicadores directos*” de actividad, que cuantifican sólo efectos

directos mediante la matriz de coeficientes técnicos. Por su parte, Hirschman (1958) utiliza las ideas de los autores antes mencionados y plantea la noción de encadenamiento y de la importancia que tienen ciertas ramas debido al potencial efecto que ejercen sobre el resto de actividades. El mismo autor señala la importancia que pueden tener sobre la economía los distintos tipos de encadenamientos entre sectores hacia atrás y hacia adelante. Más adelante, Hazari (1970), en un trabajo empírico sobre la economía de la India y utilizando los índices de Rasmussen, planteó la idea de ponderar los sectores de acuerdo al peso relativo que tienen en la economía. De esta forma, introduce la idea de “*multiplicadores ponderados*”. Por otro lado, surgieron cuestionamientos sobre la forma de estimación de los encadenamientos hacia adelante. Así, Jones (1976) plantea que debe utilizarse el modelo de oferta (Ghosh), en lugar de la inversa de Leontief, tal como fue la propuesta original de Rasmussen.

En resumen, la información contenida en una matriz (IO) permite detectar los “sectores clave” de una economía a partir del conjunto de interdependencias sectoriales, distinguiéndose dos tipos de encadenamientos hacia adelante (forward linkages) y hacia atrás (backward linkages). Los primeros surgen cuando un sector produce bienes y servicios que serán utilizados por otros como inputs intermedios, generando un efecto de “empuje”. Por otro lado, los encadenamientos hacia atrás permiten cuantificar la capacidad de un sector para provocar el desarrollo de otros, al utilizar los bienes producidos por éstos como inputs intermedios, provocando un efecto de “arrastre”. Por lo tanto, los sectores clave serán aquellos que tienen fuertes encadenamientos hacia atrás y hacia adelante (Ramos y García, 2002).

De manera general, la metodología de sectores clave puede aplicarse a cualquier vector de coeficientes sectoriales en el que se desee investigar. En el tema medioambiental, destacan las aplicaciones realizadas por Alcántara (1995), quien analiza los encadenamientos hacia adelante y hacia atrás de las emisiones de SO_x para Cataluña. Por su parte, Lenzen (1998) investiga los gases de efecto invernadero y el consumo de energía primaria mediante un análisis de la producción interna australiana y las importaciones. Así también, Duarte et al. (2002) aplican esta metodología para el uso del agua en Andalucía. Alcántara (2007),

relaciona la estructura de la economía española con las emisiones de CO₂, empleando multiplicadores de oferta y demanda, determinando los sectores clave en la emisión.

La aplicación empírica que se realiza en este capítulo sigue la línea de estudios como el de Alcántara (2007), quien lo utiliza para la identificación de sectores clave en las emisiones de CO₂ en España; Alcántara y Padilla (2006), quienes identifican sectores productivos “clave” analizando el impacto que tendría un aumento en el valor agregado de los diferentes sectores productivos en el total de emisiones de CO₂, e identificando los sectores productivos responsables del aumento de las emisiones de CO₂ cuando hay un aumento en los ingresos de la economía; Imori y Guilhoto (2007), también utilizan dicha metodología para analizar los sectores clave en la relación entre desempeño económico y las emisiones de CO₂ durante el año 2002 en Brasil; Así mismo, Piaggio (2013) lo hace para identificar los sectores clave en las emisiones de gases de efecto invernadero para el Uruguay. En el caso ecuatoriano, si bien el uso del enfoque IO en conjunto con la metodología de sectores clave ha sido utilizado en varias investigaciones (ver Gachet, 2005; Artola, 2009; Fernández, 2009), no existe evidencia de su aplicación en temas ambientales, ni, por tanto, para determinar la relación entre la estructura económica y los flujos materiales a través de las emisiones de CO₂.

Es importante señalar también que para la realización de este estudio fue necesaria la estimación de un vector de emisiones de CO₂ por actividad económica. Para ello se emplearon metodologías propuestas por Alcántara y Roca (1995) y Alcántara et al. (2008), las cuales establecen relaciones energéticas IO por tipo de energía y actividad económica, permitiendo estimar un vector de emisiones atribuible a cada actividad. Los datos obtenidos constituyen una de las primeras contribuciones importantes del trabajo de investigación a la generación de información ambiental en el país, ya que se puede establecer un vector de emisiones de CO₂ desagregado por actividad económica.

Así también, en este primer capítulo se pretende brindar información útil para el diseño de políticas ambientales, presentando evidencia sobre determinadas actividades que son

relevantes en materia emisiones de CO₂, dadas sus características propias y la de sus encadenamientos con el resto de la economía.

En lo que sigue, el documento está estructurado de la siguiente manera. La segunda parte corresponde al desarrollo de la metodología utilizada; en la tercera parte se realiza una breve descripción de los datos; la cuarta parte presenta contempla los principales hallazgos y su discusión. Finalmente, se exponen las principales conclusiones.

2.2. Metodología para el análisis de sectores clave

Partiendo del modelo $\mathbf{Ax} + \mathbf{y} = \mathbf{x}$, donde \mathbf{A} es la matriz de coeficientes o requerimientos técnicos, \mathbf{x} es el vector de producción total doméstica e \mathbf{y} es el vector de demanda final, la solución al modelo viene dado por $\mathbf{x} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}\mathbf{y}$, expresión que se conoce como el modelo de Leontief, que representa la variable endógena \mathbf{x} como una combinación lineal de la exógena \mathbf{y} , siendo $(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} = \mathbf{B}$ la matriz inversa de Leontief¹. La metodología que a continuación se describe para determinar los sectores clave en la emisión de CO₂ es la propuesta por Alcántara (2007).

Definiendo $\mathbf{c}_{n \times 1}$ como un vector relativo de coeficientes de emisión de CO₂, resultado de dividir las emisiones de cada actividad económica (en toneladas de CO₂) para la producción sectorial (en millones de dólares), tal que:

$$(2.1) \mathbf{c}'\mathbf{x} = e$$

donde $\mathbf{x}_{n \times 1}$ representa el vector de producción y e es un escalar que contiene el total de emisiones de CO₂. Reemplazando \mathbf{x} por su equivalente del modelo de Leontief, se tiene que:

$$(2.2) \mathbf{e}_{n \times 1}^d = \hat{\mathbf{c}}(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}\mathbf{y}$$

¹ Las matrices se representan por letras mayúsculas, mientras los vectores se representan por letras minúsculas. Tanto vectores como matrices se señalan con negrita, además el símbolo “^” representa la diagonalización de un vector.

Siendo $\hat{\mathbf{c}}$ la matriz diagonalizada de coeficientes de emisión, \mathbf{A} la matriz de coeficientes, \mathbf{e} y el vector de demanda final. Por lo tanto, $\mathbf{e}_{n \times 1}^d$ representa la emisión directa sectorial.

Si definimos la siguiente matriz:

$$(2.3) \mathbf{F}_{y_{n \times n}} = \hat{\mathbf{c}}(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}$$

\mathbf{F}_y es un operador lineal que convertirá cualquier incremento de la demanda final en incrementos de emisiones. Además, si se premultiplica la matriz \mathbf{F}_y por \mathbf{u}' de dimensiones $(1 \times n)$, es decir, un vector fila unitario, se tiene que:

$$(2.4) \mathbf{f}'_{y_{1 \times n}} = \mathbf{u}'\mathbf{F}$$

Donde \mathbf{f}'_y es un vector de emisión unitaria total (directa e indirecta) generada por unidad de demanda final; \mathbf{f}'_y representa el efecto multiplicador de las emisiones impulsadas por la expansión de la demanda final de las distintas actividades económicas. Este vector expresa lo que se conoce como backward linkages o encadenamientos hacia atrás, en este caso en la emisión, debido a la expansión de la demanda final.

A partir de este vector se puede establecer un vector de emisiones totales (directo e indirecto) sectoriales, que estaría dado por la expresión (2.5).

$$(2.5) \mathbf{e}_{n \times n}^t = \hat{\mathbf{c}}(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}\hat{\mathbf{y}}$$

Sin embargo, \mathbf{f}'_y no es un vector escalado, lo que significa que éstos son solamente multiplicadores potenciales. Por esta razón, es necesario definir un nuevo vector que introduzca el peso de la demanda de los distintos sectores.

A partir del vector de demanda final se define un vector de distribución $\tilde{\mathbf{y}}$, tal que $\sum_i \tilde{y} = 1$. De esta forma, el backward linkage se redefine como:

$$(2.6) \mu'_{y_{1 \times n}} = u' \hat{c} (I - A)^{-1} \hat{y}$$

Donde, μ'_y es un vector de multiplicadores de emisión ponderados, frente a una expansión de la demanda.

En cuanto a los multiplicadores de la oferta, Jones (1976) propone utilizar el modelo Ghosh (1958) para medir los encadenamientos hacia adelante. Así, varios autores sostienen que la matriz inversa de Leontief no resulta adecuada para medir los encadenamientos hacia adelante, tanto directos como totales (Cella, 1984; Dietzenbacher, 1992, 1997; Oosterhaven, 1996; Dietzenbacher y Van der Linden, 1997; Robles y Sanjuán, 2005, 2007; Miller y Blair, 2009)².

Por lo tanto, siguiendo el modelo de Ghosh se tiene que:

$$(2.7) x' = v'(I - D)^{-1}$$

Donde $(I - D)^{-1}$ es la matriz inversa de Ghosh, en la que D es la matriz de coeficientes de distribución, x el vector de producción y v el vector de inputs primarios utilizados para la producción. Relacionando con el vector de emisiones, se tiene que:

$$(2.8) e^t_{n \times n} = \hat{v}' [I - D]^{-1} \hat{c}$$

Por lo tanto, se puede definir una matriz F_v :

$$(2.9) F_{v_{n \times n}} = (I - D)^{-1} \hat{c}$$

² La discusión sobre este punto es extensa y puede revisarse en Lenzen (2003). Como lo señala Oosterhaven, (1988), los modelos de Leontief y Ghosh pueden usarse juntos únicamente como herramientas descriptivas para análisis de forward linkage y sectores clave, ya que para análisis de impacto es fundamental que la matriz A , sea constante.

Tal que \mathbf{F}_v es un operador lineal similar a \mathbf{F}_y encontrado en el modelo de la demanda. Este operador transforma incrementos de inputs primarios en emisiones.

Postmultiplicando \mathbf{F}_v por un vector unitario, se tiene que:

$$(2.10) \mathbf{f}'_{v_{n \times 1}} = \mathbf{F}_v \mathbf{u}$$

Donde \mathbf{f}'_v es un vector de emisión unitaria total (directa e indirecta) generada por la expansión de los inputs primarios; \mathbf{f}'_v expresa lo que se conoce como forward linkages o encadenamientos hacia adelante, en este caso en la emisión³.

Al igual que en el caso de la demanda, se pueden producir sesgos que deben ser corregidos mediante la definición de un nuevo vector de distribución de inputs primarios, en este caso $\tilde{\mathbf{v}}$, tal que $\sum_i \tilde{v}_i = 1$. De esta forma, el multiplicador de oferta se redefine como:

$$(2.11) \boldsymbol{\mu}_{v_{n \times 1}} = \hat{\mathbf{v}}(\mathbf{I} - \mathbf{D})^{-1} \hat{\mathbf{c}}\mathbf{u}$$

Donde, $\boldsymbol{\mu}_v$ es un vector de multiplicadores de emisión ponderados, frente a una expansión de los inputs primarios.

Así, en base a los multiplicadores ponderados tanto de oferta como de demanda se establece el multiplicador medio de la siguiente forma:

$$(2.12) \mu = \frac{\mu'_y \mathbf{u}}{n} = \frac{\mu'_v \mathbf{u}}{n}$$

donde n es el número de sectores considerados.

³ Los términos: backwage linkage, multiplicadores de demanda, encadenamiento hacia atrás o efecto arrastre, se utilizarán indistintamente a lo largo del texto; así como los términos: forward linkage, multiplicadores de oferta, encadenamiento hacia adelante o efecto empuje.

No obstante, Rasmussen (1952) indica que los sectores realmente clave serán aquellos que extiendan sus efectos al resto de sectores en mayor cuantía, por lo que propone utilizar el coeficiente de variación, para conocer el nivel de dispersión de cada actividad en los efectos. Es decir, si la actividad *j*-ésima afecta de manera uniforme a todas las actividades, o se encuentra concentrada en unas pocas. Así, para el caso de la demanda, el coeficiente sería:

$$(2.13) CV_j^y = \frac{\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (a_{ij} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_{ij})^2}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_{ij}}$$

Por el lado de la oferta, se calcularía la influencia en la industria *i*-ésima, de la siguiente forma:

$$(2.14) CV_i^v = \frac{\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (d_{ij} - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n d_{ij})^2}}{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n d_{ij}}$$

Por lo tanto, los sectores clave serán aquellos que tengan elevados backward y forward linkages ($\frac{\mu_y^u}{n}, \frac{\mu_v^u}{n}$), respectivamente y además bajos coeficientes de variación (CV_j^y, CV_i^v), respectivamente. Es decir, los sectores clave requieren, en términos relativos, de más insumos que el resto de actividades frente a un incremento en la demanda final o en los inputs primarios. Además, sus compras y/o ventas no están concentradas sino que se distribuyen de manera equitativa en el resto de actividades.

Considerando lo mencionado, la clasificación de las actividades de acuerdo a su relevancia se realiza en base al siguiente esquema:

	$\mu_{v,i}/\mu > 1$; bajo CV_i^v	$\mu_{v,i}/\mu < 1$
$\mu_{y,j}/\mu > 1$; bajo CV_j^y	Sectores clave en la emisión de CO ₂	Sectores impulsores de la demanda
$\mu_{y,j}/\mu < 1$	Sectores impulsores de la oferta	Resto de sectores

Por otro lado, distinguir entre aquella contaminación que genera una actividad debido a su propio proceso productivo de aquella contaminación generada indirectamente a través de los procesos productivos de otras actividades, puede ser muy útil para el diseño de políticas enfocadas la mitigación en contaminación. Alcántara (2010), plantea descomponer los backward y forward linkages en dos componentes denominados “puros” y “propios”, para lo cual se debe hacer uso de las matrices de los multiplicadores ponderados de oferta y demanda.

En el caso de la demanda, la descomposición de los backward linkages en sus componentes propio y puro viene dado por:

$$(2.15) \mu_{y_j}^{\text{propio}} = F_{y_{jj}} \tilde{y}$$

$$(2.16) \mu_{y_j}^{\text{puro}} = \sum_{i \neq j} F_{y_{ij}} \tilde{y}$$

De forma similar, en el caso de la oferta, la descomposición de los forward linkages en componentes propio y puro viene dado por:

$$(2.17) \mu_{v_i}^{\text{propio}} = F_{v_{ii}} \tilde{v}$$

$$(2.18) \mu_{v_i}^{\text{puro}} = \sum_{j \neq i} F_{v_{ij}} \tilde{v}$$

La ventaja de estas expresiones radica en que dicha descomposición serviría para el diseño de políticas de mitigación. Como lo señala Piaggio (2013) citando el trabajo de Alcántara (2010), las medidas de mitigación ambiental serán más efectivas en actividades económicas

que tengan un alto componente de backward propio, forward propio o forward puro, ya que permitirán la mitigación de la contaminación de la propia actividad o de otras que también contaminan. En ese sentido, cuando se trata de una actividad con alto componente propio, las medidas que se adopten deben focalizarse en mejoras tecnológicas o de mejores prácticas, ya que serían efectivas para disminuir la contaminación. En cambio, cuando se trata de actividades con un alto componente forward puro, se deberían implementar políticas para reducir las emisiones asociadas a las actividades donde se destina la producción de éstas, también se pueden diseñar políticas que ayuden a disminuir el proceso de contaminación del insumo que requieren dichas actividades. Por otro lado, cuando más de una actividad está involucrada en el proceso, no son suficientes las políticas específicas sino que se debe hacer uso de políticas intersectoriales. Finalmente, en el caso de las actividades con alto backward puro el problema de fondo no recae en éstas, ya que demandan productos de actividades directamente contaminantes, por lo tanto las medidas tecnológicas o de mejores prácticas son eficaces si reducen la demanda.

2.3. Descripción de los datos

De manera general, los análisis de sectores clave en emisiones de CO₂ se elaboran mediante la utilización de dos fuentes de información básica, la matriz IO (valorada a precios básicos) y un vector de emisiones de CO₂.

Con respecto a la matriz IO, el Banco Central del Ecuador (BCE) es la institución encargada de elaborar y publicar las cuentas nacionales para el país. Dicha entidad también elabora las matrices IO utilizando tecnología producto-producto y/o industria-industria (para algunos años). Las cifras se encuentran en términos corrientes y utilizan como año base el año 2007. La publicación oficial es una matriz cuadrada 71x71, desagregada en 16 actividades pertenecientes al sector primario, 36 al sector manufacturero y 18 al sector servicios.

En lo referente a las emisiones de CO₂ cabe señalar que, si bien los balances energéticos publicados por el Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos del Ecuador (MICSE),

contienen información de emisiones de CO₂ en base al consumo energético, éste solo se encuentra desagregado en 6 ítems: transporte, industrial, residencial, comercial, agro-pesca y construcción, lo que resulta insuficiente para los fines de ésta investigación.

Por lo anterior, fue necesario realizar una estimación de las emisiones generadas por cada actividad económica. Para ello, se siguió la metodología planteada por de Alcántara y Roca (1995) y Alcántara et al. (2008), cuya idea básica es establecer las relaciones energéticas input-output que permitan determinar el consumo energético por tipo de energía y actividad económica y a partir de esta información estimar un vector de de CO₂ por cada actividad. Sin embargo, tampoco existen cifras oficiales del consumo energético con un nivel de desagregación como el requerido para los fines de este estudio; por lo tanto, también fue necesaria la estimación de este vector. Las estimaciones efectuadas se realizaron en base a información proveniente de los balances energéticos publicados por la agencia internacional de energía (IEA) así como de los balances energéticos publicados por el Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos del Ecuador (MICSE). Además se utilizaron datos de consumo de energías finales desagregadas en las tablas de oferta utilización (TOU)⁴ e información de la matriz IO, estas últimas publicadas por el BCE. El Anexo 2A.1, contiene el detalle de la metodología empleada, tanto para la estimación del consumo energético como para la estimación de las emisiones de CO₂ por actividad económica.

2.4. Principales resultados y discusión

2.4.1. Efectos Directos y Totales

En base a la expresión (2.5), se calcularon las emisiones directas y totales para las 71 actividades económicas de la matriz IO al año 2013, las cuales generaron un total de 42.019 Kton de CO₂. La Tabla 2.1 muestra las diez actividades con mayor peso en las emisiones de CO₂ (el Anexo 2A.6 contiene la información para todas las actividades). Estas diez actividades son responsables del 78,1% de las emisiones directas (32.815 Kton de CO₂). No

⁴ Se utilizaron las tablas TOU desagregadas a 278 productos

obstante, como señalan Alcántara y Padilla (2009), si sólo se considera las emisiones directas, se estaría obviando el hecho de que gran parte de las emisiones que emiten ciertas ramas productivas sirve, en última instancia, para facilitar la producción que se analiza desde otras ramas. Es decir, se estaría obviando que la producción una actividad generalmente requiere de la producción de bienes o servicios que son suministrados por otras actividades. Esto genera un efecto de arrastre en las emisiones de una actividad que, en ocasiones, pueden ser superiores a las emisiones generadas de manera directa (Alcántara y Padilla, 2009). En tal sentido, las emisiones totales (directas e indirectas) del grupo analizado representan el 67,3% del total generado por el aparato productivo. Por lo tanto, que las emisiones totales sean menores que las directas, nos estaría diciendo que algunas de estas actividades generan mayor emisión directa porque deben satisfacer la demanda de inputs de otras actividades (véase como ejemplo el caso del transporte).

Tabla 2.1. Las 10 actividades con mayor peso en las emisiones directas y totales de CO2 (Kton).

Código	Actividad	Emisión		Emisión	
		Directa	%	Total	%
58	Servicios de transporte y almacenamiento	9.189	21,9%	4.986	11,9%
38	Aceites refinados de petróleo y de otros productos	7.399	17,6%	3.632	8,6%
51	Electricidad	6.773	16,1%	4.257	10,1%
12	Petróleo crudo y gas natural	2.200	5,2%	3.926	9,3%
44	Cemento, artículos de hormigón y piedra	1.870	4,5%	36	-0,1%
64	Servicios prestados a las empresas y de producción	1.275	3,0%	148	0,4%
54	Servicios de comercio	1.261	3,0%	2.437	5,8%
53	Trabajos de construcción y construcción	1.231	2,9%	5.916	14,1%
65	Servicios administrativos del gobierno y para la comunidad en general	856	2,0%	1.752	4,2%
60	Servicios de telecomunicaciones, transmisión e información	762	1,8%	1.280	3,0%
Total		32.815	78,1%	28.299	67,3%

Fuente: Elaboración propia en base al Anexo 2A.6

La Tabla 2.1 presenta distintos matices por actividad productiva; por ejemplo, la actividad (58) “Servicios de transporte y almacenamiento”, representa el 21,9% de las emisiones directas de todo el aparato productivo, mientras que su importancia relativa en las emisiones totales (directa e indirecta) disminuye al 11,9%. Si bien se trata de una actividad muy influyente en términos de generación de emisiones de CO₂, sus emisiones caen

aproximadamente a la mitad cuando se analizan sus emisiones totales. El transporte es un claro ejemplo de que existen actividades que producen, en buena medida, para satisfacer la demanda del servicio que requieren el resto de las actividades productivas. En este ejemplo, la actividad (58) “Servicios de transporte y almacenamiento” está obligada a emitir mayor cantidad de CO₂, con el fin de servir a las demás. De igual forma, otras actividades con un comportamiento similar al descrito son: (38) “Aceites refinados de petróleo y de otros productos”, (51) “Electricidad”, (44) “Cemento, artículos de hormigón y piedra” y (64) “Servicios prestados a las empresas y de producción”, entre las más relevantes.

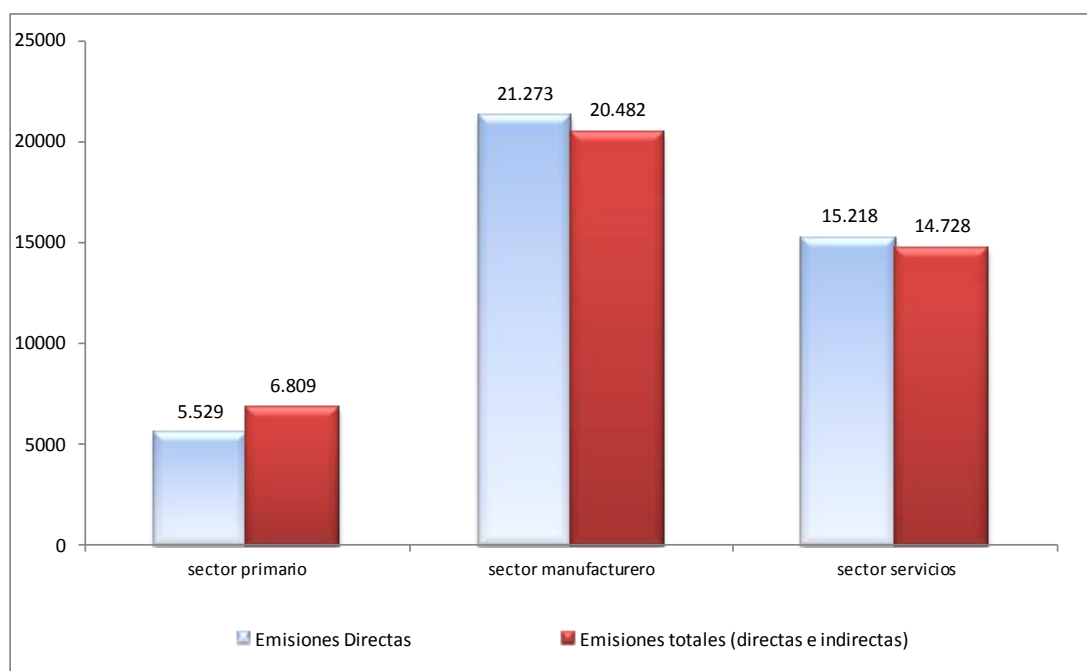
Por otro lado, un ejemplo opuesto al anterior lo constituye la actividad (54) “Servicios de comercio”, la cual representa el 3% de las emisiones generadas de manera directa, pero si se observan sus emisiones totales, su peso sube al 5,8%. Esto se debe a que otras actividades tienen que incrementar su producción para satisfacer la demanda de insumos que requiere la actividad (54) “Servicios de comercio”. Es decir, por sí misma, el comercio no es un actor relevante en la generación directa de emisiones, pero su relevancia toma fuerza cuando se analizan sus encadenamientos productivos. Otras actividades con un comportamiento similar al comercio, son la actividad (53) “Trabajos de construcción y construcción”, la actividad (65) “Servicios administrativos del gobierno y para la comunidad en general”, y la actividad (60) “Servicios de telecomunicaciones, transmisión e información”, entre las más relevantes.

Los primeros aportes de la metodología empleada, pueden reflejarse en este tipo de análisis ya que permiten observar los verdaderos pesos que tienen las actividades productivas en la generación de emisiones totales de CO₂.

La Figura 2.1 presenta los resultados de emisiones directas y totales, a nivel agregado, para los sectores primario, manufacturero y servicios⁵.

⁵ El Anexo 3 presenta la clasificación de las 71 actividades en los sectores primario, manufacturero y servicios.

Figura 2.1. Emisiones directas y totales para los sectores primario, manufacturero y servicios. (en Kton de CO₂)



Fuente: Elaboración propia en base a los Anexos 2A.5 y 2A.6

Como se observa, el sector manufacturero (compuesto por 37 actividades) es el responsable de la mayor cantidad de emisiones directas y totales de CO₂, con el 50,3% y 48,7%, respectivamente. El sector servicios (compuesto por 18 actividades) genera el 36,2% del total de emisiones directas y el 35,1% de emisiones totales. Finalmente, el sector primario (compuesto por 16 actividades) contribuye con el 13,2% del total de emisiones directas y el 16,2% de emisiones totales.

Un análisis más desagregado permite observar en el interior de cada sector las realidades distintas por actividad económica. Así por ejemplo, en el interior del sector primario destaca el peso de la actividad (12) “Petróleo crudo y gas natural” que representa el 40% de las emisiones directas del sector y el 58% de las emisiones totales con el fin de satisfacer su demanda.

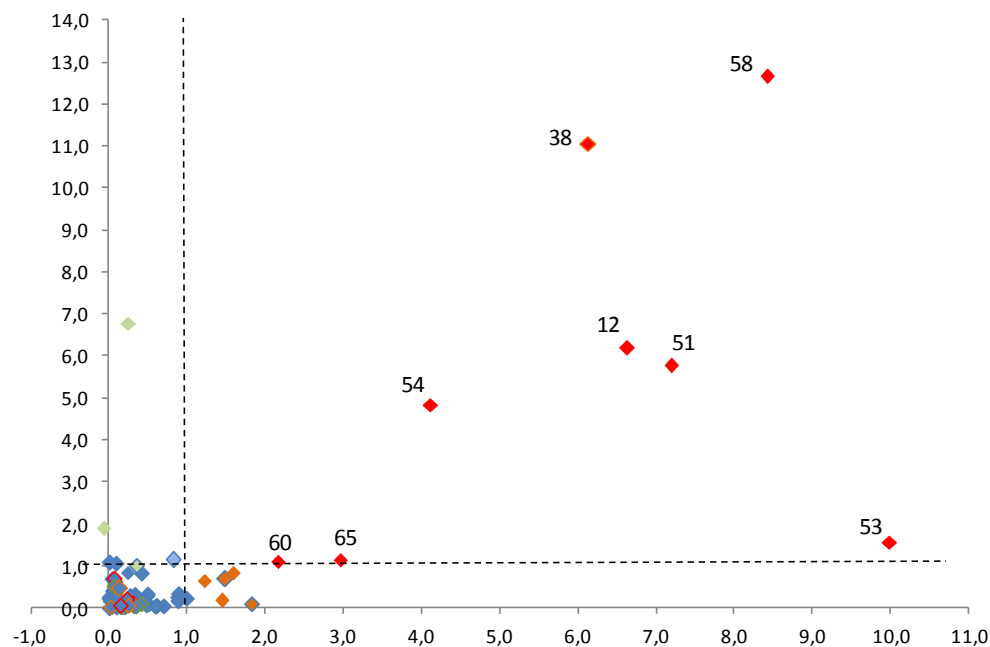
Dentro del sector manufacturero, destacan los aportes de las actividades (32) “Aceites refinados de petróleo y de otros productos” y (51) “Electricidad” con el 35% y 32%, de las emisiones directas dentro la manufactura, respectivamente. Sin embargo, sus emisiones totales tienen un peso del 18% y 21% respectivamente; por lo tanto, se trata de actividades que son arrastradas por otras a generar contaminación.

Finalmente, por el lado de los servicios destaca la participación de la actividad (58) “Servicios de transporte y almacenamiento” que genera el 60% de las emisiones dentro del sector. Su peso se reduce al 34% cuando se analizan sus emisiones totales. Dentro de los servicios, también resultan relevantes las actividades de (54) “Servicios de comercio” y (65) “Servicios administrativos del gobierno y para la comunidad en general”.

2.4.2. Sectores clave

Para el análisis de sectores clave, una primera perspectiva se tiene con la Figura 2.2, para la cual se utilizaron los multiplicadores ponderados que generaría una expansión de la demanda o de los insumos primarios, en base a las expresiones (2.6) y (2.11), respectivamente. En el eje de las abscisas se encuentra el ratio desde una perspectiva de demanda ($\mu_{y,j}/\mu$), mientras que en el eje de las ordenadas se encuentra el ratio desde una perspectiva de la oferta ($\mu_{v,i}/\mu$). De esta forma, el gráfico divide las 71 actividades económicas en 4 grupos. Para determinar el grupo al que pertenece cada actividad se trazó líneas entrecortadas sobre la escala igual a uno en cada eje.

Figura 2.2. Sectores con multiplicadores ponderados de demanda y oferta mayores a la media.



Fuente: Elaboración propia en base a los Anexos 2A.7

El grupo de mayor interés lo conforman 8 actividades (cuyo código de actividad está señalado en la figura), las cuales poseen los multiplicadores de demanda (backward linkage) y oferta (forward linkage) más elevados; en otras palabras, estas actividades serían las que ejercen encadenamientos más fuertes hacia atrás y hacia adelante; o, en términos más sencillos, se puede decir que son las que mayor efecto empuje y arrastre generan sobre el resto de la economía, en lo que respecta a la generación de emisiones de CO₂. El grupo está conformado por las actividades: (58) “Servicios de transporte y almacenamiento”, (38) “Aceites refinados de petróleo y de otros productos”, (51) “Electricidad”, (12) “Petróleo crudo y gas natural”, (54) “Servicios de comercio”, (53) “Trabajos de construcción y construcción”, (65) “Servicios administrativos del gobierno y para la comunidad en general” y (60) “Servicios de telecomunicaciones, transmisión e información”. Entre las 8 actividades son responsables del 70,6% de las emisiones directas y del 67,1% de las emisiones totales (Ver Anexo 2A.6).

Por otro lado, aparecen 5 actividades que tienen multiplicadores mayores a la media pero sólo por el lado de la demanda (backward linkages); y, otro grupo, conformado por 6 actividades, con multiplicadores mayores a la media pero sólo por el lado de la oferta (forward linkages).

Cabe señalar que, con el fin de comprobar si se obtienen similares resultados en la determinación de los forward linkages utilizando la inversa de Leontief en lugar de la inversa de Ghosh, se realizaron los cálculos que se presentan en el Anexo 2A.8. El resultado fue que ninguno de los sectores clave se ve afectado por este cálculo; existen 2 actividades que son clasificadas como influyentes desde la oferta, independientemente de la metodología que se utilice⁶; y, obviamente, las actividades influyentes por el lado de la demanda no sufren ninguna alteración. Por lo tanto, 10 de las 14 actividades clasificadas como relevantes no sufren ningún cambio en su clasificación y sólo 4 cambiarían su tipología dependiendo del método de cálculo que se utilice⁷. Lo expuesto en este punto, más las justificaciones del apartado metodológico, fueron la razón para decidir continuar con el resto del análisis a partir de los cálculos estimados mediante la inversa de Ghosh.

En resumen, los datos muestran que de las 71 actividades existentes en el apartado productivo, 19 pueden ser clasificadas como las más influyentes en las emisiones de CO₂.

La Tabla 2.2 presenta la clasificación de las actividades en sectores clave; actividades relevantes desde una perspectiva de demanda, o actividades relevantes desde la perspectiva de la oferta. Además, se presenta sus coeficientes de variación, calculados en base a las expresiones (2.13) y (2.14).

⁶ Las actividades relevantes de la oferta que no cambian independientemente del método de cálculo son: (40) "Otros productos químicos" y (44) "Cemento, artículos de hormigón y piedra"

⁷ Las actividades relevantes de la oferta que si cambian son: (13) "Servicios relacionados con el petróleo y gas natural", (5) "Oleaginosas e industrializables" y (61) "Servicios de intermediación financiera" son clasificadas como relevantes oferta sólo cuando se utiliza la inversa de Ghosh, En cambio la actividad (10) "Pescado y otros productos acuáticos (excepto camarón)" es clasificada como relevante oferta sólo cuando se utiliza la inversa de Leontief.

Tabla 2.2. Clasificación de las actividades económicas en sectores clave, relevantes de demanda u oferta.

Código	Actividad	μ_j/μ	cv_j	μ_i/μ	cv_i	clasificación
58	Servicios de transporte y almacenamiento	8,4	2,3	12,6	4,3	sector clave
38	Aceites refinados de petróleo y de otros productos	6,1	3,3	11,0	6,2	sector clave
12	Petróleo crudo y gas natural	6,6	5,0	6,2	3,4	sector clave
51	Electricidad	7,2	5,2	5,8	5,9	sector clave
54	Servicios de comercio	4,1	1,4	4,8	3,5	sector clave
53	Trabajos de construcción y construcción	10,0	6,4	1,5	2,5	sector clave
65	Servicios administrativos del gobierno y para la comunidad en general	3,0	8,4	1,1	3,8	sector clave
60	Servicios de telecomunicaciones, transmisión e información	2,2	5,7	1,1	5,1	sector clave
64	Servicios prestados a las empresas y de producción	0,2	1,4	6,8	5,3	relevante oferta
44	Cemento, artículos de hormigón y piedra	-0,1	7,6	1,9	5,5	relevante oferta
40	Otros productos químicos	0,8	5,8	1,1	6,7	relevante oferta
13	Servicios relacionados con el petróleo y gas natural	0,0	6,9	1,1	6,4	relevante oferta
5	Oleaginosas e industrializables	0,1	3,2	1,1	7,1	relevante oferta
61	Servicios de intermediación financiera	0,4	3,6	1,0	5,5	relevante oferta
63	Servicios inmobiliarios	1,6	5,0	0,8	5,5	relevante demanda
57	Servicios de restaurante	1,5	7,6	0,7	3,8	relevante demanda
70	Servicios de asociaciones; esparcimiento; culturales y deportivos	1,2	7,4	0,6	5,7	relevante demanda
16	Carne, productos de la carne y subproductos	1,5	6,9	0,2	4,1	relevante demanda
17	Camarón elaborado	1,8	8,2	0,1	4,4	relevante demanda
Promedios			6,6		6,4	

Fuente: Elaboración propia en base al Anexo 2A.7

De la Tabla 2.2. en primer lugar vale destacar actividades pertenecientes al grupo de los sectores clave que poseen elevados multiplicadores backward linkage ponderado ($\mu_{y,j}/\mu$) y forward linkage ponderado ($\mu_{y,i}/\mu$), los mismos que se distancian de manera significativa por sobre la media, con excepción de las actividades (65) “Servicios administrativos del gobierno y para la comunidad en general” y (60) “Servicios de telecomunicaciones, transmisión e información”, que poseen los multiplicadores ponderados más bajos, es decir, cercanos a la unidad; y, la actividad (53) que tiene un multiplicador backward linkage ponderado muy elevado, pero un multiplicador forward linkage ponderado cercano a la unidad.

Respecta al comportamiento de los coeficientes de variación del grupo de sectores clave, se puede observar que, en general, poseen coeficientes menores a la media, lo que significa que sus compras y ventas están desconcentradas. Por lo tanto, impulsos que se realicen sobre estas actividades, desde la demanda o desde los insumos primarios, incrementarían

las emisiones de CO₂ por parte de varias actividades económicas que están encadenadas a éstas.

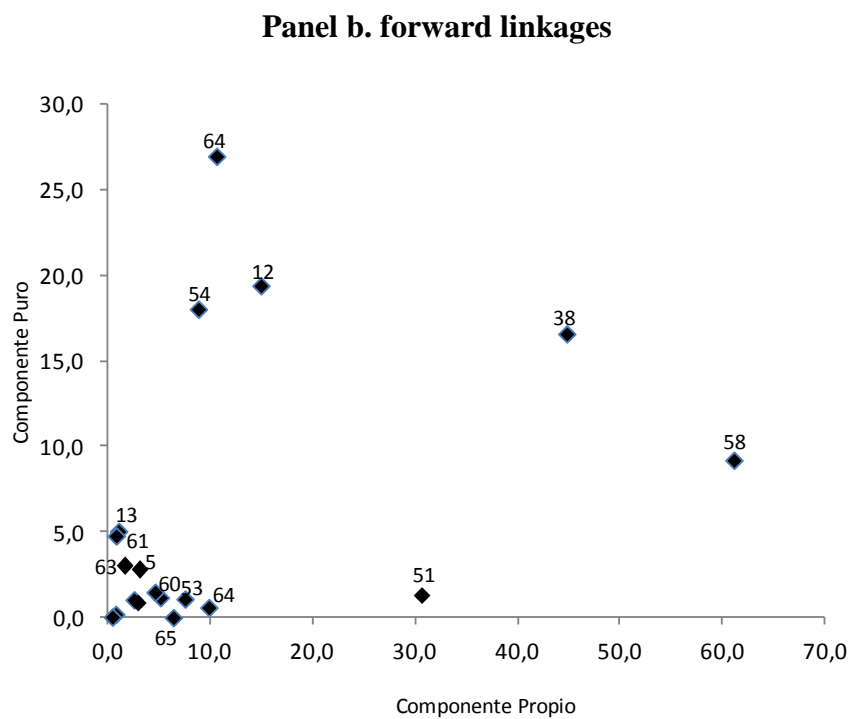
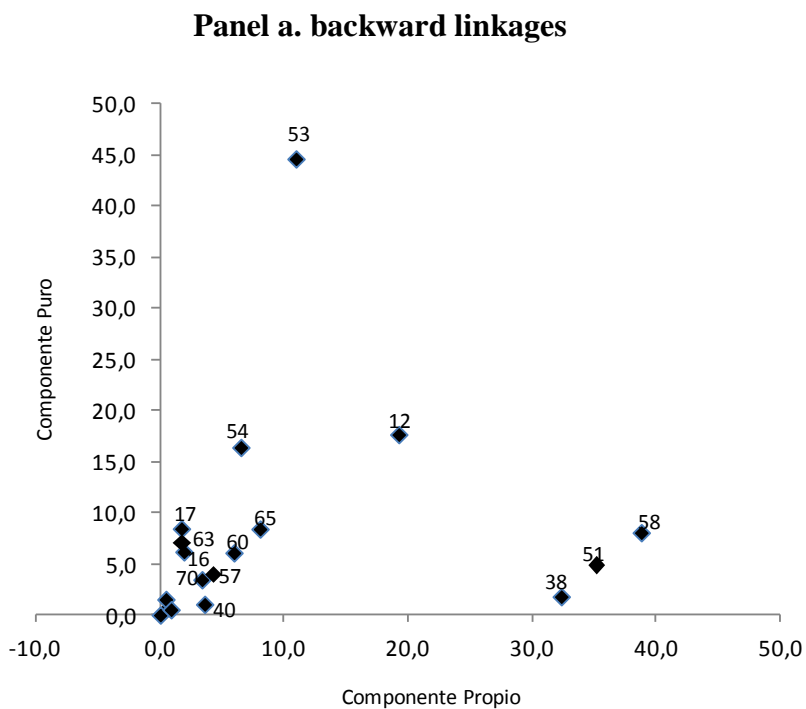
En el caso del grupo de actividades relevantes desde la perspectiva de la demanda, sus multiplicadores ponderados están próximos a la unidad, siendo el más elevado el multiplicador de la actividad (17) “Camarón elaborado” (1,8 veces la media). Así también, en la mayoría de los casos, se observan coeficientes de variación altos significativamente superiores a la media, lo que representa una concentración en las compras que realizan estas actividades productivas.

Por el lado de la oferta, destaca el multiplicador ponderado de la actividad (64) “Servicios prestados a las empresas y de producción”, que se aleja de forma significativa de la media. Sin embargo, el resto de actividades de este grupo tiene multiplicadores muy cercanos a la unidad. Respecto a los coeficientes de variación, el patrón es menos claro que en los otros casos, ya que los mismos giran en torno a la media.

2.4.3. Componentes propio y puro de las actividades relevantes en la emisión de CO₂

Con el afán de brindar insumos para la toma de decisiones en materia de política ambiental, a la información anterior se incorporan los cálculos obtenidos mediante las expresiones (2.15) a (2.18), los cuales permiten determinar los componentes puro y propio de los backward y forward linkages de las 19 actividades económicas relevantes. Hay que recordar que todas las actividades a ser analizadas en esta sección tienen un peso mayor en la generación de emisiones de CO₂, con respecto al resto de actividades productivas

Figura 2.3. Componentes puro y propio de los backward y forward linkages



Fuente: Elaboración propia en base al Anexo 2A.8

Un primer grupo de análisis está compuesto por las actividades: (58) “Servicios de transporte y almacenamiento”, (51) “Electricidad” y (38) “Aceites refinados de petróleo y de otros productos”, entre ellas generan el 55,6% de las emisiones totales. Se caracterizan por tener altos multiplicadores ponderados tanto de demanda como de oferta. Son actividades que están vinculadas a todo el aparato productivo, por ello sus coeficientes de variación son bajos. Además las actividades (51) y (38) son las fuentes de energía de las cuales se provee todo el aparato productivo, y la actividad (58) es el mecanismo que sirve como enlace para toda la economía.

En resumen, se trata de actividades altamente influyentes en la generación de emisiones de CO₂, tanto por sus características propias como por sus interrelaciones de oferta y demanda que mantienen con el resto de la economía. La intervención con medidas directas sobre estas actividades será la que genere mayores impactos. Entre esas medidas están tanto las mejoras tecnológicas como el impulso y fomento a las mejores prácticas. Por ejemplo, el uso de refinados del petróleo con mejor tecnología o la generación de electricidad proveniente de fuentes limpias, tendrían un fuerte impacto en la mitigación.

Por otro lado, la actividad (12) “Petróleo crudo y gas natural”, también posee elevados multiplicadores de demanda y oferta, pero en este caso tanto el componente puro como el componente propio, de los backward y forward linkages, son elevados. Por lo tanto, se trata de una actividad que genera emisiones de CO₂ tanto en su propia producción como por su interrelación con otras actividades (efectos de arrastre o empuje). Posee un fuerte encadenamiento con el grupo de actividades previamente descrito: transporte, electricidad, refinados de petróleo, pero sobre todo con ésta última. Por ello, las políticas de intervención deben contemplar tanto medidas directas, como medidas indirectas sobre los sectores que proveen y demandan insumos de ésta actividad y que poseen los encadenamientos más fuertes hacia atrás y hacia adelante.

La actividad (54) “Servicios de comercio”, se caracteriza por tener elevados multiplicadores de oferta y demanda, pero principalmente porque sus componentes,

backward y forward linkages puros son mayores a sus componentes propios. En este sentido, no se trata de una actividad que genere alta contaminación por sí misma, sino que se caracteriza por hacerlo de manera indirecta. También se caracteriza por tener coeficientes de variación bajos, ya que sus interrelaciones se encuentran desconcentradas a lo largo del aparato productivo. La primera medida de política es empezar a considerar a éste sector dentro de las actividades relevantes de mitigación, ya que no suele ser parte de los análisis de políticas ambientales. Un análisis más profundo de sus interrelaciones de oferta y demanda permitirían diseñar adecuadamente medidas de etiquetado, producción limpia, eficiencia energética sobre otras actividades que permitirían lograr un impacto positivo en la reducción de las emisiones de CO₂.

La actividad (53) “Trabajos de construcción y construcción” desde el punto de vista económico se caracteriza porque es la actividad con mayor crecimiento en los últimos 10 años, en buena parte debido al incremento de obra pública y privada, producto de las políticas de expansión de la demanda. Del análisis se desprende que posee uno de los multiplicadores backward linkages más elevados junto con un coeficiente de variación también alto. De igual forma destaca su elevado componente puro, así como sus emisiones indirectas. Esto se debe a la interrelación que existe con la actividad (44) “Cemento, artículos de hormigón y piedra” que es un proveedor de insumos relevante (el quinto en la generación de emisiones directas). Esto quiere decir que la propagación de emisiones de la actividad (44) se transfiere a la actividad de la construcción; y en menor medida, a las actividades (58) “Servicios de transporte y almacenamiento” y (51) “Electricidad”. Por lo tanto políticas que mejoren el proceso productivo de la fabricación de cemento o materiales alternativos de construcción más amigables con el medioambiente tendrán repercusiones positivas sobre la construcción.

Las actividades (65) “Servicios administrativos del gobierno y para la comunidad en general” y (60) “Servicios de telecomunicaciones, transmisión e información” llaman la atención porque son actividades que no suelen considerarse como importantes en la generación de emisiones de CO₂ y por lo tanto no se incluyen en el diseño de políticas de

mitigación. Sin embargo, como se demuestra en este estudio, son actividades que destacan por sus encadenamientos hacia adelante y atrás.

Si bien su relevancia debe ser matizada frente a otras actividades que generan mayor contaminación, vale la pena destacar algunas características. Por el lado de la demanda, ambas poseen similares componentes *backwage linkage* puro y propio, mientras que por el lado de la oferta es mucho más elevado su componente propio. En cuanto a su coeficiente de variación es más elevado que en los sectores previamente analizados, en particular por el lado de la demanda y sobre todo para la actividad (65); es decir, está más concentrada su interrelación con el resto de actividades. En este caso, podrían ser útiles políticas de eficiencia energética o ahorro de energía, debido a su fuerte vinculación con la actividad de electricidad y transporte. Por ello medidas que promueven el uso de energía limpia ayudarán y ahorro de energía proveniente de fuentes fósiles, serviría para disminuir la emisión de CO₂.

Por el lado de exclusivamente de la demanda, aparecen las actividades: (63) “Servicios inmobiliarios”, (57) “Servicios de restaurante”, (70) “Servicios de asociaciones; esparcimiento; culturales y deportivos”, (16) “Carne, productos de la carne y subproductos” y (17) “Camarón elaborado”. Todas ellas se caracterizan por tener multiplicadores cercanos a la media, Así también su componente *backward linkage* puro es, en general, mayor que el componente propio. Las políticas a adoptar deberían estar enfocadas en las actividades que son proveedoras de sus insumos, pues el incremento en su demanda arrastrará a sectores contaminantes a incrementar esas emisiones. Por otro lado, políticas directas no tendrían el efecto deseado, pues ni sus emisiones directas ni sus *backward linkage* propios son significativos.

Finalmente, están las actividades relevantes de la oferta: (64) “Servicios prestados a las empresas y de producción”, (44) “Cemento, artículos de hormigón y piedra”, (40) “Otros productos químicos”, (13) “Servicios relacionados con el petróleo y gas natural”, (5) “Oleaginosas e industrializables” y (61) “Servicios de intermediación financiera”. Entre ellas, destaca la actividad (64) ya que presenta el encadenamiento hacia adelante más fuerte

de todo el grupo (los demás sectores relevantes de oferta, tienen multiplicadores cercanos a la media). Su forward linkage puro es más alto que su componente propio, por lo tanto, también se trata de una actividad que está inducida de manera indirecta a la emisión de CO₂ debido a que sus ventas se destinan a otras actividades que son altamente contaminantes como el transporte, cemento, electricidad, refinados de petróleo, entre otras. Por ello, políticas enfocadas en los sectores donde se destina su producción permitirían una disminución de las emisiones de ésta actividad. Otra actividad con características similares es la (61) “Servicios de intermediación financiera”, para la cual, como lo señalan Piaggio et al (2013), una política eficiente sería la creación de incentivos de acceso a crédito así como tasas de interés preferenciales, dirigidas a financiar actividades no contaminantes. Por otra parte, las actividad (44) “Cemento, artículos de hormigón y piedra” y (40) “Otros productos químicos”, son actividades sobre las que se deberían implementar políticas directas, de mejores prácticas y tecnología ya que su componente propio es elevado. Mientras que las actividades (13) “Servicios relacionados con el petróleo y gas natural” y (5) “Oleaginosas e industrializables” requieren medidas mixtas, que mitiguen sus propias emisiones y las de actividades a las cuales proveen de insumos.

2.5. Conclusiones

Un primer aporte del trabajo radica en la construcción de un vector de emisiones de CO₂ desagregado por actividad económica, elaborado para el año 2013. Para ello se parte de la construcción de una matriz de consumo energético primario y secundario, la cual se vincula con la matriz IO del año 2013. De esta forma se logra estimar el consumo de energía por actividad y esto, a su vez, permite cuantificar las emisiones de CO₂ generadas por cada actividad económica. La generación de estos datos es útil para el análisis de temas ambientales.

Mediante el análisis de sectores clave se determina que de las 71 actividades económicas 19 son relevantes en las emisiones de CO₂. Según la tipología utilizada, 8 se clasificación como sectores clave, 5 son relevantes desde la demanda y 6 desde la oferta. En conjunto,

todas ellas serían responsables del 85,1% de las emisiones directas y del 79,8% de las emisiones totales.

Las actividades clasificadas como sectores clave son: (58) “Servicios de transporte y almacenamiento”, (38) “Aceites refinados de petróleo y de otros productos”, (51) “Electricidad”, (12) “Petróleo crudo y gas natural”, (54) “Servicios de comercio”, (53) “Trabajos de construcción y construcción”, (65) “Servicios administrativos del gobierno y para la comunidad en general” y (60) “Servicios de telecomunicaciones, transmisión e información”. Se caracterizan porque poseen fuertes encadenamientos hacia adelante y hacia atrás con el resto del aparato productivo, por lo que son influyentes en la generación de emisiones de CO₂. Por lo tanto, desde una óptica de política pública, sería de utilidad analizar formas de intervención sobre estas actividades, ya que potencializarían los resultados esperados.

Se comprueba que actividades como: (58) “Servicios de transporte y almacenamiento”, (38) “Aceites refinados de petróleo y de otros productos”, (51) “Electricidad” o (12) “Petróleo crudo y gas natural”, tienen una alta influencia en la generación de emisiones de CO₂. Además, una desagregación de sus componentes puro y propio, permite tener mayor claridad sobre las herramientas adecuadas de política ambiental que podrían emplearse en estas actividades para disminuir su contaminación, tanto directa como indirecta.

La metodología empleada también permite encontrar actividades altamente influyentes y que generalmente están fuera del radar de los hacedores de política; en particular aquellas relacionadas al sector servicios, como: (54) “Servicios de comercio”, (65) “Servicios administrativos del gobierno y para la comunidad en general” y (60) “Servicios de telecomunicaciones, transmisión e información”. Su control directo es importante pero también es relevante mirar a las actividades con las cuales tienen interrelaciones más fuertes, tanto hacia atrás como hacia adelante.

Otro grupo de actividades relevantes se distingue por sus fuertes encadenamientos, sólo hacia atrás o sólo hacia adelante. Los hallazgos encontrados dan muestra de que no sería

efectivo aplicar las mismas políticas a uno u otro grupo de actividades, sino que dependen de las interrelaciones que existe con el resto de la economía.

Varios de los planes de política y lineamientos estratégicos establecidos en el “Plan Nacional del Buen Vivir” (SENPLADES, 2013) contemplan medidas cuyos objetivos se alinean con los sugeridos en el estudio. Entre ellos, destaca el cambio de la matriz energética para la generación de energía hidroeléctrica, la cual tendrá un impacto importante en la reducción de emisiones de CO₂, tanto por aquellas relacionadas de manera directa con el sector de electricidad, así como aquellas indirectas por su interrelación con el resto de la economía. Otras políticas como la modernización del parque automotor de carga, la mejora en la producción de derivados de petróleo o las campañas de ahorro energético, también deberían profundizarse ya que serían efectivas para la reducción de emisiones de algunos sectores que aparecen como clave.

Finalmente, los resultados obtenidos amplían el abanico de posibilidades y actividades sobre las cuales profundizar en el análisis para un desarrollo más eficiente de la política pública en temas ambientales.

2.6. Bibliografía

- Alcántara, V. y Roca, J (1995) “Energy and CO₂ emissions in Spain. Methodology of analysis and some results for 1980-90”. *Energy Economics*, Vol. 17, No. 3, pp. 221-230.
- Alcántara, V (2007) “Análisis input-output y emisiones de CO₂ en España: un primer análisis para la determinación de sectores clave en la emisión”, Document de Treball No. 07.08, Departamento de Economía Aplicada, Universidad Autónoma de Barcelona.
- Alcántara, V., del Río, P. y Hernández, F. (2010) “Structural analysis of electricity consumption by productive sectors. The Spanish case”, *Energy*, Vol. 35, pp. 2088–2098.
- Alcántara, V. and Padilla, E. (2006) “An input-output analysis for the “key” sectors in CO₂ emissions from a production perspective: an application to the Spanish economy”, Working Papers, wpdea0601, Department of Applied Economics at Universitat Autònoma de Barcelona.
- Alcántara, V. Padilla, E. y Roca, J (2008) “De los consumos finales de energía a los requerimientos de energía primaria y las emisiones de CO₂. Aproximación a partir de los balances de energía. Aplicación a Cataluña, 1990-2005”, XI Jornadas de Economía Crítica, Bilbao.
- Chas, M.L. (2010) “La elaboración de estadísticas energéticas. Comparación del balance energético Gallego y de otras comunidades autónomas”, *Revista Galega de Economía*, Vol. 19, No. 1.
- Artola, Verónica (2009) “Evolución del consumo de energía primaria en el Ecuador entre los años 2000 y 2006: un análisis de productos clave y descomposición estructural a

través del modelo insumo – producto”. Trabajo de Investigación del Programa de Doctorado de Economía Aplicada, Departamento de Economía Aplicada, Universidad Autónoma de Barcelona.

Butnar, I y Llop, M (2011) “Structural decomposition analysis and input–output subsystems: Changes in CO2 emissions of Spanish service sectors (2000–2005)” *Ecological Economics* Vol. 70, pp. 2012–2019.

Chen, J.C. and Rose, A. (1986) “The joint stability of input/output production and allocation coefficients” *Modelling and Simulation*, No. 17, pp. 251–255.

Cella, G (1984) “The Input-Output Measurement of Interindustry Linkages”, *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, Vol.46, pp. 73–84.

Dietzenbacher, E. (1997) “In vindication of the Ghosh model a reinterpretation as a price model”, *Journal of Regional Science*, Vol. 37, No. 4, pp. 629–651.

Dietzenbacher, E. (1992) “The Measurement of Interindustry Linkage: Key sectors in the Netherlands”, *Economic Modelling* Vol. 9, pp. 419-437.

Dietzenbacher, E., Pei, J y Yang, C (2012) “Trade, production fragmentation, and China’s carbon dioxide emissions” *Journal of Environmental Economics and Management* Vol. 64, pp. 88–101.

Diezenbacher, E. y Linden, J (1997), “Sectoral and Spatial Linkages in the EC Production Structure”, *Journal of Regional Science*, Vol. 37, No. 2, pp. 235-257.

Duarte, R., Sánchez-Chóliz, J., y Bielsa, J. (2002), “Water Use in the Spanish Economy: An input-output approach”, *Ecological Economics*, Vol. 43, No. 1, pp. 71-85.

- Eurostat (2009) Manual for Air Emissions Accounts, Eurostat: Methodologies and Working papers, European Commission.
- Fernández, N (2007) “Análisis input-output: identificación de los encadenamientos productivos y los sectores claves de la economía ecuatoriana para el año 2007” Tesis para obtener el título de maestría en economía con mención en gestión de pymes, FLACSO Ecuador.
- Gachet, I (2005) “Efectos Multiplicadores y Encadenamientos Productivos: Análisis Input-Output de la Economía Ecuatoriana”, Banco Central del Ecuador, Cuestiones Económicas, Vol. 21, No 3, pp. 97-133.
- Ghosh, A. (1958) “Input-Output approach in an allocation system”, *Economica*, Vol. 25, No. 27, pp. 58-64.
- Hazari, B. (1970) “Empirical identification of key sectors in the Indian economy”, *The review of economics and statistics*, Vol. 52, No. 3, pp. 301-305.
- Hirschman, A.O. (1958) “The strategy of economic development” Yale University Press.
- Hoekstra, R. (2010) “(Towards) a complete database of peer-reviewed articles on environmentally extended input – output analysis” Paper prepared for the 18th International Input – Output conference, June 20-25th, Sydney, Australia.
- Imori, D., and Guilhoto, J.J.M. (2010). “Estrutura produtiva brasileira e emissão de CO2”. XLV Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural. São Paulo: Editora Senac, pp. 205–233
- International Energy Agency (IEA). (2008). Energy Balances of OECD-countries, Documentation for beyond 2020 files, Paris, International Energy Agency.

- IEA (2012), “CO2 emissions from fuel combustion - highlights”
- IPCC (2006) “Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero”
- IPCC (2007) “Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático” Ginebra, Suiza
- Jones, L. (1976) “The measurement of Hirschmanian linkages”, *The Quarterly Journal of Economics*, Vol. 90, No. 2, pp. 323–333.
- Lenzen, M. (1998). “Primary Energy and greenhouse gases embodied in Australian final consumption: An input-output analysis”, *Energy Policy*, Vol. 26, No. 6, pp. 495 – 506.
- Lenzen, M. (2003) “Environmentally important paths, linkages and key sectors in the Australian economy”, *Structural Change and Economic Dynamics*, No. 14, pp. 1–34.
- Lenzen, M., Pade, L.L., and Munksgaard, J. (2004) “CO2 multipliers in multi-region input-output models”, *Economic Systems Research*, Vol. 16, No. 4, pp. 391–412.
- Leontief, W. (1936) “Quantitive input-output relations in the economic system of the United States”, *The Review of Economics and Statistics*, Vol. 18, No. 3, pp. 105–125.
- Leontief, W. (1970a). Environmental repercussions and the economic structure - an input-output approach. *The Review of Economics and Statistics*, Vol. 52, No. 3, pp. 262-271.

- Leontief, W. (1970b). Environmental Repercussions and the Economic Structure: An Input-Output approach. *The Review of Economics and Statistics*, Vol. 52, No. 3, pp. 262-271.
- Leontief, W. (1975). *Análisis input output*. Barcelona: Ediciones Orbis, S.A.
- Miller, R. and Blair, P. (2009) *Input-Output Analysis: foundations and extensions*, Cambridge University Press, 2nd edition.
- Ministerio del Ambiente del Ecuador-MAE (2012) “Estrategia Nacional de Cambio Climático del Ecuador ENCC 2012-2025”.
- Oosterhaven, J. (1988) “On the plausibility of the supply-driven input-output model”, *Journal of Regional Science*, Vol. 28.
- Peters, G.P. (2008) “From production-based to consumption-based national emission inventories”, *Ecological Economics*, No. 65, pp. 13–23.
- Piaggio, M (2013), “From global to local behind the relationship between the economy and the environment”, Tesis para obtener el título de doctor en economía aplicada, UAB, España, Recuperado de <http://hdl.handle.net/10803/121585>.
- Pulido, A y Fontanela, E (1993), “Análisis input output: Modelos, Datos y Aplicaciones”, Ediciones Pirámide, S.A. Madrid.
- Rasmussen, N.P. (1952) *Studies in inter-sectorial relation*, North-Holland Publishing Company.
- Schunschny, A (2005), ”Tópicos sobre el Modelo de Insumo-Producto: teoría y aplicaciones”, División de Estadísticas y Proyecciones Económicas, CEPAL.

SENPLADES (2013), “Plan Nacional del Buen Vivir 2013-2017”, Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo – Senplades, Ecuador.

United Nations. (1999a), “Handbook of input-output table compilation and analysis. Studies in Methods”, Handbook of National Accounting Serie F, No. 74 ST/ESA/STAT/SER.F/74. New York: United Nations, Statistics Division, Department for Economic and Social Affairs

Anexos

Anexo 2A.1. Metodología para la estimación de las emisiones de CO₂ por actividad económica en el Ecuador para el año 2013.

Para la estimación del vector de emisiones de CO₂, siguiendo a Alcántara y Roca (1995) y Alcántara et al. (2008), en primer lugar es necesario construir una matriz de entradas y salidas de los flujos de energía (primaria y secundaria) del país, cuya información fue obtenida de las hojas de balance energético publicados por la Agencia Internacional de Energía (IEA). Los elementos de las filas corresponden a los sectores energéticos y las columnas representan los tipos de energía. Los elementos de la diagonal corresponden a los consumos propios de su producción (utilizado en el proceso de transformación) y a las pérdidas en su distribución. Los elementos por fuera de la diagonal se registran tomando en cuenta los destinos que van de un sector energético a cada fuente de energía.

A partir de esta matriz se obtuvieron los coeficientes de energía directo por unidad de consumo final. Esta matriz, denominada **A** es una matriz cuadrada de dimensión $n \times n$, donde n es el número total de tipos de energía (primaria y secundaria).

Para estimar las necesidades directas e indirectas de energía se calculó la matriz inversa de Leontief $(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}$ donde \mathbf{I} representa la matriz identidad. Para evitar la doble contabilidad se considera por el lado de las filas únicamente a las fuentes primarias. Esta matriz es denominada como **T**, matriz de transformación de consumos finales de energía a energías primarias. La matriz **T** de orden $j \times k$, donde j es el número de fuentes primarias y k es el número de energías finales, refleja la eficiencia en la transformación de la energía, es decir, esta matriz muestra en cuánto debe ser la transformación de los consumos finales de energía a datos de energía primaria (Tabla 2A.1).

Anexo 2A.2. Matriz T de Transformación de energía primaria en energía final para Ecuador para el año 2013.

	Gas Natural	Productos del petróleo	Electricidad
Crudo, Gas licuado y materia prima	0.00	0.63	1.21
Importación de refinados de petróleo	0.00	0.36	0.58
Gas Natural	1.12	0.00	0.46
Energía hidroeléctrica	0.00	0.00	0.70
Importación electricidad	0.00	0.00	0.07
Combustibles renovables	0.00	0.00	0.16
Total primaria	1.12	1.00	3.19

Fuente: Elaboración propia a partir de balances energéticos de IEA

Para establecer los requerimientos de energía primaria por sectores, es necesario la construcción de una matriz E (jxs) donde s el número de actividades económicas

$$E = T * P * \hat{C}$$

Donde:

T es la matriz de transformación;

P es una matriz que representa los pesos relativos de cada forma de energía final en las diferentes actividades y es de orden kxs; y,

\hat{C} es una matriz diagonal cuyos elementos son los consumos finales de energía de cada actividad y es de orden sxs.

Las emisiones de CO₂ se calculan incluyendo una matriz \hat{F} , que es una matriz diagonal jxj, cuyos elementos de la diagonal principal corresponden a los factores de emisión de las fuentes de energía consideradas para el análisis. Por lo tanto:

$$Q = \hat{F} * E = \hat{F} * T * P * \hat{C}$$

Donde **Q**, es una matriz jxs, de emisiones desagregada por fuentes energéticas y actividades económicas que generan dichas emisiones.

Al no contar con estadística oficial sobre el consumo de energía final por actividad. (matriz **P**); fue necesario estimar dicha información a partir de los datos existentes en las cuentas nacionales (tablas oferta utilización, TOU), ya que éstos se transforman en energía como parte de su proceso productivo⁸.

El procedimiento utilizado consistió en relacionar la información publicada en las TOU año 2013 (desagregada a 277 productos) con la información proveniente del balance energético publicado por el Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos del Ecuador (MICSE). De esa forma el objetivo consistió en construir un vector de utilización total de KBEPs por cada fuente de energía, para el aparato productivo, es decir, excluyendo tanto el uso residencial como las exportaciones. Este vector de usos energéticos muestra el total de energías primarias y secundarias utilizadas por el aparato productivo nacional para su funcionamiento, incluyendo el proceso de refinamiento del petróleo⁹. Sin embargo, dado que el número de fuentes de energía en el balance energético es menor a las fuentes de energía descritas en el cuadro de utilización, se requiere agregar las fuentes en el cuadro de utilización de manera que sean comparables con las categorías del balance energético¹⁰.

⁸ El problema radica en que estos valores están expresados en unidades monetarias constantes al 2007, al no contar con los precios del 2007 para cada uno de esos insumos, se buscó otro camino para transformar a unidades físicas cada uno de los usos.

⁹ Los tipos de energía que constan en el balance energético son: “Petróleo”, “Gas Natural”, “Gasolinas/Naftas”, “Diesel Oil”, “Fuel Oil”, “Kerosene y Turbo”, “Gas Licuado” y “Electricidad”.

¹⁰ En este punto se realizó el primer tratamiento a la información. El rubro de cuentas nacionales “Otros combustibles y aceites de petróleo (incluye lubricantes)” incluye “gasolina de avión (Jet Fuel / Turbo)” y “otros no derivados del petróleo no energéticos”. Por este motivo, se eliminan todos los consumos fuera de la industria de transporte y se asume que el total del consumo energético de “Otros combustibles y aceites de petróleo (incluye lubricantes)” se concentra en la industria del transporte. Posteriormente, se agregaron a los anteriores rubros, los de “Gasolinas” y “Naftas y gasolina natural” en el cuadro de utilización de tal forma que sea equiparable al rubro “Derivados del petróleo” del balance energético. Se eliminan los usos de “Otros combustibles y aceites de petróleo (incluye lubricantes)” fuera de la industria de transporte y se asume que el uso en la industria de transporte corresponde “Kerosene y Turbo”. Finalmente, se agregan los rubros “Energía eléctrica” y “Servicios de transmisión y distribución”.

Los datos para construir la matriz \hat{C} son el resultado de distribuir linealmente las transformaciones descritas en el párrafo anterior, al total de KBEPs por fuente energética entre las distintas industrias en función de su participación en el consumo intermedio total de cada fuente de energía, asumiendo que los precios son los mismos entre las distintas industrias, lo cual dadas las políticas existentes en temas de combustibles en el país, resulta ser un supuesto válido. El resultado de este procedimiento puede verse en el Anexo 2A.3.

Anexo 2A.3. Estimación de consumo final de energía por actividad económica para Ecuador para el año 2013.

Actividad	ktoe	% frente al total
1 Banano, café y cacao	47,6	0,4%
2 Cereales	17,1	0,1%
3 Flores y capullos	18,1	0,2%
4 Tubérculos, Vegetales, melones y frutas	33,6	0,3%
5 Oleaginosas e industrializables	111,4	0,9%
6 Servicios relacionados con la agricultura	41,2	0,3%
7 Animales vivos y productos animales	133,0	1,1%
8 Productos de la silvicultura	13,5	0,1%
9 Camarón vivo o fresco y larvas de camaron	165,0	1,4%
10 Pescado y otros productos acuaticos (excepto camarón)	178,9	1,5%
11 Productos de la acuicultura (excepto camarón)	10,0	0,1%
12 Petróleo crudo y gas natural	587,6	4,9%
13 Servicios relacionados con el petróleo y gas natural	37,6	0,3%
14 Minerales metálicos	29,4	0,2%
15 Minerales no metálicos	33,0	0,3%
16 Carne, productos de la carne y subproductos	57,5	0,5%
17 Camarón elaborado	48,5	0,4%
18 Pescado y otros productos acuáticos elaborados	23,9	0,2%
19 Preparados y conservas de pescado y de otras especies acúaticas	39,0	0,3%
20 Aceites crudos y refinados	13,2	0,1%
21 Productos lácteos elaborados	17,7	0,1%
22 Productos de molinería	7,4	0,1%
23 Productos de la panadería	13,5	0,1%
24 Fideos, macarrones y otros productos farináceos similares	10,9	0,1%
25 Azúcar, panela y melaza	33,0	0,3%
26 Cacao elaborado, chocolate y productos de confitería	8,0	0,1%
27 Alimento para animales	3,1	0,0%
28 Productos de café elaborado	10,9	0,1%
29 Productos alimenticios diversos	27,3	0,2%
30 Bebidas alcohólicas	22,1	0,2%
31 Bebidas no alcohólicas	12,1	0,1%
32 Tabaco elaborado	0,1	0,0%
33 Hilos, hilados; tejidos y confecciones	31,1	0,3%
34 Prendas de vestir	8,6	0,1%
		cont ...

cont...

Actividad	ktoe	% frente al total
35 Cuero, productos de cuero y calzado	5,9	0,0%
36 Productos de madera tratada, corcho y otros materiales	126,7	1,1%
37 Pasta de papel, papel y cartón, productos editoriales y otros	38,3	0,3%
38 Aceites refinados de petróleo y de otros productos	2180,3	18,4%
39 Productos químicos básicos, abonos y plásticos primarios	7,0	0,1%
40 Otros productos químicos	200,9	1,7%
41 Productos de caucho	3,1	0,0%
42 Productos de plástico	35,8	0,3%
43 Vidrio, cerámica y refractarios	112,3	0,9%
44 Cemento, artículos de hormigón y piedra	530,0	4,5%
45 Metales comunes	29,7	0,2%
46 Productos metálicos elaborados	52,1	0,4%
47 Maquinaria, equipo y aparatos eléctricos	56,1	0,5%
48 Equipo de transporte	17,2	0,1%
49 Muebles	12,5	0,1%
50 Otros productos manufacturados	28,3	0,2%
51 Electricidad	2008,4	16,9%
52 Agua, servicios de saneamiento y gas (exc de petróleo)	14,1	0,1%
53 Trabajos de construcción y construcción	350,6	3,0%
54 Servicios de comercio	315,6	2,7%
55 Servicios de reparación y mantenimiento de vehículos de motor y motocicletas	5,0	0,0%
56 Servicios de alojamiento	47,1	0,4%
57 Servicios de restaurante	142,0	1,2%
58 Servicios de transporte y almacenamiento	2692,2	22,7%
59 Servicios postales y de mensajería	11,1	0,1%
60 Servicios de telecomunicaciones, transmisión e información	167,9	1,4%
61 Servicios de intermediación financiera	26,7	0,2%
62 Servicios de seguros y fondos de pensiones	2,1	0,0%
63 Servicios inmobiliarios	64,0	0,5%
64 Servicios prestados a las empresas y de producción	355,4	3,0%
65 Servicios administrativos del gobierno y para la comunidad en general	209,6	1,8%
66 Servicios de enseñanza privado	4,6	0,0%
67 Servicios de enseñanza público (no de mercado)	21,5	0,2%
68 Servicios sociales y de salud de mercado	5,8	0,0%
69 Servicios sociales y de salud no de mercado	42,6	0,4%
70 Servicios de asociaciones; esparcimiento; culturales y deportivos	110,4	0,9%
71 Servicio doméstico	0,0	0,0%
Total	11878,0	100,0%

Fuente: Cálculos propios a partir de balances energéticos (IAE) y tablas TOU (BCE). Ver texto

Finalmente la matriz \hat{F} , correspondiente a los factores de emisión por tipo de energía, fue elaborada en base a las Directrices del IPCC (2006), teniendo en cuenta la composición de cada fuente. En concreto para gas natural se utilizó un factor de 2.68 tCO₂/tep; para petróleo crudo 3.06 tCO₂/tep. Finalmente, para el factor de derivados, un factor de 3.11 tCO₂/tep (Ver Anexo 2A.4).

Anexo 2A.4. Estimación de emisiones de CO2 por actividad económica para Ecuador para el año 2013.

Actividad	ktCO2	% frente al total
1 Banano, café y cacao	174,9	0,4%
2 Cereales	59,8	0,1%
3 Flores y capullos	75,7	0,2%
4 Tubérculos, Vegetales, melones y frutas	118,1	0,3%
5 Oleaginosas e industrializables	395,2	0,9%
6 Servicios relacionados con la agricultura	142,4	0,3%
7 Animales vivos y productos animales	504,3	1,2%
8 Productos de la silvicultura	45,9	0,1%
9 Camarón vivo o fresco y larvas de camarón	563,1	1,3%
10 Pescado y otros productos acuáticos (excepto camarón)	609,5	1,5%
11 Productos de la acuicultura (excepto camarón)	38,8	0,1%
12 Petróleo crudo y gas natural	2200,0	5,2%
13 Servicios relacionados con el petróleo y gas natural	135,7	0,3%
14 Minerales metálicos	106,2	0,3%
15 Minerales no metálicos	117,4	0,3%
16 Carne, productos de la carne y subproductos	241,6	0,6%
17 Camarón elaborado	186,9	0,4%
18 Pescado y otros productos acuáticos elaborados	87,1	0,2%
19 Preparados y conservas de pescado y de otras especies acuáticas	142,4	0,3%
20 Aceites crudos y refinados	55,0	0,1%
21 Productos lácteos elaborados	66,9	0,2%
22 Productos de molinería	29,4	0,1%
23 Productos de la panadería	50,0	0,1%
24 Fideos, macarrones y otros productos farináceos similares	39,0	0,1%
25 Azúcar, panela y melaza	128,5	0,3%
26 Cacao elaborado, chocolate y productos de confitería	31,4	0,1%
27 Alimento para animales	11,8	0,0%
28 Productos de café elaborado	42,3	0,1%
29 Productos alimenticios diversos	106,9	0,3%
30 Bebidas alcohólicas	81,2	0,2%
31 Bebidas no alcohólicas	44,6	0,1%
32 Tabaco elaborado	0,5	0,0%
33 Hilos, hilados; tejidos y confecciones	129,2	0,3%
34 Prendas de vestir	35,3	0,1%
35 Cuero, productos de cuero y calzado	24,7	0,1%
36 Productos de madera tratada, corcho y otros materiales	443,3	1,1%
37 Pasta de papel, papel y cartón, productos editoriales y otros	157,7	0,4%
38 Aceites refinados de petróleo y de otros productos	7398,9	17,6%
39 Productos químicos básicos, abonos y plásticos primarios	29,9	0,1%
40 Otros productos químicos	691,2	1,6%
41 Productos de caucho	13,5	0,0%
42 Productos de plástico	164,0	0,4%
43 Vidrio, cerámica y refractarios	396,9	0,9%
44 Cemento, artículos de hormigón y piedra	1869,9	4,5%
45 Metales comunes	117,4	0,3%

cont...

Actividad	ktCO2	% frente al total
46 Productos metálicos elaborados	189,7	0,5%
47 Maquinaria, equipo y aparatos eléctricos	192,9	0,5%
48 Equipo de transporte	76,5	0,2%
49 Muebles	49,0	0,1%
50 Otros productos manufacturados	129,6	0,3%
51 Electricidad	6772,6	16,1%
52 Agua, servicios de saneamiento y gas (exc de petróleo)	56,0	0,1%
53 Trabajos de construcción y construcción	1230,9	2,9%
54 Servicios de comercio	1260,5	3,0%
55 Servicios de reparación y mantenimiento de vehículos de motor y motocicletas	18,9	0,0%
56 Servicios de alojamiento	188,0	0,4%
57 Servicios de restaurante	517,2	1,2%
58 Servicios de transporte y almacenamiento	9188,8	21,9%
59 Servicios postales y de mensajería	39,3	0,1%
60 Servicios de telecomunicaciones, transmisión e información	761,8	1,8%
61 Servicios de intermediación financiera	127,4	0,3%
62 Servicios de seguros y fondos de pensiones	10,5	0,0%
63 Servicios inmobiliarios	231,9	0,6%
64 Servicios prestados a las empresas y de producción	1275,2	3,0%
65 Servicios administrativos del gobierno y para la comunidad en general	856,0	2,0%
66 Servicios de enseñanza privado	19,7	0,0%
67 Servicios de enseñanza público (no de mercado)	100,9	0,2%
68 Servicios sociales y de salud de mercado	22,4	0,1%
69 Servicios sociales y de salud no de mercado	182,8	0,4%
70 Servicios de asociaciones; esparcimiento; culturales y deportivos	416,3	1,0%
71 Servicio doméstico	0,0	0,0%
Total	42019,2	100,0%

Fuente: Elaboración propia a partir de balances energéticos de la IEA, tablas TOU (BCE) y Directrices del IPCC (2006), ver texto.

Anexo 2A.5. Clasificación de las actividades económicas de la matriz IO.

Sector Primario	Sector Manufacturero	Sector Servicios
Banano, café y cacao	Camarón elaborado	Servicios de comercio
Cereales	Pescado y otros productos acuáticos elaborados	Servicios de reparación y mantenimiento de vehículos de motor y motocicletas
Flores y capullos	Preparados y conservas de pescado y de otras especies acuáticas	Servicios de alojamiento
Tubérculos, Vegetales, melones y frutas	Aceites crudos y refinados	Servicios de restaurante
Oleaginosas e industrializables	Productos lácteos elaborados	Servicios de transporte y almacenamiento
Servicios relacionados con la agricultura	Productos de molinería	Servicios postales y de mensajería
Animales vivos y productos animales	Productos de la panadería	Servicios de telecomunicaciones, transmisión e información
Productos de la silvicultura	Fideos, macarrones y otros productos farináceos similares	Servicios de intermediación financiera
Camarón vivo o fresco y larvas de camarón	Azúcar, panela y melaza	Servicios de seguros y fondos de pensiones
Pescado y otros productos acuáticos (excepto camarón)	Cacao elaborado, chocolate y productos de confitería	Servicios inmobiliarios
Productos de la acuicultura (excepto camarón)	Alimento para animales	Servicios prestados a las empresas y de producción
Petróleo crudo y gas natural	Productos de café elaborado	Servicios administrativos del gobierno y para la comunidad en general
Servicios relacionados con el petróleo y gas natural	Productos alimenticios diversos	Servicios de enseñanza privado
Minerales metálicos	Bebidas alcohólicas	Servicios de enseñanza público (no de mercado)
Minerales no metálicos	Bebidas no alcohólicas	Servicios sociales y de salud de mercado
Carne, productos de la carne y subproductos	Tabaco elaborado	Servicios sociales y de salud no de mercado
	Hilos, hilados; tejidos y confecciones	Servicios de asociaciones; esparcimiento; culturales y deportivos
	Prendas de vestir	Servicio doméstico
	Cuero, productos de cuero y calzado	
	Productos de madera tratada, corcho y otros materiales	
	Pasta de papel, papel y cartón, productos editoriales y otros	
	Aceites refinados de petróleo y de otros productos	
	Productos químicos básicos, abonos y plásticos primarios	
	Otros productos químicos	
	Productos de caucho	
	Productos de plástico	
	Vidrio, cerámica y refractarios	
	Cemento, artículos de hormigón y piedra	
	Metales comunes	
	Productos metálicos elaborados	
	Maquinaria, equipo y aparatos eléctricos	
	Equipo de transporte	
	Muebles	
	Otros productos manufacturados	
	Electricidad	
	Agua, servicios de saneamiento y gas (exc de petróleo)	
	Trabajos de construcción y construcción	

Fuente: Basado en Gachet (2005)

Anexo 2A.6. Emisiones directas y total de CO2 por actividad económica.

Código	Actividad	Emisión		Emisión	
		Directa	%	Total	%
58	Servicios de transporte y almacenamiento	9189	21,9%	4986	11,9%
38	Aceites refinados de petróleo y de otros productos	7399	17,6%	3632	8,6%
51	Electricidad	6773	16,1%	4257	10,1%
12	Petróleo crudo y gas natural	2200	5,2%	3926	9,3%
44	Cemento, artículos de hormigón y piedra	1870	4,5%	-36	-0,1%
64	Servicios prestados a las empresas y de producción	1275	3,0%	148	0,4%
54	Servicios de comercio	1261	3,0%	2437	5,8%
53	Trabajos de construcción y construcción	1231	2,9%	5916	14,1%
65	Servicios administrativos del gobierno y para la comunidad en g	856	2,0%	1752	4,2%
60	Servicios de telecomunicaciones, transmisión e información	762	1,8%	1280	3,0%
40	Otros productos químicos	691	1,6%	492	1,2%
10	Pescado y otros productos acuaticos (excepto camarón)	610	1,5%	244	0,6%
9	Camarón vivo o fresco y larvas de camaron	563	1,3%	38	0,1%
57	Servicios de restaurante	517	1,2%	881	2,1%
7	Animales vivos y productos animales	504	1,2%	525	1,2%
36	Productos de madera tratada, corcho y otros materiales	443	1,1%	26	0,1%
70	Servicios de asociaciones; esparcimiento; culturales y deportiv	416	1,0%	725	1,7%
43	Vidrio, cerámica y refractarios	397	0,9%	81	0,2%
5	Oleaginosas e industrializables	395	0,9%	51	0,1%
16	Carne, productos de la carne y subproductos	242	0,6%	861	2,0%
63	Servicios inmobiliarios	232	0,6%	946	2,3%
47	Maquinaria, equipo y aparatos eléctricos	193	0,5%	290	0,7%
46	Productos metálicos elaborados	190	0,5%	284	0,7%
56	Servicios de alojamiento	188	0,4%	157	0,4%
17	Camarón elaborado	187	0,4%	1081	2,6%
69	Servicios sociales y de salud no de mercado	183	0,4%	584	1,4%
1	Banano, café y cacao	175	0,4%	519	1,2%
42	Productos de plástico	164	0,4%	44	0,1%
37	Pasta de papel, papel y cartón, productos editoriales y otros	158	0,4%	145	0,3%
6	Servicios relacionados con la agricultura	142	0,3%	0	0,0%
19	Preparados y conservas de pescado y de otras especies acúati	142	0,3%	520	1,2%
13	Servicios relacionados con el petróleo y gas natural	136	0,3%	0	0,0%
50	Otros productos manufacturados	130	0,3%	44	0,1%
33	Hilos, hilados; tejidos y confecciones	129	0,3%	136	0,3%
25	Azúcar, panela y melaza	129	0,3%	192	0,5%
61	Servicios de intermediación financiera	127	0,3%	211	0,5%
4	Tubérculos, Vegetales, melones y frutas	118	0,3%	211	0,5%
15	Minerales no metálicos	117	0,3%	-1	0,0%
45	Metales comunes	117	0,3%	194	0,5%
29	Productos alimenticios diversos	107	0,3%	359	0,9%
14	Minerales metálicos	106	0,3%	30	0,1%
67	Servicios de enseñanza público (no de mercado)	101	0,2%	259	0,6%
18	Pescado y otros productos acuáticos elaborados	87	0,2%	280	0,7%
30	Bebidas alcohólicas	81	0,2%	245	0,6%
48	Equipo de transporte	77	0,2%	146	0,3%
3	Flores y capullos	76	0,2%	296	0,7%
21	Productos lácteos elaborados	67	0,2%	411	1,0%
2	Cereales	60	0,1%	17	0,0%
52	Agua, servicios de saneamiento y gas (exc de petróleo)	56	0,1%	41	0,1%
20	Aceites crudos y refinados	55	0,1%	211	0,5%
23	Productos de la panadería	50	0,1%	186	0,4%
49	Muebles	49	0,1%	348	0,8%

cont...

Código	Actividad	Emisión		Emisión	
		Directa	%	Total	%
8	Productos de la silvicultura	46	0,1%	47	0,1%
31	Bebidas no alcohólicas	45	0,1%	202	0,5%
28	Productos de café elaborado	42	0,1%	84	0,2%
59	Servicios postales y de mensajería	39	0,1%	60	0,1%
24	Fideos, macarrones y otros productos farináceos similares	39	0,1%	54	0,1%
11	Productos de la acuicultura (excepto camarón)	39	0,1%	44	0,1%
34	Prendas de vestir	35	0,1%	146	0,3%
26	Cacao elaborado, chocolate y productos de confitería	31	0,1%	100	0,2%
39	Productos químicos básicos, abonos y plásticos primarios	30	0,1%	6	0,0%
22	Productos de molinería	29	0,1%	201	0,5%
35	Cuero, productos de cuero y calzado	25	0,1%	86	0,2%
68	Servicios sociales y de salud de mercado	22	0,1%	111	0,3%
66	Servicios de enseñanza privado	20	0,0%	122	0,3%
55	Servicios de reparación y mantenimiento de vehículos de motor	19	0,0%	21	0,1%
41	Productos de caucho	14	0,0%	23	0,1%
27	Alimento para animales	12	0,0%	37	0,1%
62	Servicios de seguros y fondos de pensiones	11	0,0%	48	0,1%
32	Tabaco elaborado	0	0,0%	15	0,0%
71	Servicio doméstico	0	0,0%	0	0,0%
Total		42.019	100%	42.019	100%

Fuente: Cálculos propios a partir de estimación de emisiones de CO₂ (Anexo 2A.4) y MATRIZ IO (BCE, 2013).

Anexo 2A.7. Clasificación de las actividades económicas en sectores clave, relevantes de demanda u oferta.

Código	Actividad	μ_j/μ	cv_j	μ_i/μ	cvi	clasificación
1	Banano, café y cacao	0,9	5,5	0,3	4,8	resto
2	Cereales	0,0	4,6	0,2	7,5	resto
3	Flores y capullos	0,5	8,4	0,1	6,0	resto
4	Tubérculos, Vegetales, melones y frutas	0,4	7,8	0,2	7,2	resto
5	Oleaginosas e industrializables	0,1	3,2	1,1	7,1	relevante oferta
6	Servicios relacionados con la agricultura	0,0	6,4	0,3	7,9	resto
7	Animales vivos y productos animales	0,9	4,8	0,3	3,9	resto
8	Productos de la silvicultura	0,1	5,6	0,4	8,0	resto
9	Camarón vivo o fresco y larvas de camarón	0,1	6,3	0,7	6,6	resto
10	Pescado y otros productos acuáticos (excepto camarón)	0,4	5,9	0,8	7,2	resto
11	Productos de la acuicultura (excepto camarón)	0,1	7,3	0,1	8,1	resto
12	Petróleo crudo y gas natural	6,6	5,0	6,2	3,4	sector clave
13	Servicios relacionados con el petróleo y gas natural	0,0	6,9	1,1	6,4	relevante oferta
14	Minerales metálicos	0,1	6,8	0,2	8,1	resto
15	Minerales no metálicos	0,0	7,9	0,2	8,1	resto
16	Carne, productos de la carne y subproductos	1,5	6,9	0,2	4,1	relevante demanda
17	Camarón elaborado	1,8	8,2	0,1	4,4	relevante demanda
18	Pescado y otros productos acuáticos elaborados	0,5	7,4	0,1	5,2	resto
19	Preparados y conservas de pescado y de otras especies acuáticas	0,9	8,1	0,2	5,5	resto
20	Aceites crudos y refinados	0,4	6,9	0,1	6,7	resto
21	Productos lácteos elaborados	0,7	8,0	0,0	5,1	resto
22	Productos de molinería	0,3	5,5	0,0	5,5	resto
23	Productos de la panadería	0,3	8,1	0,1	5,7	resto
24	Fideos, macarrones y otros productos farináceos similares	0,1	8,3	0,0	7,9	resto
25	Azúcar, panela y melaza	0,3	6,9	0,1	7,0	resto
26	Cacao elaborado, chocolate y productos de confitería	0,2	8,3	0,0	7,2	resto
27	Alimento para animales	0,1	5,3	0,3	6,5	resto
28	Productos de café elaborado	0,1	8,4	0,0	7,7	resto
29	Productos alimenticios diversos	0,6	7,9	0,1	6,0	resto
30	Bebidas alcohólicas	0,4	8,1	0,1	6,4	resto
31	Bebidas no alcohólicas	0,3	8,3	0,1	6,4	resto
32	Tabaco elaborado	0,0	8,4	0,0	8,2	resto
33	Hilos, hilados; tejidos y confecciones	0,2	6,2	0,2	7,5	resto
34	Prendas de vestir	0,2	8,1	0,1	6,2	resto
35	Cuero, productos de cuero y calzado	0,1	8,2	0,0	7,5	resto
36	Productos de madera tratada, corcho y otros materiales	0,0	6,0	0,4	5,9	resto
37	Pasta de papel, papel y cartón, productos editoriales y otros	0,2	4,9	0,8	7,3	resto
38	Aceites refinados de petróleo y de otros productos	6,1	3,3	11,0	6,2	sector clave
39	Productos químicos básicos, abonos y plásticos primarios	0,0	6,2	0,2	8,1	resto
40	Otros productos químicos	0,8	5,8	1,1	6,7	relevante oferta
41	Productos de caucho	0,0	8,1	0,0	8,2	resto
42	Productos de plástico	0,1	5,4	0,5	8,0	resto
43	Vidrio, cerámica y refractarios	0,1	7,9	0,4	7,9	resto
44	Cemento, artículos de hormigón y piedra	-0,1	7,6	1,9	5,5	relevante oferta
45	Metales comunes	0,3	5,6	0,3	5,6	resto
46	Productos metálicos elaborados	0,5	7,4	0,3	6,1	resto
47	Maquinaria, equipo y aparatos eléctricos	0,5	6,0	0,3	6,0	resto
48	Equipo de transporte	0,2	7,9	0,2	6,8	resto
49	Muebles	0,6	8,3	0,0	5,3	resto
50	Otros productos manufacturados	0,1	4,5	0,6	7,0	resto
51	Electricidad	7,2	5,2	5,8	5,9	sector clave

cont...

Código	Actividad	μj/μ	cvj	μi/μ	cvi	clasificación
52	Agua, servicios de saneamiento y gas (exc de petróleo)	0,1	6,7	0,3	7,9	resto
53	Trabajos de construcción y construcción	10,0	6,4	1,5	2,5	sector clave
54	Servicios de comercio	4,1	1,4	4,8	3,5	sector clave
55	Servicios de reparación y mantenimiento de vehículos de motor y motc	0,0	6,6	0,7	7,9	resto
56	Servicios de alojamiento	0,3	7,8	0,3	7,0	resto
57	Servicios de restaurante	1,5	7,6	0,7	3,8	relevante demanda
58	Servicios de transporte y almacenamiento	8,4	2,3	12,6	4,3	sector clave
59	Servicios postales y de mensajería	0,1	7,8	0,1	8,1	resto
60	Servicios de telecomunicaciones, transmisión e información	2,2	5,7	1,1	5,1	sector clave
61	Servicios de intermediación financiera	0,4	3,6	1,0	5,5	relevante oferta
62	Servicios de seguros y fondos de pensiones	0,1	6,7	0,3	7,5	resto
63	Servicios inmobiliarios	1,6	5,0	0,8	5,5	relevante demanda
64	Servicios prestados a las empresas y de producción	0,2	1,4	6,8	5,3	relevante oferta
65	Servicios administrativos del gobierno y para la comunidad en general	3,0	8,4	1,1	3,8	sector clave
66	Servicios de enseñanza privado	0,2	8,3	0,0	7,0	resto
67	Servicios de enseñanza público (no de mercado)	0,4	8,4	0,2	7,1	resto
68	Servicios sociales y de salud de mercado	0,2	8,4	0,0	7,2	resto
69	Servicios sociales y de salud no de mercado	1,0	8,4	0,2	5,6	resto
70	Servicios de asociaciones; esparcimiento; culturales y deportivos	1,2	7,4	0,6	5,7	relevante demanda
71	Servicio doméstico	0,0	8,4	0,0	8,4	resto

Fuente: Cálculos propios a partir de estimación de emisiones de CO₂ (Anexo 2A.4) y MATRIZ IO (BCE, 2013).

Anexo 2A.8. Comparación de tipología de clasificación de sectores en función de la matriz de Ghosh y Leontief para cálculo de Forward Linkage.

Código	Actividad	Forward Linkages						Resultado
		Leontief			Ghosh			
		μ	μ/μ	>1	μ	μ/μ	>1	
1	Banano, café y cacao	1,6	0,3	0,0	1,4	0,3	0,0	sin cambio
2	Cereales	0,6	0,1	0,0	1,1	0,2	0,0	sin cambio
3	Flores y capullos	0,7	0,1	0,0	0,5	0,1	0,0	sin cambio
4	Tubérculos, Vegetales, melones y frutas	1,1	0,2	0,0	1,0	0,2	0,0	sin cambio
5	Oleaginosas e industrializables	3,7	0,7	0,0	5,9	1,1	1,0	FL Ghosh
6	Servicios relacionados con la agricultura	1,3	0,2	0,0	1,4	0,3	0,0	sin cambio
7	Animales vivos y productos animales	4,7	0,9	0,0	1,9	0,3	0,0	sin cambio
8	Productos de la silvicultura	0,4	0,1	0,0	2,1	0,4	0,0	sin cambio
9	Camarón vivo o fresco y larvas de camarón	5,3	1,0	0,0	3,9	0,7	0,0	sin cambio
10	Pescado y otros productos acuáticos (excepto camarón)	5,7	1,0	1,0	4,6	0,8	0,0	FL Leontief
11	Productos de la acuicultura (excepto camarón)	0,4	0,1	0,0	0,4	0,1	0,0	sin cambio
12	Petróleo crudo y gas natural	20,7	3,7	1,0	34,3	6,2	1,0	sin cambio
13	Servicios relacionados con el petróleo y gas natural	1,3	0,2	0,0	6,1	1,1	1,0	FL Ghosh
14	Minerales metálicos	1,0	0,2	0,0	1,1	0,2	0,0	sin cambio
15	Minerales no metálicos	1,1	0,2	0,0	1,3	0,2	0,0	sin cambio
16	Carne, productos de la carne y subproductos	2,3	0,4	0,0	0,9	0,2	0,0	sin cambio
17	Camarón elaborado	1,8	0,3	0,0	0,4	0,1	0,0	sin cambio
18	Pescado y otros productos acuáticos elaborados	0,8	0,1	0,0	0,4	0,1	0,0	sin cambio
19	Preparados y conservas de pescado y de otras especies acuáticas	1,3	0,2	0,0	1,0	0,2	0,0	sin cambio
20	Aceites crudos y refinados	0,5	0,1	0,0	0,4	0,1	0,0	sin cambio
21	Productos lácteos elaborados	0,6	0,1	0,0	0,3	0,0	0,0	sin cambio
22	Productos de molinería	0,3	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	sin cambio
23	Productos de la panadería	0,5	0,1	0,0	0,3	0,1	0,0	sin cambio
24	Fideos, macarrones y otros productos farináceos similares	0,4	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	sin cambio
25	Azúcar, panela y melaza	1,2	0,2	0,0	0,4	0,1	0,0	sin cambio
26	Cacao elaborado, chocolate y productos de confitería	0,3	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	sin cambio
27	Alimento para animales	0,1	0,0	0,0	1,5	0,3	0,0	sin cambio
28	Productos de café elaborado	0,4	0,1	0,0	0,2	0,0	0,0	sin cambio
29	Productos alimenticios diversos	1,0	0,2	0,0	0,3	0,1	0,0	sin cambio
30	Bebidas alcohólicas	0,8	0,1	0,0	0,5	0,1	0,0	sin cambio
31	Bebidas no alcohólicas	0,4	0,1	0,0	0,3	0,1	0,0	sin cambio
32	Tabaco elaborado	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	sin cambio
33	Hilos, hilados; tejidos y confecciones	1,2	0,2	0,0	1,2	0,2	0,0	sin cambio
34	Prendas de vestir	0,3	0,1	0,0	0,3	0,1	0,0	sin cambio
35	Cuero, productos de cuero y calzado	0,2	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	sin cambio
36	Productos de madera tratada, corcho y otros materiales	4,2	0,7	0,0	2,3	0,4	0,0	sin cambio
37	Pasta de papel, papel y cartón, productos editoriales y otros	1,5	0,3	0,0	4,6	0,8	0,0	sin cambio
38	Aceites refinados de petróleo y de otros productos	69,5	12,5	1,0	61,4	11,0	1,0	sin cambio
39	Productos químicos básicos, abonos y plásticos primarios	0,3	0,1	0,0	1,0	0,2	0,0	sin cambio
40	Otros productos químicos	6,5	1,2	1,0	6,3	1,1	1,0	sin cambio
41	Productos de caucho	0,1	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	sin cambio
42	Productos de plástico	1,5	0,3	0,0	2,8	0,5	0,0	sin cambio
43	Vidrio, cerámica y refractarios	3,7	0,7	0,0	2,5	0,4	0,0	sin cambio
44	Cemento, artículos de hormigón y piedra	17,6	3,2	1,0	10,4	1,9	1,0	sin cambio
45	Metales comunes	1,1	0,2	0,0	1,8	0,3	0,0	sin cambio
46	Productos metálicos elaborados	1,8	0,3	0,0	1,6	0,3	0,0	sin cambio
47	Maquinaria, equipo y aparatos eléctricos	1,8	0,3	0,0	1,8	0,3	0,0	sin cambio
48	Equipo de transporte	0,7	0,1	0,0	1,0	0,2	0,0	sin cambio
49	Muebles	0,5	0,1	0,0	0,2	0,0	0,0	sin cambio
50	Otros productos manufacturados	1,2	0,2	0,0	3,5	0,6	0,0	sin cambio
51	Electricidad	63,6	11,4	1,0	32,0	5,8	1,0	sin cambio

cont...

Código	Actividad	Forward Linkages						Resultado
		Leontief			Ghosh			
		μ_i	μ_i/μ	>1	μ_i	μ_i/μ	>1	
52	Agua, servicios de saneamiento y gas (exc de petróleo)	0,5	0,1	0,0	1,9	0,3	0,0	sin cambio
53	Trabajos de construcción y construcción	11,6	2,1	1,0	8,6	1,5	1,0	sin cambio
54	Servicios de comercio	11,8	2,1	1,0	26,9	4,8	1,0	sin cambio
55	Servicios de reparación y mantenimiento de vehículos de motor y motc	0,2	0,0	0,0	3,9	0,7	0,0	sin cambio
56	Servicios de alojamiento	1,8	0,3	0,0	1,6	0,3	0,0	sin cambio
57	Servicios de restaurante	4,9	0,9	0,0	3,8	0,7	0,0	sin cambio
58	Servicios de transporte y almacenamiento	86,3	15,5	1,0	70,3	12,6	1,0	sin cambio
59	Servicios postales y de mensajería	0,4	0,1	0,0	0,4	0,1	0,0	sin cambio
60	Servicios de telecomunicaciones, transmisión e información	7,2	1,3	1,0	6,1	1,1	1,0	sin cambio
61	Servicios de intermediación financiera	1,2	0,2	0,0	5,6	1,0	1,0	FL Ghosh
62	Servicios de seguros y fondos de pensiones	0,1	0,0	0,0	1,5	0,3	0,0	sin cambio
63	Servicios inmobiliarios	2,2	0,4	0,0	4,6	0,8	0,0	sin cambio
64	Servicios prestados a las empresas y de producción	12,0	2,2	1,0	37,6	6,8	1,0	sin cambio
65	Servicios administrativos del gobierno y para la comunidad en general	8,0	1,4	1,0	6,4	1,1	1,0	sin cambio
66	Servicios de enseñanza privado	0,2	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	sin cambio
67	Servicios de enseñanza público (no de mercado)	0,9	0,2	0,0	0,9	0,2	0,0	sin cambio
68	Servicios sociales y de salud de mercado	0,2	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	sin cambio
69	Servicios sociales y de salud no de mercado	1,7	0,3	0,0	1,3	0,2	0,0	sin cambio
70	Servicios de asociaciones; esparcimiento; culturales y deportivos	3,9	0,7	0,0	3,6	0,6	0,0	sin cambio
71	Servicio doméstico	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	sin cambio
Promedio		5,6			5,6			

Fuente: Cálculos propios a partir de estimación de emisiones de CO₂ (Anexo 2A.4) y MATRIZ IO (BCE, 2013).

Anexo 2A.9. Componentes puro y propio de los backward y forward linkages.

Código	Actividad	backward linkage			forward linkage		
		μj	propio	puro	μi	propio	puro
1	Banano, café y cacao	4,9	1,5	3,4	1,4	1,2	0,2
2	Cereales	0,2	0,0	0,1	1,1	0,5	0,6
3	Flores y capullos	2,8	0,7	2,1	0,5	0,5	0,0
4	Tubérculos, Vegetales, melones y frutas	2,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,1
5	Oleaginosas e industrializables	0,5	0,3	0,2	5,9	3,2	2,8
6	Servicios relacionados con la agricultura	0,0	0,0	0,0	1,4	1,0	0,4
7	Animales vivos y productos animales	4,9	1,9	3,0	1,9	1,4	0,5
8	Productos de la silvicultura	0,4	0,1	0,3	2,1	0,4	1,7
9	Camarón vivo o fresco y larvas de camaron	0,4	0,3	0,1	3,9	3,3	0,6
10	Pescado y otros productos acuaticos (excepto camarón)	2,3	2,0	0,3	4,6	4,2	0,4
11	Productos de la acuicultura (excepto camarón)	0,4	0,2	0,2	0,4	0,3	0,1
12	Petróleo crudo y gas natural	36,9	19,2	17,7	34,3	14,9	19,4
13	Servicios relacionados con el petróleo y gas natural	0,0	0,0	0,0	6,1	1,0	5,0
14	Minerales metálicos	0,3	0,2	0,1	1,1	0,7	0,3
15	Minerales no metálicos	0,0	0,0	0,0	1,3	0,7	0,6
16	Carne, productos de la carne y subproductos	8,1	1,9	6,2	0,9	0,7	0,2
17	Camarón elaborado	10,2	1,7	8,4	0,4	0,4	0,0
18	Pescado y otros productos acuáticos elaborados	2,6	0,6	2,0	0,4	0,3	0,1
19	Preparados y conservas de pescado y de otras especies acuáticas	4,9	1,3	3,6	1,0	0,8	0,1
20	Aceites crudos y refinados	2,0	0,4	1,6	0,4	0,3	0,2
21	Productos lácteos elaborados	3,9	0,6	3,3	0,3	0,2	0,1
22	Productos de molinería	1,9	0,2	1,7	0,2	0,1	0,1
23	Productos de la panadería	1,8	0,4	1,3	0,3	0,2	0,1
24	Fideos, macarrones y otros productos farináceos similares	0,5	0,3	0,2	0,1	0,1	0,0
25	Azúcar, panela y melaza	1,8	0,8	1,0	0,4	0,3	0,0
26	Cacao elaborado, chocolate y productos de confitería	0,9	0,3	0,7	0,1	0,1	0,0
27	Alimento para animales	0,3	0,0	0,3	1,5	0,1	1,5
28	Productos de café elaborado	0,8	0,4	0,4	0,2	0,2	0,0
29	Productos alimenticios diversos	3,4	1,0	2,4	0,3	0,3	0,0
30	Bebidas alcohólicas	2,3	0,7	1,6	0,5	0,4	0,1
31	Bebidas no alcohólicas	1,9	0,4	1,5	0,3	0,2	0,0
32	Tabaco elaborado	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
33	Hilos, hilados; tejidos y confecciones	1,3	0,6	0,6	1,2	0,8	0,3
34	Prendas de vestir	1,4	0,3	1,1	0,3	0,2	0,1
35	Cuero, productos de cuero y calzado	0,8	0,2	0,6	0,2	0,1	0,1
36	Productos de madera tratada, corcho y otros materiales	0,2	0,2	0,1	2,3	1,9	0,4
37	Pasta de papel, papel y cartón, productos editoriales y otros	1,4	0,6	0,8	4,6	1,1	3,5
38	Aceites refinados de petróleo y de otros productos	34,1	32,3	1,8	61,4	44,8	16,6
39	Productos químicos básicos, abonos y plásticos primarios	0,1	0,0	0,0	1,0	0,2	0,7
40	Otros productos químicos	4,6	3,6	1,0	6,3	5,1	1,2
41	Productos de caucho	0,2	0,1	0,1	0,3	0,1	0,2
42	Productos de plástico	0,4	0,3	0,1	2,8	1,4	1,4
43	Vidrio, cerámica y refractarios	0,8	0,5	0,2	2,5	2,3	0,2
44	Cemento, artículos de hormigón y piedra	-0,3	-0,3	-0,1	10,4	9,8	0,6
45	Metales comunes	1,8	0,6	1,2	1,8	0,7	1,1
46	Productos metálicos elaborados	2,7	1,3	1,3	1,6	1,2	0,4
47	Maquinaria, equipo y aparatos eléctricos	2,7	1,4	1,4	1,8	1,1	0,7
48	Equipo de transporte	1,4	0,7	0,7	1,0	0,6	0,4
49	Muebles	3,3	0,4	2,8	0,2	0,2	0,0
50	Otros productos manufacturados	0,4	0,2	0,2	3,5	0,9	2,6
51	Electricidad	40,0	35,2	4,8	32,0	30,7	1,3

cont...

Código	Actividad	backward linkage			forward linkage		
		μj	propio	puro	μi	propio	puro
52	Agua, servicios de saneamiento y gas (exc de petróleo)	0,4	0,2	0,2	1,9	0,4	1,4
53	Trabajos de construcción y construcción	55,6	10,9	44,6	8,6	7,5	1,1
54	Servicios de comercio	22,9	6,5	16,4	26,9	8,8	18,0
55	Servicios de reparación y mantenimiento de vehículos de motor y motc	0,2	0,1	0,1	3,9	0,2	3,7
56	Servicios de alojamiento	1,5	0,9	0,6	1,6	1,1	0,5
57	Servicios de restaurante	8,3	4,3	4,0	3,8	2,9	0,8
58	Servicios de transporte y almacenamiento	46,8	38,8	8,1	70,3	61,1	9,2
59	Servicios postales y de mensajería	0,6	0,2	0,3	0,4	0,2	0,2
60	Servicios de telecomunicaciones, transmisión e información	12,0	5,9	6,1	6,1	4,6	1,5
61	Servicios de intermediación financiera	2,0	0,5	1,5	5,6	0,8	4,8
62	Servicios de seguros y fondos de pensiones	0,5	0,1	0,4	1,5	0,1	1,4
63	Servicios inmobiliarios	8,9	1,8	7,1	4,6	1,6	3,0
64	Servicios prestados a las empresas y de producción	1,4	0,9	0,5	37,6	10,6	27,0
65	Servicios administrativos del gobierno y para la comunidad en general	16,5	8,0	8,4	6,4	6,4	0,0
66	Servicios de enseñanza privado	1,1	0,2	1,0	0,2	0,2	0,0
67	Servicios de enseñanza público (no de mercado)	2,4	0,9	1,5	0,9	0,9	0,0
68	Servicios sociales y de salud de mercado	1,0	0,2	0,8	0,2	0,2	0,0
69	Servicios sociales y de salud no de mercado	5,5	1,7	3,8	1,3	1,3	0,0
70	Servicios de asociaciones; esparcimiento; culturales y deportivos	6,8	3,4	3,5	3,6	2,5	1,0
71	Servicio doméstico	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Fuente: Cálculos propios a partir de estimación de emisiones de CO₂ (Anexo 2A.4) y MATRIZ IO (BCE, 2013).

3. Descomposición de emisiones de CO₂ para el Sector Servicios del Ecuador: un análisis mediante subsistemas input-output.

Resumen

En este capítulo se analizan las emisiones de CO₂ generadas en el año 2013, por las actividades pertenecientes al sector de los servicios en el Ecuador, con el objetivo de profundizar sobre la importancia que tiene dicho sector en la contaminación ambiental. Para ello se utiliza la metodología denominada “subsistemas input-output”, la cual permite obtener varios componentes a través de los cuales se generan las emisiones totales (directas e indirectas) de CO₂ que genera el sector.

Los resultados muestran que las emisiones atribuibles al sector de los servicios están fuertemente concentradas, de manera directa, en la actividad de transporte y almacenamiento; pero existen otras actividades que se caracterizan por contaminar de forma indirecta, en particular, por el efecto de arrastre que generan sobre otras actividades, induciéndolas a incrementar su contaminación. Este efecto denominado “spillover externo” representa el 26,4% de las emisiones totales que genera el sector servicios.

Palabras clave: subsistemas input-output, emisiones de CO₂, servicios.

3.1. Introducción

Ecuador es un país con una economía pequeña cuyo impacto global en términos de contaminación al medio ambiente es marginal. No obstante, el país se ha caracterizado por priorizar leyes que protejan a la naturaleza a la hora de tomar decisiones de política pública; así lo demuestra su constitución y la suscripción de acuerdos internacionales en temas de conservación ambiental.

Un efectivo cuidado de la naturaleza requiere de políticas eficaces y eficientes, que logren los objetivos planteados al menor costo posible. Para ello es indispensable realizar diagnósticos precisos, que consideren la complejidad bajo la cual se desenvuelve la producción y el impacto que ésta genera en la naturaleza. Los modelos input – output (IO) y sus extensiones de análisis aplicados al medio ambiente, constituyen herramientas útiles para estos fines.

En ocasiones, el interés del análisis puede recaer en el estudio específico de un sector o conjunto de sectores, de tal forma que se pueda analizar la importancia que éstos tienen dimensionadas en toda la complejidad bajo las que desarrollan su actividad; es decir, profundizar en su análisis sin desvincularlo de todo el conjunto de relaciones que poseen (Alcántara, 1995).

Una de esas extensiones de los modelos IO se conoce en la literatura como “subsistemas input-output”. En el presente capítulo se emplea dicha metodología con el fin de descomponer los diferentes canales a través de los cuales se producen y transmiten las emisiones totales (directas e indirectas) generadas por las actividades productivas del sector servicios en el Ecuador.

La metodología de subsistemas input output fue planteada originalmente por Sraffa (1960). Sus aplicaciones han permitido analizar patrones subyacentes que están detrás de la generación de la contaminación ambiental, aislando las relaciones de un sector o grupo de

sectores frente al sistema, con el fin de obtener información valiosa y específica sobre las relaciones de producción de dicho sector (o grupo de sectores) y los impactos que pueden generarse en términos ambientales (Alcántara y Padilla, 2009).

Autores como Pasinetti (1973, 1988), Deprez (1990) y Scazzieri (1990), entre otros, trabajaron el planteamiento original de subsistemas. Más adelante, Alcántara (1995) fue el primero en desarrollar esta herramienta desde una óptica medioambiental. Además, Sánchez-Chóliz y Duarte (2003) ampliaron la propuesta inicial de Alcántara (1995) e incorporaron elementos de descomposición aditiva a sus análisis, con el fin de incorporar mayor poder explicativo al modelo. Bajo ese enfoque aparecen nuevos aportes que logran una mayor descomposición de elementos dentro del subsistema como en el caso de Alcántara y Padilla (2009) y posteriormente Navarro (2012) y Piaggio et al., (2015).

Por otro lado, en lo que respecta al análisis específico del sector servicios, éste no suele ser considerado como un actor importante dentro de las emisiones de CO₂, debido a que existe la creencia de que su actividad, a diferencia del sector de la manufactura, es desmaterilizado (Alcántara, 2007). Sin embargo, algunos estudios han demostrado la influencia que dicho sector tiene sobre las emisiones de CO₂ (Suh, 2006; Nansai et al., 2009; Alcántara y Padilla, 2009; Gadrey, 2010; Piaggio et al., 2015). En particular el trabajo de Piaggio et al. (2015) que realizan para la economía Uruguaya, resulta de interés ya que sus características se asemejan al caso ecuatoriano. En los otros casos, se debe matizar los resultados ya que existen diferencias importantes de la influencia ejercida por el sector servicios, dado el peso que tiene en sus economías.

Para la aplicación de la metodología de subsistemas se sigue la línea de trabajos previos como Alcántara y Padilla (2009), Navarro y Alcántara (2010), Navarro (2012) y Piaggio et al. (2015), Si bien, la descomposición utilizada sigue la línea de desarrollo de los autores mencionados, en el presente trabajo se plantea una forma alternativa, que resulta más directa, para la obtención de los componentes de las emisiones totales.

Este tipo de investigaciones resultan relevantes para el caso ecuatoriano ya que no existe evidencia sobre la aplicación de este tipo de metodologías, las cuales resultan de gran potencial para comprender mejor el funcionamiento del aparato productivo y su impacto sobre el medioambiente. De esta forma se puede contribuir con información útil para los hacedores de política, ya que se profundiza sobre la verdadera responsabilidad que tienen las distintas actividades económicas en la contaminación ambiental.

Por lo anterior, el presente capítulo tiene por objetivo emplear la metodología de subsistemas al sector servicios en el Ecuador y demostrar la importancia que tiene dicho sector a pesar de que se trata de una economía pequeña y en desarrollo, pero con objetivos de política pública que apuntan al crecimiento del sector terciario.

En lo que sigue, el documento se estructura de la siguiente forma. En la segunda parte del capítulo se presenta la metodología empleada para el análisis del subsistema servicios en las emisiones de CO₂ y se plantea el aporte metodológico a la descomposición utilizada. La tercera parte hace una breve descripción de los datos empleados. En la cuarta sección del capítulo se presentan y discuten los resultados, para finalmente exponer las conclusiones.

3.2. Metodología

La producción necesaria para satisfacer cierta demanda viene dada por $\mathbf{x} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}\mathbf{y}$, expresión que se conoce como el modelo de Leontief, donde la variable endógena \mathbf{x} es una combinación lineal de la variable exógena \mathbf{y} , siendo $(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} = \mathbf{B}$, la matriz inversa de Leontief¹¹. Además si expresamos $\hat{\mathbf{y}}$ como una matriz diagonal de demanda final, la expresión $(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}\hat{\mathbf{y}}$ determina la producción sectorial verticalmente integrada para cada uno de los sectores, a través de un conjunto de vectores $\mathbf{x}^{(i)}$, (Navarro, 2012).

¹¹ Las matrices se representan por letras mayúsculas, mientras los vectores se representan por letras minúsculas. Tanto vectores como matrices se señalan con negrita, además el símbolo “^” representa la diagonalización de un vector

Suponiendo que estamos interesados únicamente en el análisis de un conjunto de actividades de todo el sistema, el análisis de subsistemas consiste en descomponer de las N actividades de una matriz input output (IO) dos categorías: M y S , de tal forma que las actividades $1, 2, \dots, m$ pertenecen al subsistema M ; y, las demás, desde $m+1$ hasta n pertenecen al subsistema S . Por lo tanto el modelo original puede reescribirse de la siguiente forma (Navarro y Alcántara, 2010):

$$(3.1) \quad \begin{pmatrix} \mathbf{A}_{MM} & \mathbf{A}_{MS} \\ \mathbf{A}_{SM} & \mathbf{A}_{SS} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{x}^M \\ \mathbf{x}^S \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \mathbf{y}^M \\ \mathbf{y}^S \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{x}^M \\ \mathbf{x}^S \end{pmatrix}$$

Donde los subíndices y superíndices M y S , denotan la pertenencia de cada actividad a cada subsistema, tanto para la matriz de coeficientes técnicos como para los vectores de producción y demanda final. Dado que la inversa de Leontief está representada por $\mathbf{B} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}$, al igual que en el caso original, la solución al modelo viene dado por:

$$(3.2) \quad \begin{pmatrix} \mathbf{B}_{MM} & \mathbf{B}_{MS} \\ \mathbf{B}_{SM} & \mathbf{B}_{SS} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{y}^M \\ \mathbf{y}^S \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{x}^M \\ \mathbf{x}^S \end{pmatrix}$$

Sin embargo, como el interés recae únicamente en analizar una actividad o un conjunto de actividades pertenecientes al subsistema S , la producción necesaria para obtener la producción total del subsistema puede aislarse asumiendo $\mathbf{y}^M = \mathbf{0}$, por lo tanto, la expresión (3.2) queda de la siguiente forma:

$$(3.3) \quad \begin{pmatrix} \mathbf{B}_{MM} & \mathbf{B}_{MS} \\ \mathbf{B}_{SM} & \mathbf{B}_{SS} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{0} \\ \mathbf{y}^S \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{x}_S^M \\ \mathbf{x}_S^S \end{pmatrix}$$

Donde:

\mathbf{B}_{SS} : Representa los coeficientes de requerimientos directos e indirectos de las actividades que pertenecen al subsistema de interés; es decir, las necesidades de inputs directos e

indirectos de las ramas que pertenecen al subsistema por unidad de producto de éstas mismas.

\mathbf{B}_{MS} : Representa los coeficientes técnicos directos e indirectos de las actividades que no pertenecen al subsistema de interés debido a los inputs, directos e indirectos, que éstas requieren por unidad de producto de las actividades que pertenecen al subsistema.

\mathbf{B}_{SM} : Representa los coeficientes técnicos directos e indirectos de las actividades pertenecientes al subsistema de interés debido a los inputs, directos e indirectos, que éstas requieren por unidad de producto de las actividades que no pertenecen al subsistema.

\mathbf{B}_{MM} : Representa los coeficientes de requerimientos directos e indirectos de las actividades que no pertenecen al subsistema de interés; es decir, las necesidades de inputs directos e indirectos de las ramas que no pertenecen al subsistema por unidad de producto de éstas mismas.

Además, el vector \mathbf{x}_S^M muestra la producción de las actividades del subsistema M para satisfacer la demanda final del subsistema S; y \mathbf{x}_S^S la producción del subsistema S para satisfacer su propia demanda.

En resumen, la expresión (3.3) expresa la producción necesaria para la obtención de la demanda final del conjunto de sectores pertenecientes al subsistema S.

La expresión (3.3) puede reescribirse como:

$$(3.4) \quad \left[\begin{pmatrix} \mathbf{B}_{MM} & \mathbf{B}_{MS} \\ \mathbf{B}_{SM} & \mathbf{B}_{SS} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \mathbf{I} & 0 \\ 0 & \mathbf{I} \end{pmatrix} \right] \begin{pmatrix} 0 \\ \mathbf{y}^S \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ \mathbf{x}_S^S \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{x}_S^M \\ \mathbf{x}_S^S \end{pmatrix}$$

Esta expresión permite descomponer la producción total necesaria para proporcionar la demanda final total del subsistema S, de la siguiente manera:

$$(3.5) \quad \mathbf{B}_{MS}\mathbf{y}^S = \mathbf{x}_S^M$$

$$(3.6) \quad (\mathbf{B}_{SS} - \mathbf{I})\mathbf{y}^S + \mathbf{y}^S = \mathbf{x}_S^S$$

De las expresiones anteriores se pueden distinguir 3 elementos importantes:

i) $\mathbf{B}_{MS}\mathbf{y}^S$ representa la producción que las actividades del subsistema M tendrían que realizar para atender las necesidades del subsistema S, se trata por lo tanto de la producción indirecta que el subsistema S induce al resto de actividades económicas y que incorpora a su producción.

ii) $(\mathbf{B}_{SS} - \mathbf{I})\mathbf{y}^S$ representa la producción inputs de las propias actividades del subsistema S necesarias para satisfacer la demanda final del mismo subsistema.

iii) \mathbf{y}^S representa la demanda final de las propias actividades del subsistema S.

De las expresiones anteriores, la expresión $(\mathbf{B}_{SS} - \mathbf{I})\mathbf{y}^S$ contiene información útil que se puede desagregar utilizando el cálculo de la inversa por partes para la matriz \mathbf{B}_{SS} , de la siguiente forma:

$$(3.7) \quad \mathbf{B}_{SS} = (\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS})^{-1}(\mathbf{I} + \mathbf{A}_{SM}\mathbf{B}_{MS})$$

Reemplazando (3,7) en (3.6) y operando se tiene:

$$[(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS})^{-1}(\mathbf{I} + \mathbf{A}_{SM}\mathbf{B}_{MS}) - \mathbf{I}]\mathbf{y}^S + \mathbf{y}^S = \mathbf{x}_S^S$$

$$[(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS})^{-1} - \mathbf{I}]\mathbf{y}^S + [(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS})^{-1}\mathbf{A}_{SM}\mathbf{B}_{MS}]\mathbf{y}^S + \mathbf{y}^S = \mathbf{x}_S^S$$

Por lo tanto, el sistema de ecuaciones (3.5) y (3.6) puede reescribirse como:

$$(3.8) \quad \mathbf{B}_{MS}\mathbf{y}^S = \mathbf{x}_S^M$$

$$(3.9) \quad [(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS})^{-1} - \mathbf{I}]\mathbf{y}^S + (\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS})^{-1}\mathbf{A}_{SM}\mathbf{B}_{MS}\mathbf{y}^S + \mathbf{y}^S = \mathbf{x}_S^S$$

Las expresiones (3.8) y (3.9), representan las clásicas descomposiciones (ver Sánchez-Chóliz y Duarte, 2003; Alcántara y Padilla, 2007; Navarro y Alcántara, 2010; Butnar y Llop, 2011), cuyos componentes se explican a continuación:

$\mathbf{B}_{MS}\mathbf{y}^S$: representa el componente spillover, también conocido como backward linkage o componente de arrastre puro. Muestra la producción que deben realizar las actividades que no pertenecen al subsistema para satisfacer la demanda de inputs de las actividades del subsistema S.

$[(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS})^{-1} - \mathbf{I}]\mathbf{y}^S$: representa el componente propio. Se genera por la cantidad de inputs que requieren las actividades del propio subsistema S para satisfacer su demanda final.

$(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS})^{-1}\mathbf{A}_{SM}\mathbf{B}_{MS}\mathbf{y}^S$: representa el componente feedback. Se genera por la producción de inputs que cada actividad del subsistema debe realizar para proveer al resto de actividades que no pertenecen al subsistema, con el fin de que éstas generen la producción que luego demandan las actividades subsistema S.

\mathbf{y}^S : representa el componente escala, el que se genera exclusivamente por demanda final que tenga el subsistema S.

Sin embargo, el componente propio se puede descomponer aún más. Alcántara (1995, 1999), plantea una descomposición adicional, transformando la matriz de coeficientes técnicos de la matriz \mathbf{A}_{SS} , tal que:

$$(3.10) \mathbf{A}_{SS} = \mathbf{A}_{SS}^D + \mathbf{A}_{SS}^0$$

Donde la matriz \mathbf{A}_{SS}^D contiene la diagonal principal de \mathbf{A}_{SS} mientras que el resto de sus elementos son cero; por otro lado, la matriz \mathbf{A}_{SS}^0 contiene en su diagonal principal ceros y fuera de su diagonal están el resto de elementos de la matriz \mathbf{A}_{SS} . De esta forma la producción puede descomponerse en un conjunto mayor de componentes explicativos.

Autores como Alcántara y Padilla (2009), Navarro (2012) y Piaggio et al. (2015), aplican esta metodología a la descomposición del componente propio para brindar mayor poder explicativo al subsistema. Bajo la misma línea metodológica, a continuación se presenta una forma alternativa de presentar la descomposición:

Utilizando nuevamente el cálculo de la inversa por partes para la matriz $(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS})$, de la expresión (3.9), se tiene que:

$$(3.11) \quad (\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS})^{-1} = (\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS}^D)^{-1} + (\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS}^D)^{-1} \left[\mathbf{A}_{SS}^0 [(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS}^D)^{-1}]^0 \right]^D + [(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS}^D)^{-1}]^0$$

Sabiendo que los elementos de la diagonal principal de la inversa de Leontief están dados por: $b_{jj} = [(1 - a_{jj})^{-1} - 1] + (1 - a_{jj})^{-1} \sum_{i \neq j} a_{ji} b_{ij} + 1$, del elemento $\left[\mathbf{A}_{SS}^0 [(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS}^D)^{-1}]^0 \right]^D$ de la expresión (3.11), sólo interesa la diagonal principal, puesto que dichos elementos son $\sum_{i \neq j} a_{ji} b_{ij}$ teniendo en cuenta que b_{ij} son los elementos de la matriz $[(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS}^D)^{-1}]^0$, ya que el producto $i \neq j$.

Utilizando el producto de Hadamard (*); es decir, el producto elemento a elemento de dos matrices, el segundo término de la expresión (3.11) puede escribirse como:

$$(3.12) \quad (\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS}^D)^{-1} \left[\mathbf{A}_{SS}^0 [(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS}^D)^{-1}]^0 \right]^D = (\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS}^D)^{-1} * \left\{ \mathbf{A}_{SS}^0 [(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS}^D)^{-1}]^0 \right\}$$

Reemplazando (3.11) y (3.12) en el sistema de ecuaciones (3.5) y (3.6); y, sumando y restando convenientemente la matriz identidad, el nuevo sistema de ecuaciones sería:

$$(3.13) \quad \mathbf{B}_{MSY}^S = \mathbf{x}_S^M$$

$$(3.14) \quad \left[(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS}^D)^{-1} - \mathbf{I} \right] \mathbf{y}^S + (\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS}^D)^{-1} * \left\{ \mathbf{A}_{SS}^0 [(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS}^D)^{-1}]^0 \right\} \mathbf{y}^S + [(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS}^D)^{-1}]^0 \mathbf{y}^S + (\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS})^{-1} \mathbf{A}_{SM} \mathbf{B}_{MSY}^S + \mathbf{y}^S = \mathbf{x}_S^S$$

Los componentes: spillover ($\mathbf{B}_{MS}\mathbf{y}^S$), componente feedback ($(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS})^{-1}\mathbf{A}_{SM}\mathbf{B}_{MS}\mathbf{y}^S$) y componente escala (\mathbf{y}^S), siguen siendo los mismos; sin embargo, el componente propio ahora tiene tres componentes:

$[(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS}^D)^{-1} - \mathbf{I}]\mathbf{y}^S$: representa componente propio neto; es decir, la producción asociada a los inputs propios que cada actividad del subsistema S necesita para satisfacer su propia demanda final

$(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS}^D)^{-1} * \{\mathbf{A}_{SS}^0[(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS}^D)^{-1}]^0\}\mathbf{y}^S$: representa el componente feedback interno, el cual expresa la producción de inputs que cada actividad del subsistema debe generar para proveer de inputs al resto de actividades del propio subsistema, con el fin de que éstas generen la producción que luego demandan las actividades subsistema S.

$[(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS}^D)^{-1}]^0\mathbf{y}^S$: representa el componente spillover interno, que recoge el efecto generado por las actividades pertenecientes al subsistema, sobre el propio subsistema, debido al insumo que requieren para su producción.

Además, si reemplaza el vector \mathbf{y}^S por su diagonalización $\hat{\mathbf{y}}^S$, las expresiones descritas quedarán en forma de matriz, por lo que la suma por columnas de esta matriz permite conocer el impacto de cualquier actividad del subsistema sobre el resto de las actividades del subsistema.

Finalmente, el análisis descrito puede ampliarse a una visión ambiental para medir los distintos efectos generados por cada actividad económica o grupo de actividades pertenecientes a un subsistema. En tal sentido, sea \mathbf{c} un vector de emisiones de CO_2 generadas por unidad de producción; el vector \mathbf{c} puede descomponerse en \mathbf{c}^M correspondiente a las emisiones de CO_2 de las actividades pertenecientes al subsistema M, y \mathbf{c}^S correspondiente a las emisiones de CO_2 de las actividades pertenecientes al subsistema S. En tal virtud, los distintos componentes analizados anteriormente pueden ser ahora

expresados en términos de emisiones de CO₂ relacionadas con un determinado subsistema, de la siguiente forma:

Componente propio neto:

$$(3.15) \text{CPN} = \mathbf{c}^{\mathbf{S}'} \left[(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{\text{SS}}^{\text{D}})^{-1} - \mathbf{I} \right] \hat{\mathbf{y}}^{\text{S}}$$

Componente feedback interno:

$$(3.16) \text{CFI} = \mathbf{c}^{\mathbf{S}'} (\mathbf{I} - \mathbf{A}_{\text{SS}}^{\text{D}})^{-1} * \left\{ \mathbf{A}_{\text{SS}}^{\text{O}} [(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{\text{SS}}^{\text{D}})^{-1}]^{\text{O}} \right\} \hat{\mathbf{y}}^{\text{S}}$$

Componente spillover interno:

$$(3.17) \text{CSI} = \mathbf{c}^{\mathbf{S}'} [(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{\text{SS}}^{\text{D}})^{-1}]^{\text{O}} \hat{\mathbf{y}}^{\text{S}}$$

Componente escala:

$$(3.18) \text{CE} = \mathbf{c}^{\mathbf{S}'} \hat{\mathbf{y}}^{\text{S}}$$

Componente feedback externo:

$$(3.19) \text{CFE} = \mathbf{c}^{\mathbf{S}'} (\mathbf{I} - \mathbf{A}_{\text{SS}})^{-1} \mathbf{A}_{\text{SM}} \mathbf{B}_{\text{MS}} \hat{\mathbf{y}}^{\text{S}}$$

Componente spillover externo:

$$(3.20) \text{CSE} = \mathbf{c}^{\mathbf{M}'} \mathbf{B}_{\text{MS}} \hat{\mathbf{y}}^{\text{S}}$$

De tal forma que la contaminación total, directa e indirecta, asociada a la producción del subsistema, queda definida como la suma de las ecuaciones (3.15) a (3.20), de la siguiente manera:

$$(3.21) \text{E} = \text{CPN} + \text{CSI} + \text{CFI} + \text{CE} + \text{CFE} + \text{CSE}$$

3.3. Descripción de los datos

La información para el desarrollo del presente capítulo toma las mismas fuentes de datos señaladas en el capítulo 2; esto es, la información de la matriz IO publicada por el Banco Central del Ecuador (BCE) para el año 2013, la misma que se encuentra en términos corrientes y utiliza el 2007 como año base. Esta información se encuentra desagregada para 71 actividades económicas, de las cuales 18 corresponden al sector servicios.

En cuanto a las emisiones de CO₂ por actividad económica, fue necesario realizar una estimación del vector debido a que en el Ecuador no cuenta con cifras oficiales al respecto¹². Para la estimación del vector de emisiones de CO₂ se siguió la metodología planteada por Alcántara y Roca (1995) y Alcántara et al. (2008). Para ello, también fue necesaria la estimación de un vector de consumo de energía primaria desagregado en las 71 actividades de la matriz IO. Las estimaciones descritas utilizaron datos de los balances energéticos publicados por la agencia internacional de energía (IEA), datos de los balances energéticos publicados por el Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos del Ecuador (MICSE), datos de consumo de energías finales desagregadas en las tablas de oferta utilización (TOU)¹³ e información de la matriz IO, éstas últimas publicadas por el BCE. El lector interesado en una mayor explicación de la metodología empleada, puede referirse al Anexo 2A.1 del capítulo 2.

3.4. Resultados obtenidos

3.4.1. Análisis general de las emisiones de CO₂ del subsistema servicios

La Tabla 3.1 presenta las emisiones generadas por el sector servicios, medidas de forma directa y total (directa e indirecta). Cabe recordar que, si sólo se considera las emisiones directas, se estaría obviando el hecho de que gran parte de las emisiones que emiten ciertas ramas productivas sirve para facilitar el proceso productivo de otras actividades; es decir, se

¹² Si bien los balances energéticos publicados por el MICSE, contienen información tanto del consumo de energía (secundaria) como de las emisiones de CO₂ éstos tan solo contienen información desagregada en: transporte, industrial, residencial, comercial, agro-pesca y construcción.

¹³ Se utilizaron las tablas TOU desagregadas a 278 productos.

estaría obviando que la producción de una actividad requiere de la producción de bienes o servicios de otras actividades.

Así, de las 42.019 Kton de CO₂ que emitió todo el aparato productivo al año 2013, 15.218 Kton de CO₂ fueron generadas por el sector servicios de manera directa (36,2% del total de emisiones); mientras que las emisiones totales fueron de 14.728 Kton de CO₂ (35,1% del total).

Tabla 3.1. Emisiones directas y totales de CO₂ generadas por las actividades del sector servicios.

Código	Actividad	Emisión Directa (KtCO ₂)	%	Emisión Total (KtCO ₂)	%
54	Servicios de comercio	1.261	3,0%	2.437	5,8%
55	Servicios de reparación y mantenimiento de vehículos de motor y motocicletas	19	0,0%	21	0,1%
56	Servicios de alojamiento	188	0,4%	157	0,4%
57	Servicios de restaurante	517	1,2%	881	2,1%
58	Servicios de transporte y almacenamiento	9.189	21,9%	4.986	11,9%
59	Servicios postales y de mensajería	39	0,1%	60	0,1%
60	Servicios de telecomunicaciones, transmisión e información	762	1,8%	1.280	3,0%
61	Servicios de intermediación financiera	127	0,3%	211	0,5%
62	Servicios de seguros y fondos de pensiones	11	0,0%	48	0,1%
63	Servicios inmobiliarios	232	0,6%	946	2,3%
64	Servicios prestados a las empresas y de producción	1.275	3,0%	148	0,4%
65	Servicios administrativos del gobierno y para la comunidad en general	856	2,0%	1.752	4,2%
66	Servicios de enseñanza privado	20	0,0%	122	0,3%
67	Servicios de enseñanza público (no de mercado)	101	0,2%	259	0,6%
68	Servicios sociales y de salud de mercado	22	0,1%	111	0,3%
69	Servicios sociales y de salud no de mercado	183	0,4%	584	1,4%
70	Servicios de asociaciones; esparcimiento; culturales y deportivos	416	1,0%	725	1,7%
71	Servicio doméstico	0	0,0%	0	0,0%
	Resto de sectores	26.802		27.291	
	Total servicios	15.218	36,2%	14.728	35,1%
	Total general	42.019		42.019	

Fuente: Elaboración propia en base al Anexo 2A.6.

A pesar de que las emisiones totales son un 3% menores a las directas, se puede observar en la Tabla 3.1 que, con excepción de las actividades (58) “Servicios de transporte y almacenamiento”, (64) “Servicios prestados a las empresas y de producción”, y (56) “Servicios de alojamiento”, todas las demás poseen un porcentaje de emisiones totales mayor al de sus emisiones directas (medidas sobre el total generado por el aparato productivo). La razón es que el sector servicios se caracteriza por ser un alto demandante de otras actividades para generar su producción, pero eso implica que también es responsable

indirecto de las emisiones que generan dichos procesos productivos. En términos de política ambiental esto no es fácil de mirar, ya que generalmente el interés recae en el monitoreo de las emisiones directas.

Por otro lado, la actividad (58) “Servicios de Transporte y Almacenamiento” presenta la disminución más grande entre el peso que tiene en las emisiones directas frente a las totales (pasa de representar el 21,9% al 11,9%). Esto quiere decir que si bien el transporte es una actividad altamente contaminante, cerca de la mitad de su contaminación se genera para que pueda satisfacer la demanda de servicios que le requieren otras actividades.

Otras actividades a destacar son: la actividad (54) “Servicios de comercio”, que representa el 3% de las emisiones directas de todo el aparato productivo y sus emisiones (directas e indirectas) crecen al 5,8%. Esto se debe a su alto grado de integridad con todo el sistema productivo como eslabón de intermediación. Por ello, el comercio se convierte en una actividad más relevante, en términos de emisiones de CO₂, de lo que se suele estar considerar comúnmente. También destaca la actividad (65) “Servicios administrativos del gobierno y para la comunidad en general”, la cual pasa de 856 Kton de CO₂ que emite de forma directa a 1.762 Kton de CO₂, es decir, casi duplica sus emisiones totales.

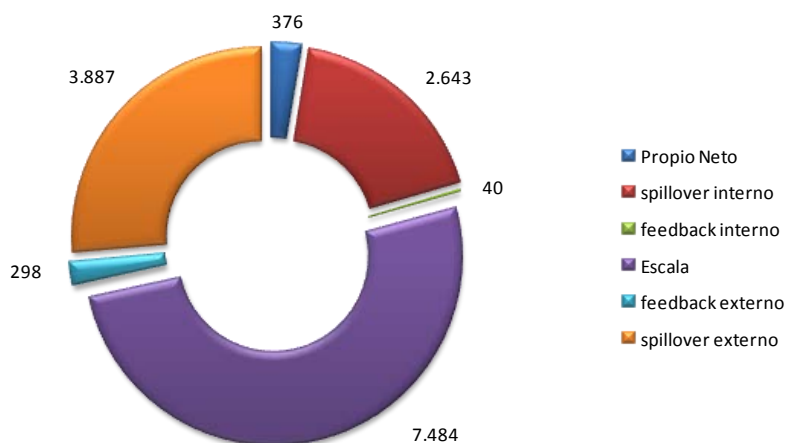
Para profundizar sobre lo señalado, a continuación se muestra la descomposición de las emisiones totales de CO₂ del sector servicios para cada actividad productiva, con ello se puede visualizar de mejor manera los canales a través de los cuales se propagan las emisiones generadas por el sector.

3.4.2. Análisis de la descomposición de las emisiones de CO₂ del subsistema servicios

Para aislar el análisis del sector servicios sin apartarlo de la estructura productiva se hace uso de la metodología subsistemas IO descrita en el apartado 3.3. La herramienta utilizada permite descomponer las emisiones totales en seis efectos los cuales se calcularon a partir

de la expresión (3.21). La Figura 3.1 muestra el peso y la magnitud de cada componente frente a las emisiones totales de CO₂ generadas por el subsistema servicios.

Figura 3.1. Descomposición de las emisiones totales del subsistema servicio a nivel agregado (en Kton de CO₂).



Fuente: Elaboración propia en base a matriz IO 2013 (BCE) y estimación de emisiones de CO₂ (Anexo 2A 1)

De las 14.728 Kton de CO₂ correspondientes a las emisiones totales, 7.484 Kton proceden del componente escala, lo que significa que prácticamente la mitad de las emisiones generadas por el sector son atribuibles a su demanda final.

Por su parte, el componente spillover externo o efecto de arrastre puro es responsable de la emisión de 3.887 Kton de CO₂, (26,4% de las emisiones totales). Éste es uno de los componentes más interesantes del análisis ya que son emisiones indirectas que genera el sector servicios, pero que se son atribuidas de manera directa a otras actividades que no pertenecen al sector.

Una de las ventajas de la metodología empleada es que permite observar con mayor precisión la fuerza que tiene el componente arrastre del sector servicios sobre el resto de la economía, pues separa los efectos que se generan sobre el propio subsistema (componente propio neto, componente escala, componente spillover interno y feedback interno).

El tercer componente en relevancia es el spillover interno, responsable de la emisión de 2.643 Kton de CO₂ (aproximadamente 18% de lo generado por el subsistema). Este efecto de arrastre, a diferencia del anterior, es provocado al interior del propio subsistema. Esto se produce cuando una actividad del sector servicios demanda insumos a otras actividades del mismo sector.

Con una menor representatividad están los componentes: propio neto, feedback interno y feedback externo, que juntos son responsables del 4,8% de las emisiones totales del subsistema. Al tratarse de un peso marginal que provocan sobre las emisiones de CO₂, en este trabajo no se profundizará en su análisis.

A continuación se presenta la Tabla 3.2, la misma que contiene información de la descomposición de las emisiones totales CO₂ del subsistema servicios, desagregado por cada actividad. Los cálculos fueron realizados computando las expresiones (3.15) a (3.20).

Tabla 3.2. Descomposición de las emisiones totales del subsistema servicio por actividad económica.

Código Actividad	Propio Neto (KtCO2)		Spillover interno (KtCO2)		Feedback interno (KtCO2)		Escala (KtCO2)		Feedback externo (KtCO2)		Spillover externo (KtCO2)		Total (KtCO2)	
		%		%		%		%		%		%		%
54	8,3	2%	1.158,5	44%	3,9	10%	677,0	9%	22,3	7%	567,3	15%	2.437	17%
55	-	0%	5,2	0%	0,0	0%	7,5	0%	0,8	0%	7,5	0%	21	0%
56	-	0%	12,9	0%	0,0	0%	95,1	1%	3,8	1%	45,5	1%	157	1%
57	-	0%	76,7	3%	0,1	0%	456,8	6%	54,6	18%	292,9	8%	881	6%
58	302,7	81%	92,8	4%	32,8	82%	3.776,6	50%	22,1	7%	758,8	20%	4.986	34%
59	-	0%	19,4	1%	0,0	0%	25,8	0%	0,7	0%	13,9	0%	60	0%
60	33,7	9%	197,5	7%	1,6	4%	596,6	8%	17,8	6%	433,0	11%	1.280	9%
61	3,4	1%	79,8	3%	0,2	1%	44,4	1%	5,9	2%	76,7	2%	211	1%
62	1,1	0%	21,9	1%	0,0	0%	5,9	0%	1,6	1%	17,7	0%	48	0%
63	7,8	2%	406,1	15%	0,4	1%	187,1	2%	43,5	15%	301,5	8%	946	6%
64	8,3	2%	23,0	1%	0,7	2%	83,2	1%	1,5	1%	31,0	1%	148	1%
65	-	0%	244,6	9%	-	0%	856,0	11%	49,1	16%	602,1	15%	1.752	12%
66	-	0%	41,9	2%	0,0	0%	19,5	0%	8,1	3%	52,8	1%	122	1%
67	-	0%	46,6	2%	-	0%	100,9	1%	8,1	3%	103,0	3%	259	2%
68	-	0%	27,3	1%	-	0%	22,4	0%	7,0	2%	54,5	1%	111	1%
69	-	0%	88,9	3%	-	0%	182,8	2%	26,4	9%	285,8	7%	584	4%
70	10,7	3%	99,9	4%	0,2	0%	346,7	5%	24,9	8%	242,8	6%	725	5%
71	-	0%	-	0%	-	0%	-	0%	-	0%	-	0%	0	0%
Total Subsis	376	100%	2.643	100%	40	100%	7.484	100%	298	100%	3.887	100%	14.728	100%

Fuente: Elaboración propia en base a matriz IO 2013 (BCE) y estimación de emisiones de CO₂ (Anexo 2A 1)

Como se observa, el mayor peso del componente escala lo tiene la actividad (58) “Servicios de transporte y almacenamiento”, con un 50%. También son relevantes la actividad (60) “Servicios de telecomunicaciones, transmisión e información” que representa el 8% y la actividad (65) “Servicios administrativos del gobierno y para la comunidad en general”, que presenta el 11%. Además, a las tres actividades les caracteriza que la principal fuente para la generación de sus emisiones, proviene de la demanda final. Esto es más claro para la actividad (58) “Servicios de transporte y almacenamiento”, donde la demanda final representa el 76% de las emisiones de dicha actividad, mientras que para las actividades (60) y (65), representa el 47% y 49%, respectivamente.

En lo que respecta al componente spillover interno, destacan la actividad (54) “Servicios de comercio”, con el 44%; y, la actividad (63) “Servicios inmobiliarios”, con el 15%. En el caso de estas actividades el componente spillover interno explica más del 40% de sus emisiones totales. Una razón clara es el fuerte efecto arrastre que genera el comercio sobre el transporte; pero otras dos actividades que también son arrastradas de manera importante por el propio subsistema son la (65) “Servicios administrativos del gobierno y para la comunidad en general” y (64) “Servicios prestados a las empresas y de producción”. Vale la pena mencionar que al comparar estos resultados con el estudio de Piaggio et al. (2015), tratándose de una economía pequeña y en desarrollo como la uruguay, también obtiene resultados similares en cuanto al peso del componente en el subsistema, y las actividades que lo explican.

Por último, está el componente spillover externo, para el cual nuevamente aparecen como relevantes las mismas actividades que en el efecto escala (transporte, telecomunicaciones, servicios administrativos del gobierno), que en conjunto representan el 46% del componente. Dos actividades adicionales que destacan son, la actividad (54) “Servicios de comercio” y la (63) “Servicios inmobiliarios”.

Por otro lado, cabe señalar que con excepción de la actividad (58) “Servicios de transporte y almacenamiento”, en los demás casos el componente spillover externo representa más de la cuarta parte del peso en las emisiones totales que genera cualquier actividad del

subsistema (en las actividades de salud llega a representar el 50%). En el caso de la actividad (58) “Servicios de transporte y almacenamiento”, a pesar de que el componente spillover externo representa solo un 15% de sus emisiones (758 Kton de CO₂ frente a las 4.986 Kton de CO₂ de emisiones totales), continúa siendo la actividad más relevante para éste componente, debido a la magnitud que tienen las emisiones totales de esta actividad.

Cabe señalar que estos resultados, aunque con matices diferentes, coinciden con lo encontrado en estudios similares como Alcántara y Padilla (2009) y Piaggio et al. (2015). En el caso de Alcántara y Padilla (2009) el componente spillover externo representa el mayor peso dentro de la descomposición de las emisiones totales, dotándole al sector servicios de una elevada importancia en las emisiones de CO₂, ya que mediante este componente terminan incorporándose a dicho sector una cuarta parte de las emisiones producidas por las actividades que no pertenecen al sector servicios. Esto se debe a la importancia que tiene dicho sector dentro del PIB de ese país y por el desarrollo que han logrado las actividades que conforman el sector servicios. En el caso de Uruguay, si bien el componente spillover es importante, su relevancia es mucho menor que en España. Esto se debe por un lado al tamaño de su economía y al peso de dichas actividades tienen en el PIB, ya que se trata de una pequeña economía exportadora (Piaggio et al., 2015).

Algunas de las razones que están detrás de los hallazgos encontrados se deben a que, en el caso ecuatoriano, la actividad (54) “Servicios de comercio” es la principal actividad no sólo del sector servicios sino de toda la economía. Esta actividad ha tenido un crecimiento muy importante en los últimos años debido a la inyección de circulante que ingresó en la economía como parte de las políticas de gasto del gobierno. Dichas políticas incrementaron el consumo de los hogares, pero a costa de una mayor importación ya que el ritmo de crecimiento de las industrias fue mucho menor. Así también otras actividades que registran un importante crecimiento en los últimos años son: la actividad (63) “Servicios inmobiliarios”, debido al auge que ha tenido el sector de la construcción; la actividad (65) “Servicios administrativos del gobierno y para la comunidad en general”, debido al incremento del aparato estatal; y, la actividad (60) “Servicios de telecomunicaciones, transmisión e información” debido a fuertes inversiones públicas y privadas.

3.4.3. Análisis de políticas para actividades influyentes.

Los resultados permiten comprobar la importancia del sector servicios en las emisiones de CO₂, sean éstas directa o totales (directas e indirectas). La relevancia que tienen las actividades económicas que conforman el sector corrobora la necesidad de ampliar el espectro de análisis sobre estas actividades. Por ello, contar con información más detallada del sector y sus actividades, se convierte en un complemento útil para la toma de decisiones en materia de mitigación ambiental.

La actividad (58) “Servicios de transporte y almacenamiento”, tiene la mayor influencia del sector. El elevado componente escala es la primera característica de sus emisiones. Por ello, políticas directas de mejora tecnológica sobre el sector, como la modernización del parque automotor de carga y pasajeros; o, la utilización de medios alternativos de transporte (como sistemas de metro y tranvía, que ya están en construcción), deberían seguirse impulsado, ya que mejorarían la eficiencia del sector y aprovecharían la energía limpia que se viene desarrollando en el país con las nuevas hidroeléctricas. Otras medidas adicionales contempladas en la Ley de fomento ambiental¹⁴ apuntan en el mismo sentido.

Así también, las acciones de política que se tomen sobre la actividad (58) “Servicios de transporte y almacenamiento” generarían una disminución en otras actividades pertenecientes al propio subsistema, que demandan servicios de transporte para su funcionamiento. Esto se refleja en el componente spillover interno (el tercero en relevancia). Como se mencionó en la parte descriptiva, las actividades (54) “Servicios de comercio” y (63) “Servicios inmobiliarios” representan el 60% del componente arrastre al interior del subsistema. La contaminación reflejada en dicho componente proviene en gran medida de la actividad (58). Por ello, se necesita actuar en políticas directas (como las mencionadas en el párrafo anterior), pero también en políticas que involucren otras actividades como el comercio y servicios inmobiliarios. Es decir, para ser más eficientes

¹⁴ “Ley fomento ambiental y optimización de los ingresos del estado” publicada en el Registro Oficial Suplemento 583 de 24-nov-2011.

desde la toma de decisiones de política ambiental, sería importante analizar los requerimientos de demanda de transporte que requieren otras actividades como el comercio y los servicios inmobiliarios.

Al ser una actividad integrada a lo largo de todo el aparato productivo, también es importante observar la relación del transporte con el resto de actividades que se encuentran fuera del subsistema. Por lo tanto, la pregunta a responder sería ¿cuánto de la contaminación de la actividad (58) “Servicios de transporte y almacenamiento” se genera debido a las ventas que realiza a las actividades que están fuera del subsistema servicios? Los cálculos presentados en el Anexo 3A.1, muestran que esas emisiones ascienden a 3.151 Kton de CO₂, una cantidad equivalente al 60% del componente demanda.

Las actividades más representativas en este aspecto son (12) “Petróleo crudo y gas natural” y (53) “Trabajos de construcción y construcción”, las cuales inducen a generar cerca del 50% de las 3.151 Kton de CO₂. Pero también aparecen actividades interesantes de analizar actividades primarias como (1) “Banano, café y cacao”, (7) “Animales vivos y productos animales”, y secundarias como: (16) “Carne, productos de la carne y subproductos”, (17) “Camarón elaborado”. En resumen, la mitigación de emisiones de esta actividad no puede enfocarse exclusivamente en políticas directas, ni considerar exclusivamente a la demanda de dicha actividad como variable de análisis. Se requiere de un conjunto de políticas integral que considere a las distintas actividades aquí señaladas, pues las mismas proveen insumos útiles para disminuir las emisiones de CO₂ que involucran al transporte.

Por otro lado, se observan actividades que poseen características muy diferentes a la del transporte, las cuales destacan por poseer un componente escala relevante, pero resulta mayor la producción que deben destinar para satisfacer la demanda final que aquella necesaria para proveer de insumos a otras actividades. Entre estas actividades destacan, la actividad (60) “Servicios de telecomunicaciones, transmisión e información” y (65) “Servicios administrativos del gobierno”. Bajo estas características, sus políticas deberían enfocarse en planes en mejores prácticas y eficiencia, lo que permitiría reducir el impacto en las emisiones de CO₂ frente aumentos de demanda. En particular este tipo de políticas

debería implementarse dentro de los propios servicios administrativos del gobierno, ya que su aplicación y control puede monitorearse para posteriores evaluaciones y análisis de impacto.

Finalmente, sobre el componente spillover externo, la Tabla 3.3 presenta información adicional, que permite comprender de mejor forma los encadenamientos existentes entre el subsistema servicios y el resto de actividades. Cabe recordar que este componente captura el efecto de arrastre que provocan los servicios sobre el resto del aparato productivo.

Tabla 3.3. Descomposición del componente spillover externo y su relación con actividades que no son parte del subsistema.

Actividades pertenecientes al sector servicios	Aceites refinados de petróleo y de otros productos	Otros productos químicos	Cemento, artículos de hormigón y piedra	Electricidad	Resto	Total
Comercio	7%	0%	0%	6%	1%	15%
Transporte y almacenamiento	17%	0%	0%	2%	1%	20%
Telecom., transmisión e información	2%	0%	0%	8%	1%	11%
Inmobiliarios	3%	0%	2%	1%	2%	8%
Adm.del gobierno y para la comunidad	5%	1%	0%	7%	2%	15%
Servicios sociales y de salud no de mercado	1%	3%	0%	2%	1%	7%
Otros servicios	2%	1%	0%	2%	1%	6%
Resto	4%	1%	0%	7%	6%	18%
Total	41%	5%	2%	37%	14%	100%

Fuente: Elaboración propia en base a matriz IO 2013 (BCE) y estimación de emisiones de CO₂ (Anexo 2A 1)

Las 3.887 Kton de CO₂ que representa el componente spillover externo dentro del subsistema, están determinadas sobre todo por sus interrelaciones con dos actividades ajenas al sector. El 41% del componente spillover externo se debe al encadenamiento del subsistema con la actividad (38) “Aceites refinados de petróleo y de otros productos”, de los cuales el mayor peso dentro del subsistema lo ejerce la actividad de transporte. Por otro lado, el 37% del componente spillover externo, queda determinado por el encadenamiento

que tiene el subsistema servicios con la actividad (51) “Electricidad”; pero a diferencia del anterior, en este caso existe mayor desconcentración en las interrelaciones sectoriales.

En base a estos resultados, la mejora en la calidad de los productos generados por las actividades (38) y (51) permitiría que el efecto arrastre en la generación de emisiones de CO₂ del sector servicios disminuya. En particular, para el caso de la actividad (38) “Aceites refinados de petróleo y de otros productos”, deben priorizarse mejoras en la calidad de los combustibles que se comercializan en el país, ya que los niveles de calidad de los derivados que se consumen en el país tienen una baja calidad. En el caso de la actividad (51) el cambio de la matriz energética con uso de fuentes renovables, permitiría una importante disminución de la contaminación, como se comenta más adelante.

El mismo planteamiento cabe para las relaciones entre la actividad (40) “Otros productos químicos” y la actividad que demanda sus productos, que es la (69) “Servicios sociales y de salud no de mercado” (salud pública). Si bien la magnitud del componente no es elevada, esta información permite observar la influencia que tiene el sector público para disminuir su propia generación de emisiones vista de manera directa o indirecta.

En el caso de las relaciones del subsistema con la actividad (44) “Cemento, artículos de hormigón y piedra”, el encadenamiento se debe exclusivamente a la actividad (63) “Servicios inmobiliarios”, lo que resulta interesante ya que este arrastre resulta mayor al existente entre la actividad (63) “Servicios inmobiliarios” y la actividad (53) “Trabajos de construcción y construcción”. Este proceso de arrastre se genera en una etapa temprana de las relaciones intersectoriales, una mejora técnica que influya sobre la relación de los coeficientes técnicos que involucran a estas actividades permitiría reducir de manera eficiente las emisiones de CO₂ que se vería reflejado en varios eslabones de la cadena.

En este punto vale la pena revisar algunas políticas ya existentes, en particular las encaminadas a generar el cambio de la matriz energética del Ecuador¹⁵. La política de

¹⁵ El cambio de la matriz energética forma parte del “Plan Nacional para el Buen Vivir 2013-2017”, de la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES, 2013). También forma parte de los ejes del “Plan Maestro de Electrificación 2013-2022” (MEER-CONELC, 2013).

cambio de la matriz energética prevé cubrir la demanda interna de electricidad con producción nacional basada en energías de fuentes renovables, principalmente de la hidroeléctrica y se proyecta que, para el año 2021, la generación de electricidad mediante fuentes renovables será mayoritaria en el país. Así, dicha política constituye una de las principales herramientas que ha diseñado el país tanto en la estructura productiva como en los temas ambientales.

Siguiendo en temas energéticos, la eficiencia energética es otro de los temas planteados dentro de las políticas diseñadas. Así, el MEER-CONELC (2013), en el “Plan Maestro de Electrificación 2013-2022”, desarrolla líneas de acción sobre el sector residencial, comercial e industrial. Sobre el primero existen medidas como la sustitución de electrodomésticos ineficientes (de alto consumo energético) por equipos nuevos y eficientes que viene implementándose desde el 2012; incentivos para mejorar las tecnologías de iluminación mediante la eliminación de tasas arancelaria para focos y tubos fluorescentes y suspensión de importación de focos incandescentes; el Plan de Cocción Eficiente, que consiste en la incorporación de 3,5 millones de cocinas eléctricas durante el período 2015–2017 y de 1,54 millones entre el 2018 y 2022, entre las principales medidas. En el sector comercial existen planes orientados a implementar medidas de eficiencia en edificios y dependencias públicas, así como el cambio de equipos de climatización y refrigeración por aquellos más eficientes. También se encuentran analizando la implementación de incentivos en reducción de impuestos (municipales) o en tarifas para aquellos clientes comerciales que sean catalogados como eficientes en su consumo energético. Finalmente para el sector industrial se tiene la aplicación de la Norma ISO 50001 - Sistemas de Gestión Energética.

Otra medida aplicada parcialmente en Ecuador es el etiquetado energético, el cual actualmente solo es obligatorio para un número limitado de electrodomésticos, pero desde los resultados aquí obtenidos sería útil y justificable que se extienda a otros bienes de alto consumo energético, como los vehículos y otros bienes del hogar. Estas políticas, además, tienen la ventaja de concientizar al consumidor sobre el tipo de bien que adquiere y obliga a los productores a mejorar sus productos y servicios para ser más competitivos.

Como se puede observar, en los últimos años se han generado una serie de políticas y planes energéticos que tienen una implicación positiva para la disminución de emisiones. Algunas de ellas forman parte de lo planteado en otras economías y que, de manera directa o indirecta, pueden ser aplicadas al sector servicios (Rosenblum et al., 2000).

3.5. Conclusiones

El estudio demuestra que en Ecuador el sector servicios es responsable de más de la tercera parte de las emisiones de CO₂, lo que evidencia que se trata de un sector con un peso importante en la contaminación ambiental y, a diferencia de lo que se suele considerar, es relevante para la implementación y diseño de políticas que mitiguen las emisiones de CO₂.

El análisis de subsistemas que se utilizó permite descomponer los diferentes canales a través de los cuales se producen y transmiten las emisiones totales generadas por un determinado sector o grupo de actividades económicas. Autores como Alcántara y Padilla (2009) y Piaggio et al. (2015) han utilizado esta metodología para analizar las emisiones de gases de efecto invernadero para el sector servicios, demostrando que muchas actividades vinculadas a este sector son responsables de importantes impactos sobre el medio ambiente.

La metodología de descomposición empleada sigue la línea de trabajos previos como Alcántara y Padilla (2009), Navarro y Alcántara (2010), Navarro (2012) y Piaggio et al. (2015); a pesar de ello, en el presente trabajo se plantea una forma alternativa, que resulta más directa, para la obtención de los componentes de las emisiones totales.

Tres de los seis componentes en los que se desagregan las emisiones totales (directas e indirectas) de CO₂ del sector servicios son relevantes. El componente más representativo es el componente de demanda, seguido en importancia por el componente spillover externo (arrastre fuera del subsistema) y finalmente el componente spillover interno (arrastre dentro del subsistema).

Las actividades que se caracterizan por tener un mayor componente de demanda son el transporte, los servicios profesionales y la administración pública. En cambio, aquellas que tienen un alto componente spillover interno son el comercio y los servicios inmobiliarios. Finalmente, el componente spillover externo es elevado para la mayoría de actividades del sector servicios.

Es importante matizar este hallazgo ya que, a diferencia de lo observado en economías desarrolladas, el componente spillover en el caso ecuatoriano es relevante pero de menor magnitud. Esto se debe a dos motivos, en primer lugar el peso que tienen los servicios en la economía ecuatoriana es mucho menor al de economías más desarrolladas y, en segundo lugar, que las actividades de servicios que mayor fuerza de arrastre ejercen se encuentran aún en etapa de desarrollo.

Por otro lado, si bien actividades como el transporte tienen un peso relevante en la contaminación de forma directa y parte de su mitigación se puede realizar con medidas que se han venido implementado, considerar a dicha actividad de manera aislada reduce el potencial de eficacia que se podría conseguir en el diseño de políticas, que aquél que se lograría si se toma en cuenta sus relaciones intersectoriales.

Varias políticas ya implementadas en el país parecen ir por el camino adecuado, en particular aquellas que atacan directamente a las fuentes de contaminación como es el cambio de la matriz energética. Esto, combinado con acciones que fomenten la eficiencia energética, generarán efectos positivos en la disminución de la contaminación ambiental. Sin embargo, el uso de las herramientas aquí utilizadas permite potencializar la eficacia de las políticas y el diseño de nuevas medidas, ya que se cuenta con información desagregada que da luces sobre los efectos que tendrían las medidas a adoptar.

3.6. Bibliografía

- Alcántara, V., (1995), “Economía y contaminación atmosférica: hacia un nuevo enfoque desde el análisis input-output” Tesis doctoral, Universitat de Barcelona.
- Alcántara, V (2007) “Análisis input-output y emisiones de CO₂ en España: un primer análisis para la determinación de sectores clave en la emisión”, Document de Treball No. 07.08, Departamento de Economía Aplicada, Universidad Autónoma de Barcelona.
- Alcántara, V. y Padilla, E., (2009). “Input–output subsystems and pollution: An application to the service sector and CO₂ emissions in Spain”, *Ecological Economics*, Vol. 68, pp. 905-914.
- Dietzenbacher E. (2002). “Interregional Multipliers: Looking Backward, Looking Forward”, *Regional Studies*, Vol. 36, No. 2, pp. 125-136.
- Bielsa, J. y Duarte, R. (2011). “Size and Linkages of the Spanish Construction Industry: Key Sector or Deformation of the Economy?”, *Cambridge Journal of Economics* Vol. 35, No. 2, pp. 317-334.
- Butnar, I. y Llop, M. (2011). “Structural decomposition analysis and input-output subsystems: Changes in CO₂ emissions of Spanish service sectors (2000-2005)”. *Ecological Economics*, Vol.70, pp. 2012–2019.
- Cardenete M., Fuentes P. y Polo C. (2008). “Una aplicación d la Metodología de Descomposición d multiplicadores a las emisiones de CO₂ generadas por el sistema productivo andaluz mediante un Modelo lineal de equilibrio general”, XXXIV Reunión de Estudios Regionales, Asociación Española de Ciencia Regional, Asociación Andaluza de Ciencia Regional.

- Chen, G.Q. y Chen, Z.M., (2010). “Carbon emissions and resources use by Chinese economy 2007: A 135-sector inventory and input–output embodiment”. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, Vol. 15, pp. 3647–3732.
- Deprez, J. (1990), “Vertical integration and the problem of fixed capital”, *Journal of Postkeynesian Economics*, Vol. 13, pp. 47–64.
- Gadrey, J., (2010), “The environmental crisis and the economics of services: the need for Revolution”, *The Handbook of Innovation and Services*, Edward Elgar, Cheltenham.
- Heimler, A. (1991). “Linkages and Vertical Integration in the Chinese Economy”. *The Review of Economics and Statistics*, Vol. 73, No. 2, pp. 261-267.
- Hoekstra, R. (2010) “(Towards) a complete database of peer-reviewed articles on environmentally extended input – output analysis” Paper prepared for the 18th International Input – Output conference, June 20-25th , Sydney, Australia.
- Llop M y Tol R. (2011). “Decomposition of Sectoral Greenhouse Gas Emissions: A Subsystem Input-Output Model for the Republic of Ireland”, ESRI Working Paper No. 398
- CONELEC (2013), “Plan Maestro de Electrificación 2014-2022”, Ministerio de Electricidad y Energía Renovable.
- Miller, R. y Blair, P. (2009) *Input-Output Analysis: foundations and extensions*, Cambridge University Press, 2nd edition.

- Nansai, K., Kagawa, S., Suh, S., Fujii, M., Inaba, R., Hashimoto, S., (2009), “Material and energy dependence of services and its implications for climate change”. *Environ. Sci. Technol*, Vol. 43, pp. 4241–4246.
- Navarro, F. y Alcántara, V. (2010) “Las emisiones de metano (CH₄) en el subsistema agroalimentario catalán: un análisis input-output alternative”, *Economía Agraria y Recursos Naturales*, Vol. 10, No. 2, pp. 25–39.
- Navarro, F (2012), “Modelos multisectoriales input-output en el estudio de los impactos ambientales: Una aplicación a la economía de Cataluña”, , Tesis para obtener el título de doctor en economía aplicada, UAB, España.
- Pasinetti, L.L (1977) “Contributi alla teoria della produzione congiunta”, Bologna: Il Mulino.
- Pasinetti, L.L. (1988). “Growing Subsystems, Vertically Hyperintegrated Sectors and the Labour Theory of Value”, *Cambridge Journal of Economics*, Vol 12, No. 1, pp.125–134.
- Piaggio M., Alcántara V. y Padilla E. (2015) “The materiality of the immaterial: Service sectors and CO₂ emissions in Uruguay”, Vol. 110, pp. 1–10.
- Pyatt, G. y Round, J. I. (1979) “Accounting and fixed price multipliers in a social accounting framework”, *The Economic Journal*, Vol. 89.
- Rosenblum, J., Horvath, A., Hendrickson, C. (2000), “Environmental implications of service Industries”, *Environ. Sci. Technol*, Vol.34, pp. 4669–4676.
- Round, J. I. (1985) “Decomposing multipliers for economic systems involving regional and world trade”, *The Economic Journal*, Vol. 95, No. 378.

- Round, J. I. (2001) “Feedback effects in interregional input–output models: what have we learned?”, in Lahr, M. L. y Dietzenbacher, E., (Eds) *Input–Output Analysis: Frontiers and Extensions.*, Palgrave, Basingstoke
- Sánchez- Chóliz, J. y Duarte, R. (2003). “Analysing pollution by way of vertically integrated coefficients, with an application to the water sector in Aragon” , Cambridge Journal of Economics Vol. 27, No. 3, pp. 433-448.
- Scazzieri, R., (1990), “Vertical integration in economic theory”, Journal of Post Keynesian Economics Vol. 13, pp. 20–46.
- SENPLADES (2013). “Plan Nacional de Desarrollo / Plan Nacional para el Buen Vivir 2013-2017”. Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo.
- Sraffa, P. (1960). Production of commodities by means of commodities: prelude to a critique of economic theory. Cambridge University Press, CUP Archive.
- Suh, S., (2006), “Are services better for climate change?”, Environ. Sci. Technol. Vol.40, pp. 6555–6560.

ANEXOS

Anexo 3A.1. Emisiones totales frente a emisiones por ventas a otras actividades fuera del subsistema.

Actividad	Emisiones Total (KtCO ₂)	%	Emisiones por ventas a otros sectores (KtCO ₂)	%
54 Servicios de comercio	2.437,3	17%	453,1	10%
55 Servicios de reparación y mantenimiento de vehículos de motor y motocicletas	21,1	0%	6,3	0%
56 Servicios de alojamiento	157,2	1%	14,9	0%
57 Servicios de restaurante	881,2	6%	19,9	0%
58 Servicios de transporte y almacenamiento	4.985,7	34%	3.151,9	72%
59 Servicios postales y de mensajería	59,8	0%	4,2	0%
60 Servicios de telecomunicaciones, transmisión e información	1.280,2	9%	51,8	1%
61 Servicios de intermediación financiera	210,5	1%	37,1	1%
62 Servicios de seguros y fondos de pensiones	48,2	0%	1,7	0%
63 Servicios inmobiliarios	946,4	6%	16,6	0%
64 Servicios prestados a las empresas y de producción	147,7	1%	607,2	14%
65 Servicios administrativos del gobierno y para la comunidad en general	1.751,8	12%	-	0%
66 Servicios de enseñanza privado	122,3	1%	0,1	0%
67 Servicios de enseñanza público (no de mercado)	258,6	2%	-	0%
68 Servicios sociales y de salud de mercado	111,2	1%	-	0%
69 Servicios sociales y de salud no de mercado	583,9	4%	-	0%
70 Servicios de asociaciones; esparcimiento; culturales y deportivos	725,2	5%	11,3	0%
71 Servicio doméstico	-	0%	-	0%
Total	14.728,5	100%	4.376,0	100%

Fuente: Elaboración propia en base a matriz IO 2013 (BCE) y estimación de emisiones de CO₂ (Anexo 2A 1)

Anexo 3A.2. Desagregación de emisiones por ventas a otras actividades fuera del subsistema (para comercio, transporte y servicios prestados a empresas).

Código	Actividad	Transporte y almacenamiento (Kton CO2)	Prestados a las empresas y de producción (Kton CO2)	Comercio (Kton CO2)
1	Banano, café y cacao	130,40	8,02	12,12
2	Cereales	4,35	0,29	0,12
3	Flores y capullos	68,69	16,98	2,15
4	Tubérculos, Vegetales, melones y frutas	34,46	12,64	0,79
5	Oleaginosas e industrializables	7,44	1,05	0,24
6	Servicios relacionados con la agricultura	0,00	0,00	0,00
7	Animales vivos y productos animales	101,69	17,47	6,88
8	Productos de la silvicultura	20,08	3,74	0,41
9	Camarón vivo o fresco y larvas de camaron	2,56	0,74	0,44
10	Pescado y otros productos acuáticos (excepto camarón)	4,00	1,91	0,93
11	Productos de la acuicultura (excepto camarón)	4,68	3,33	0,40
12	Petróleo crudo y gas natural	781,54	121,60	18,43
13	Servicios relacionados con el petróleo y gas natural	0,00	0,00	0,00
14	Minerales metálicos	2,01	0,41	0,19
15	Minerales no metálicos	-0,06	-0,01	0,00
16	Carne, productos de la carne y subproductos	146,13	20,53	32,99
17	Camarón elaborado	140,33	19,79	32,31
18	Pescado y otros productos acuáticos elaborados	38,23	5,55	6,60
19	Preparados y conservas de pescado y de otras especies acuáticas	28,60	8,75	11,04
20	Aceites crudos y refinados	52,23	6,89	8,69
21	Productos lácteos elaborados	86,27	20,88	18,57
22	Productos de molinería	51,40	5,84	13,38
23	Productos de la panadería	39,94	6,66	11,68
24	Fideos, macarrones y otros productos farináceos similares	4,00	1,37	1,46
25	Azúcar, panela y melaza	24,41	3,18	1,12
26	Cacao elaborado, chocolate y productos de confitería	17,71	6,86	7,41
27	Alimento para animales	9,44	1,25	3,27
28	Productos de café elaborado	8,45	0,86	2,24
29	Productos alimenticios diversos	84,42	14,96	9,07
30	Bebidas alcohólicas	31,64	5,44	3,57
31	Bebidas no alcohólicas	51,88	15,86	5,20
32	Tabaco elaborado	2,52	3,29	0,28
33	Hilos, hilados; tejidos y confecciones	10,09	3,61	3,52
34	Prendas de vestir	19,31	5,27	8,93
35	Cuero, productos de cuero y calzado	14,99	5,96	3,83
36	Productos de madera tratada, corcho y otros materiales	2,59	0,53	0,88
37	Pasta de papel, papel y cartón, productos editoriales y otros	25,23	5,17	4,01
38	Aceites refinados de petróleo y de otros productos	63,62	10,66	9,52
39	Productos químicos básicos, abonos y plásticos primarios	1,19	0,27	0,19
40	Otros productos químicos	31,51	11,40	5,61
41	Productos de caucho	3,00	1,39	0,79
42	Productos de plástico	2,76	0,26	0,70
43	Vidrio, cerámica y refractarios	3,44	0,95	0,33
44	Cemento, artículos de hormigón y piedra	-1,44	-0,30	-0,15
45	Metales comunes	21,66	7,22	6,30
46	Productos metálicos elaborados	34,46	8,88	8,90
47	Maquinaria, equipo y aparatos eléctricos	29,63	8,42	9,21
48	Equipo de transporte	11,51	3,83	6,20
49	Muebles	48,32	10,32	17,43
50	Otros productos manufacturados	2,27	0,71	1,00
51	Electricidad	55,54	19,04	6,72
52	Agua, servicios de saneamiento y gas (exc de petróleo)	7,59	2,74	0,21
53	Trabajos de construcción y construcción	785,11	164,76	146,99
Total de emisiones		3151,86	607,22	453,10

Fuente: Elaboración propia en base a matriz IO 2013 (BCE) y estimación de emisiones de CO₂ (Anexo 2A 1)

4. Descomposición estructural de las emisiones totales de CO₂ del subsistema servicios en Ecuador entre 2007 y 2013

Resumen

El presente capítulo analiza los factores que están detrás de la evolución de las emisiones CO₂ del sector servicios en el Ecuador, considerando el período 2007 y 2013, La metodología empleada es una combinación del análisis de subsistemas input-output con el análisis de descomposición estructural. Gracias a la metodología utilizada en el análisis de subsistemas input output se logra obtener una desagregación de efectos mayor a la obtenida en aplicaciones similares. De esta forma, los resultados obtenidos facilitan la comprensión de los elementos y causas que están detrás de la variación de las emisiones de CO₂ del sector servicios.

El estudio demuestra que, si bien la expansión de la demanda es la principal causa para el incremento de las emisiones, existen importantes asimetrías en el comportamiento de las emisiones generadas por las actividades que conforman el sector servicios, así como de las causas que generan dichas emisiones. Algunas actividades presentan mejoras interesantes en términos de eficiencia y tecnología que compensaron parcialmente el incremento en emisiones generados por el aumento de la demanda. Mientras otras incrementaron sus emisiones no sólo por la expansión de su demanda, sino por un aparente deterioro en términos de eficiencia y tecnología.

Palabras clave: descomposición estructural, emisiones de CO₂, método RAS, subsistemas input-output.

4.1. Introducción

Ecuador está considerado como uno de los países más megadiversos del mundo, gracias a los recursos naturales que posee; sin embargo, el uso que muchas actividades productivas han realizado de los éstos ha generado un impacto negativo sobre el medioambiente. Por ello, resulta indispensable tomar medidas que permitan aprovechar esos recursos de forma sustentable (SENPLADES, 2013).

Las necesidades de crecimiento de un país en desarrollo son múltiples y conjugar esas necesidades con el menor impacto posible sobre la naturaleza puede ser complejo. Por ello, es necesario analizar las implicaciones del crecimiento económico que ha experimentado el país sobre el medio ambiente, en particular sobre las emisiones de CO₂, debido al importante consumo energético basado en fuentes fósiles.

Los métodos que intentan comprender los factores detrás de la evolución de variables como la contaminación o el consumo de energía son conocidos como métodos de descomposición. La literatura sobre el tema es diversa, algunos autores como Huntington y Myers (1987), Ang y Zhang (2000), Liu y Ang (2007), han efectuado una amplia revisión de este tipo de estudios generados en distintas partes del mundo.

Existen varias técnicas para analizar la evolución de éstas variables, como el análisis econométrico o el análisis con datos agregados. Sin embargo, cuando el análisis se realiza a nivel sectorial las técnicas más utilizadas se centran en el análisis de descomposición de índices (IDA) y el análisis de descomposición estructural (SDA) (Hoekstra y van den Bergh, 2003).

El IDA es una metodología que suele utilizar diversos tipos de índices para su análisis, entre ellos: Laspeyres, Laspeyres refinado, Divisia de media logarítmica, o Divisia de media aritmética. Por su parte, el SDA es un método que permite distinguir los cambios importantes en una economía por medio de un estudio de estática comparativa que utiliza el modelo input–output (IO) como insumo para identificar dichos factores (Skolka, 1989). A

pesar de sus limitaciones, debido a las distintas formas de descomposición equivalentes que pueden existir para medir la contribución de un factor (Dietzenbacher y Los, 1998), se trata de una metodología ampliamente utilizada para analizar los efectos que están detrás de una determinada variable de interés, como podría ser el incremento del consumo energético o el aumento de las emisiones.

Existen trabajos empíricos que han combinado el método SDA con el de subsistemas input-output, con el objetivo de obtener elementos más precisos sobre los factores que inciden en la evolución de un grupo de sectores económicos.

La metodología de subsistemas input.output, fue propuesta por Sraffa (1960) y trabajada posteriormente por otros autores, como Pasinetti (1973, 1988), Deprez (1990) y Scazzieri (1990). En aplicaciones al medioambiente destacan los aportes de Alcántara (1995) o Sánchez-Chóliz y Duarte (2003), quienes incorporaron elementos de descomposición aditiva a sus análisis para darle mayor poder explicativo al modelo. En lo que respecta al uso de esta metodología aplicada al sector servicios, algunos autores han demostrado la influencia que dicho sector tiene sobre las emisiones de CO₂ (Suh, 2006; Nansai et al., 2009; Alcántara y Padilla, 2009; Gadrey, 2010; Piaggio et al., 2015).

La combinación del análisis de subsistemas y del análisis de descomposición estructural ha sido aplicada por autores como Butnar y Llop (2011) para estudiar los factores que influyen en las emisiones del sector servicios en España entre 2000 y 2005. Zhang y Liu (2014) lo emplean para comprender las emisiones generadas por el sector industrial de China entre el 2002 y 2010. Yuan y Zhao (2016) lo utilizan para analizar los patrones en la evolución de emisiones de CO₂ en las industrias de uso intensivo de energía, del mismo país.

Este estudio sigue la línea de los trabajos citados pero, a diferencia de los anteriores, efectúa la descomposición estructural sobre un mayor número de componentes en que se desagregan las emisiones totales (directas e indirectas) del subsistema. Además, la metodología empleada en el análisis de subsistemas input-output permite obtener de

manera más directa dichos componentes, pues se trata de un método alternativo al desarrollado por otros autores.

En Ecuador, resulta de interés emplear este tipo de análisis al sector servicios ya que existe evidencia sobre la responsabilidad que tiene dicho sector sobre la generación de emisiones de CO₂. Dadas las características del sector servicios en el país, esa desagregación es útil para comprender las relaciones intersectoriales existentes al interior del subsistema y fuera de él; además, en combinación con el análisis de descomposición estructural se puede comprender mejor los efectos que están detrás de la evolución de las emisiones.

Este estudio pretende ser un primer análisis que combine las técnicas mencionadas para el Ecuador, aplicadas al estudio de las emisiones de CO₂ del sector servicios, con el fin de comprender los canales más influyentes del sector para la generación de emisiones de CO₂ y los factores que están detrás del incremento en las mismas. De esta forma, la información generada podrá servir de guía para posteriores investigaciones sobre el tema.

En lo que resta del capítulo su estructura es la siguiente: el segundo apartado presenta la descripción de las metodologías utilizadas; en el tercer apartado se hace una breve descripción de los datos que fueron utilizados para los cálculos y las estimaciones; el cuarto apartado presenta los resultados y discute sobre los mismos; finalmente, en el último apartado se presentan las conclusiones.

4.2. Metodología para la descomposición estructural de los componentes de un subsistema

Esta sección se compone de dos partes. Primero se realiza una síntesis de la metodología utilizada para el análisis de subsistemas utilizada en el capítulo 3, para luego desarrollar la metodología de la descomposición estructural sobre cada uno de los componentes de las emisiones totales (directas e indirectas) del subsistema.

Los trabajos previos, que han combinado las técnicas de subsistemas con las de descomposición estructural, se han aplicado sobre un menor número de componentes de un subsistema (Butnar y Llop, 2011; Zhang y Liu, 2014; Yuan y Zhao, 2016). Para los fines de esta investigación, resulta útil una desagregación mayor de dichos componentes ya que existen fuertes interrelaciones entre las propias actividades del subsistema que vale la pena desagregar. Cabe señalar que la metodología empleada para el análisis de subsistemas constituye un método alternativo a los desarrollados por Navarro (2010) y Piaggio et al. (2015); éste permite calcular el mismo número de componentes estimado por los autores mencionados, pero los mismos se obtienen de forma más directa.

4.2.1. Análisis de subsistemas

Partiendo del modelo de Leontief, $\mathbf{x} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}\mathbf{y}$, que expresa la variable endógena \mathbf{x} como una combinación lineal de la exógena \mathbf{y} , siendo $(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} = \mathbf{B}$, la matriz inversa de Leontief¹⁶, que expresa la relación entre los niveles de producción que se requieren para satisfacer la demanda final. Este modelo puede ser descompuesto en un conjunto de subsistemas (S y M), de tal forma que el análisis pueda centrarse sólo en una actividad o conjunto de actividades de interés (S). Por lo tanto, la producción necesaria para obtener la producción total del subsistema puede aislarse asumiendo $\mathbf{y}^M = \mathbf{0}$; de esta forma, el modelo original puede reescribirse como:

$$(4.1) \quad \left[\begin{pmatrix} \mathbf{B}_{MM} & \mathbf{B}_{MS} \\ \mathbf{B}_{SM} & \mathbf{B}_{SS} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \mathbf{I} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{I} \end{pmatrix} \right] \begin{pmatrix} \mathbf{0} \\ \mathbf{y}^S \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \mathbf{0} \\ \mathbf{y}^S \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{x}_S^M \\ \mathbf{x}_S^S \end{pmatrix}$$

Expresión que permite descomponer la producción total necesaria para proporcionar la demanda final total del subsistema S, mediante un sistema de ecuaciones, como sigue:

$$(4.2) \quad \mathbf{B}_{MS}\mathbf{y}^S = \mathbf{x}_S^M$$

$$(4.3) \quad (\mathbf{B}_{SS} - \mathbf{I})\mathbf{y}^S + \mathbf{y}^S = \mathbf{x}_S^S$$

¹⁶ Las matrices se representan por letras mayúsculas, mientras los vectores se representan por letras minúsculas. Tanto vectores como matrices se señalan con negrita, además $\hat{}$ representa la diagonalización de un vector.

La expresión anterior se puede seguir operando, para descomponer en más elementos las relaciones del subsistema. Utilizando la inversión por partes sobre la matriz \mathbf{B}_{SS} , dicho término se puede escribir como: $\mathbf{B}_{SS} = (\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS})^{-1}(\mathbf{I} + \mathbf{A}_{SM}\mathbf{B}_{MS})$, de donde la matriz $(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS})^{-1}$ aún contiene información relevante que puede extraerse aplicando una descomposición aditiva¹⁷ y utilizando nuevamente una inversa por partes sobre dicha matriz. Luego de efectuar algunos reemplazos y utilizar el producto de Hadamard, la ecuación (4.3) puede escribirse como¹⁸:

$$(4.4) \quad \left[(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS}^D)^{-1} - \mathbf{I} \right] \mathbf{y}^S + (\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS}^D)^{-1} * \left\{ \mathbf{A}_{SS}^0 [(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS}^D)^{-1}]^0 \right\} \mathbf{y}^S + [(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS}^D)^{-1}]^0 \mathbf{y}^S + (\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS})^{-1} \mathbf{A}_{SM} \mathbf{B}_{MS} \mathbf{y}^S + \mathbf{y}^S = \mathbf{x}_S^S$$

Para transformar las expresiones (4.2) y (4.4) en un modelo de emisiones, se puede utilizar los vectores \mathbf{c}^M y \mathbf{c}^S , correspondientes a vectores de emisiones por unidad de producción de los subsistemas M y S, respectivamente¹⁹. Empleando este criterio, los componentes ambas expresiones serían los siguientes:

De la expresión (4.2), $\mathbf{c}^{M'} \mathbf{B}_{MS} \hat{\mathbf{y}}^S$ representa las emisiones que las actividades del subsistema M generan para atender las necesidades de inpuist de del subsistema S. Se trata, por tanto, de un efecto de arrastre que el subsistema genera sobre el resto de sectores, al que llamaremos componente spillover externo (CSE).

De la expresión (4.4) se obtendrían cinco componentes, de izquierda a derecha, son: El primer término, $\mathbf{c}^{S'} \left[(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS}^D)^{-1} - \mathbf{I} \right] \hat{\mathbf{y}}^S$, representa las emisiones generadas por la producción asociada a los inputs propios que cada actividad del subsistema S necesita para

¹⁷ Los elementos a_{jj} de la diagonal principal de una matriz pueden extraerse mediante una descomposición aditiva, de tal forma que $\mathbf{A} = \mathbf{A}^D + \mathbf{A}^0$.

¹⁸ El lector interesado puede referirse al apartado metodológico del capítulo 3, sobre el estudio de subsistemas input-output, para un mayor detalle de las operaciones algebraicas.

¹⁹ Nótese que en todas las expresiones, si se reemplaza el vector \mathbf{y} por su diagonalización ($\hat{\mathbf{y}}$), las expresiones quedan en forma de matriz y la suma de sus columnas permite conocer el impacto.

satisfacer su demanda final. Este elemento se conoce como componente propio neto (CPN). El segundo término, $\mathbf{c}^{S'}(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS}^D)^{-1} * \{\mathbf{A}_{SS}^0[(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS}^D)^{-1}]^0\} \hat{\mathbf{y}}^S$, representa las emisiones generadas por la producción de inputs que cada actividad del subsistema debe realizar para proveer al resto de actividades del mismo subsistema, con el fin de que éstas generen la producción que luego demanda el propio subsistema S, se lo conoce como componente feedback interno (CFI). El tercer término corresponde al elemento $\mathbf{c}^{S'}[(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS}^D)^{-1}]^0 \hat{\mathbf{y}}^S$, representa las emisiones generadas por la producción efectuada por el subsistema para proveer de inputs que demandan las propias actividades del subsistema, conocido como componente spillover interno (CSI). El cuarto término, $\mathbf{c}^{S'}(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS})^{-1} \mathbf{A}_{SM} \mathbf{B}_{MS} \hat{\mathbf{y}}^S$, que representa las emisiones generadas por la producción de inputs que cada actividad del subsistema debe realizar para proveer al resto de actividades que no pertenecen al subsistema, con el fin de que éstas generen la producción que luego demandan las actividades subsistema S, se conoce como componente feedback externo (CFE). Finalmente el término \mathbf{y}^S hace referencia a las emisiones generadas por la producción que se requiere para satisfacer la demanda y se conoce como componente demanda o escala (CE).

De esta forma, las emisiones totales pueden escribirse como:

$$(4.5) E = \text{CPN} + \text{CFI} + \text{CSI} + \text{CE} + \text{CFE} + \text{CSE}$$

4.2.2. Descomposición estructural del subsistema

A partir de la expresión 4.5, se puede calcular las variaciones de cada componente en un período de tiempo, mediante la diferencia (Δ) entre el valor final y el valor inicial. De esta manera, la suma de todas las variaciones representará la variación total de emisiones del subsistema en un período de tiempo, de la siguiente forma:

$$(4.6) \Delta(E) = \Delta(\text{CPN}) + \Delta(\text{CFI}) + \Delta(\text{CSI}) + \Delta(\text{CE}) + \Delta(\text{CFE}) + \Delta(\text{CSE})$$

Los cuatro primeros efectos están asociados a los cambios que se generan al interior del propio subsistema; mientras que los dos últimos se corresponden a los cambios generados entre las relaciones del subsistema con el resto de sectores.

En ese sentido, el primer sumando de la expresión (4.6) representa el cambio en el componente $\Delta(\text{CPN})$, “componente propio neto”, el cual puede descomponerse de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
 (4.7) \Delta(\text{CPN}) &= \mathbf{c}_1^{S'} \left[(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS}^D)^{-1} - \mathbf{I} \right]_1 \hat{\mathbf{y}}_1^S - \mathbf{c}_0^{S'} \left[(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS}^D)^{-1} - \mathbf{I} \right]_0 \hat{\mathbf{y}}_0^S \\
 &= \Delta \left[\mathbf{c}^{S'} \left[(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS}^D)^{-1} - \mathbf{I} \right] \hat{\mathbf{y}}^S \right] \left(\frac{1}{2} \hat{\mathbf{y}}_0^S + \frac{1}{2} \hat{\mathbf{y}}_1^S \right) \\
 &\quad - \left(\frac{1}{2} \mathbf{c}_0^{S'} \left[(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS}^D)^{-1} - \mathbf{I} \right]_0 + \frac{1}{2} \mathbf{c}_1^{S'} \left[(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS}^D)^{-1} - \mathbf{I} \right]_1 \right) \Delta[\hat{\mathbf{y}}^S]
 \end{aligned}$$

Donde los subíndices 0 y 1 representan los valores iniciales y finales, respectivamente²⁰. La expresión (4.7) presenta dos determinantes para el cambio en CPN. Por un lado, el término $\Delta \left[\mathbf{c}^{S'} \left[(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS}^D)^{-1} - \mathbf{I} \right] \hat{\mathbf{y}}^S \right] \left(\frac{1}{2} \hat{\mathbf{y}}_0^S + \frac{1}{2} \hat{\mathbf{y}}_1^S \right)$, que se denomina “*efecto tecnológico propio neto*” $\Delta(\text{ET}_{\text{CPN}})$, el cual muestra cómo los cambios tanto en la intensidad de emisión del subsistema, como en los coeficientes asociados a la producción de inputs propios de cada actividad del subsistema, contribuyen a un cambio en el efecto propio neto. El segundo término $\left(\frac{1}{2} \mathbf{c}_0^{S'} \left[(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS}^D)^{-1} - \mathbf{I} \right]_0 + \frac{1}{2} \mathbf{c}_1^{S'} \left[(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS}^D)^{-1} - \mathbf{I} \right]_1 \right)$, denominado “*efecto demanda propio neto*” $\Delta(\text{ED}_{\text{CPN}})$, muestra los cambios en el efecto propio neto generados por cambios en la demanda.

²⁰ Cabe señalar que el método de descomposición utilizado requiere que los determinantes a descomponer sean independientes. Sin embargo, la expresión $\mathbf{c}^{S'} \left[(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS}^D)^{-1} - \mathbf{I} \right] \hat{\mathbf{y}}^S$ no es independiente ya que los consumos intermedios de la matriz input-output afectan tanto a las emisiones como a los coeficientes técnicos, por lo tanto ésta dependencia podría causar sesgo en la descomposición (Dietzenbacher y Los, 2000). Si bien los mismos autores propusieron superar el problema de la dependencia en identidades contables entre los determinantes, en éste caso no es posible aplicar dicha solución debido a que no existen relaciones económicas o ecológicas fijas (ver Butnar y Llop, 2011; Yuan y Zhao, 2016). Por lo anterior, al tomar la expresión $\mathbf{c}^{S'} \left[(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS}^D)^{-1} - \mathbf{I} \right] \hat{\mathbf{y}}^S$ como un solo determinante, la variación del componente propio neto D(CPN) tiene únicamente dos determinantes para la descomposición y la media de las n! soluciones no produce ningún residuo ya que es exacta (Dietzenbacher y Los, 1998). Lo anterior aplica para el resto de operaciones que se realizan.

Si guiendo con el análisis, el tercer sumando de la expresión (4.6), se puede descomponer como:

$$(4.8) \Delta(\text{CFI}) = \mathbf{c}_1^{S'} \left[(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS}^D)^{-1} * \left\{ \mathbf{A}_{SS}^0 [(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS}^D)^{-1}]^0 \right\} \right]_1 \hat{\mathbf{y}}_1^S - \mathbf{c}_0^{S'} \left[(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS}^D)^{-1} * \right. \\ \left. \mathbf{A}_{SS}^0 (\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS}^D)^{-1} \right]_1 \hat{\mathbf{y}}_0^S \\ \mathbf{ASS0}(\mathbf{I} - \mathbf{ASSD}) - \mathbf{100y0S} \\ = \Delta \left[\mathbf{c}^{S'} (\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS}^D)^{-1} * \left\{ \mathbf{A}_{SS}^0 [(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS}^D)^{-1}]^0 \right\} \hat{\mathbf{y}}^S \right] \left(\frac{1}{2} \hat{\mathbf{y}}_0^S + \frac{1}{2} \hat{\mathbf{y}}_1^S \right) \\ - \left[(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS}^D)^{-1} * \left\{ \mathbf{A}_{SS}^0 [(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS}^D)^{-1}]^0 \right\} \right]_1 \Delta[\hat{\mathbf{y}}^S]$$

La ecuación (4.8) presenta dos elementos para el cambio en $\Delta(\text{CFI})$. El término $\Delta \left[\mathbf{c}^{S'} (\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS}^D)^{-1} * \left\{ \mathbf{A}_{SS}^0 [(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS}^D)^{-1}]^0 \right\} \hat{\mathbf{y}}^S \right] \left(\frac{1}{2} \hat{\mathbf{y}}_0^S + \frac{1}{2} \hat{\mathbf{y}}_1^S \right)$, muestra cómo los cambios tanto en la intensidad de emisiones, como en los coeficientes técnicos asociados a la producción de inputs que cada actividad del subsistema genera, para que sean utilizados por el conjunto de actividades del mismo subsistema, y que servirán para satisfacer la demanda final de cada actividad del subsistema S, contribuyen al efecto denominado “*efecto tecnológico feedback interno*” $\Delta(\text{ET}_{\text{CFI}})$. El segundo término, $\left(\frac{1}{2} \mathbf{c}_0^{S'} \mathbf{A}_{SS_0}^0 \left[(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS_0}^D)^{-1} \right]^D + \frac{1}{2} \mathbf{c}_1^{S'} \mathbf{c}_1^{S'} \mathbf{A}_{SS_1}^0 \left[(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS_1}^D)^{-1} \right]^D \right) \mathbf{D}[\hat{\mathbf{y}}^S]$, denominado “*efecto demanda feedback interno*” $\Delta(\text{ED}_{\text{CFI}})$, muestra los cambios en el efecto feedback interno originados por cambios en la demanda.

El tercer sumando de la expresión (4.6) muestra el cambio en el componente $\Delta(\text{CSI})$, “*componente spillover interno*”, el cual puede descomponerse como sigue:

$$(4.9) \Delta(\text{CSI}) = \mathbf{c}_1^{S'} \left[(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS}^D)^{-1} \right]_1^0 \hat{\mathbf{y}}_1^S - \mathbf{c}_0^{S'} \left[(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS}^D)^{-1} \right]_0^0 \hat{\mathbf{y}}_0^S \\ = \Delta \left[\mathbf{c}^{S'} \left[(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS}^D)^{-1} \right]^0 \hat{\mathbf{y}}^S \right] \left(\frac{1}{2} \hat{\mathbf{y}}_0^S + \frac{1}{2} \hat{\mathbf{y}}_1^S \right) \\ - \left(\frac{1}{2} \mathbf{c}_0^{S'} \left[(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS_1}^D)^{-1} \right]_0^0 + \frac{1}{2} \mathbf{c}_1^{S'} \left[(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS_1}^D)^{-1} \right]_1^0 \right) \Delta[\hat{\mathbf{y}}^S]$$

La expresión (4.9) presenta dos determinantes para el cambio en $\Delta(\text{CSI})$. Por un lado, el término $\Delta[\mathbf{c}^{\text{S}'}[(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{\text{SS}}^{\text{D}})^{-1}]^0 \hat{\mathbf{y}}^{\text{S}}] \left(\frac{1}{2} \hat{\mathbf{y}}_0^{\text{S}} + \frac{1}{2} \hat{\mathbf{y}}_1^{\text{S}}\right)$, denominado “*efecto tecnológico spillover interno*” $\Delta(\text{ET}_{\text{CSI}})$, muestra cómo los cambios tanto en la intensidad de emisión como en los coeficientes técnicos asociados al efecto arrastre que se genera entre las propias actividades del subsistema S, contribuyen al efecto spillover interno. El segundo término, $\left(\frac{1}{2} \mathbf{c}_0^{\text{S}'} [(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{\text{SS}_1}^{\text{D}})^{-1}]_0^0 + \frac{1}{2} \mathbf{c}_1^{\text{S}'} [(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{\text{SS}_1}^{\text{D}})^{-1}]_1^0\right) \Delta[\hat{\mathbf{y}}^{\text{S}}]$, denominado “*efecto demanda spillover interno*” $\Delta(\text{ED}_{\text{CSI}})$, muestra la contribución que tienen los cambios en la demanda final del subsistema sobre el efecto spillover interno.

El cuarto sumando de la expresión (4.6) corresponde a la variación del componente escala $\Delta(\text{CE})$, el cual puede descomponerse como:

$$\begin{aligned}
 (4.10) \Delta(\text{CE}) &= \mathbf{c}_1^{\text{S}'} \hat{\mathbf{y}}_1^{\text{S}} - \mathbf{c}_0^{\text{S}'} \hat{\mathbf{y}}_0^{\text{S}} \\
 &= \Delta[\mathbf{c}^{\text{S}'}] \left(\frac{1}{2} \hat{\mathbf{y}}_0^{\text{S}} + \frac{1}{2} \hat{\mathbf{y}}_1^{\text{S}}\right) \\
 &\quad - \left(\frac{1}{2} \mathbf{c}_0^{\text{S}'} + \frac{1}{2} \mathbf{c}_1^{\text{S}'}\right) \Delta[\hat{\mathbf{y}}^{\text{S}}]
 \end{aligned}$$

La ecuación (4.10) contiene dos elementos para el análisis del efecto $\Delta(\text{CE})$. El primero corresponde al término $\Delta[\mathbf{c}^{\text{S}'}] \left(\frac{1}{2} \hat{\mathbf{y}}_0^{\text{S}} + \frac{1}{2} \hat{\mathbf{y}}_1^{\text{S}}\right)$, denominado “*efecto emisión*” $\Delta(\text{EE}_{\text{CE}})$, muestra la cómo los cambios en la intensidad de emisiones contribuyen al efecto escala. El segundo término, $\left(\frac{1}{2} \mathbf{c}_0^{\text{S}'} + \frac{1}{2} \mathbf{c}_1^{\text{S}'}\right) \Delta[\hat{\mathbf{y}}^{\text{S}}]$, denominado “*efecto demanda*” $\Delta(\text{ED}_{\text{CE}})$, muestra cómo los cambios en la demanda final contribuyen al efecto demanda.

Respecto a los efectos externos que genera el subsistema frente al resto de sectores, el quinto sumando de la expresión (4.6) corresponde a la variación en el componente feedback externo, $\Delta(\text{CFE})$, el cuál puede descomponerse en:

$$\begin{aligned}
(4.11) \Delta(\text{CFE}) &= \mathbf{c}_1^{\text{S}'} [(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{\text{SS}}^{\text{D}})^{-1}]_1^0 \hat{\mathbf{y}}_1^{\text{S}} - \mathbf{c}_0^{\text{S}'} [(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{\text{SS}}^{\text{D}})^{-1}]_0^0 \hat{\mathbf{y}}_0^{\text{S}} \\
&= \Delta \left[\mathbf{c}^{\text{S}'} [(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{\text{SS}}^{\text{D}})^{-1}]^0 \right] \left(\frac{1}{2} \hat{\mathbf{y}}_0^{\text{S}} + \frac{1}{2} \hat{\mathbf{y}}_1^{\text{S}} \right) \\
&\quad - \left(\frac{1}{2} \mathbf{c}_0^{\text{S}'} [(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{\text{SS}}^{\text{D}})^{-1}]_0^0 + \frac{1}{2} \mathbf{c}_1^{\text{S}'} [(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{\text{SS}}^{\text{D}})^{-1}]_1^0 \right) \Delta[\hat{\mathbf{y}}^{\text{S}}]
\end{aligned}$$

La expresión (4.11) también posee dos elementos que explican la variación del componente feedback externo $\Delta(\text{CFE})$. El primero corresponde al término $\Delta \left[\mathbf{c}^{\text{S}'} [(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{\text{SS}}^{\text{D}})^{-1}]^0 \right] \left(\frac{1}{2} \hat{\mathbf{y}}_0^{\text{S}} + \frac{1}{2} \hat{\mathbf{y}}_1^{\text{S}} \right)$, denominado “*efecto tecnológico feedback externo*” $\Delta(\text{ET}_{\text{CFE}})$, muestra cómo los cambios en la intensidad en las emisiones junto con los cambios en los coeficientes técnicos asociados a la producción de inputs que cada actividad del subsistema genera, para que sean utilizados por el resto de actividades que no pertenecen al subsistema, y que servirán para satisfacer la demanda final de las actividades del subsistema S, contribuyen al efecto tecnológico feedback externo. El segundo término, $\left(\frac{1}{2} \mathbf{c}_0^{\text{S}'} (\mathbf{I} - \mathbf{A}_{\text{SS}_0})^{-1} \mathbf{A}_{\text{SM}_0} \mathbf{B}_{\text{MS}_0} + \frac{1}{2} \mathbf{c}_1^{\text{S}'} (\mathbf{I} - \mathbf{A}_{\text{SS}_1})^{-1} \mathbf{A}_{\text{SM}_1} \mathbf{B}_{\text{MS}_1} \right) \Delta[\hat{\mathbf{y}}^{\text{S}}]$, denominado “*efecto demanda*” $\Delta(\text{ED}_{\text{CFE}})$, muestra cómo los cambios en la demanda final contribuyen al efecto feedback externo.

Finalmente, el último sumando de la ecuación (4.6), corresponde a la variación en el componente spillover externo, $\Delta(\text{CSE})$, el cuál puede descomponerse en:

$$\begin{aligned}
(4.12) \Delta(\text{CSE}) &= \mathbf{c}_1^{\text{M}'} \mathbf{B}_{\text{MS}_1} \hat{\mathbf{y}}_1^{\text{S}} - \mathbf{c}_0^{\text{M}'} \mathbf{B}_{\text{MS}_0} \hat{\mathbf{y}}_0^{\text{S}} \\
&= \Delta \left[\mathbf{c}^{\text{M}'} \mathbf{B}_{\text{MS}} \hat{\mathbf{y}}^{\text{S}} \right] \left(\frac{1}{2} \hat{\mathbf{y}}_0^{\text{S}} + \frac{1}{2} \hat{\mathbf{y}}_1^{\text{S}} \right) \\
&\quad - \left(\frac{1}{2} \mathbf{c}_0^{\text{M}'} \mathbf{B}_{\text{MS}_0} \hat{\mathbf{y}}_0^{\text{S}} + \frac{1}{2} \mathbf{c}_1^{\text{M}'} \mathbf{B}_{\text{MS}_1} \hat{\mathbf{y}}_1^{\text{S}} \right) \Delta[\hat{\mathbf{y}}^{\text{S}}]
\end{aligned}$$

La expresión (4.12) posee dos elementos que explican la variación del componente spillover externo. El primero $\Delta \left[\mathbf{c}^{\text{M}'} \mathbf{B}_{\text{MS}} \hat{\mathbf{y}}^{\text{S}} \right] \left(\frac{1}{2} \hat{\mathbf{y}}_0^{\text{S}} + \frac{1}{2} \hat{\mathbf{y}}_1^{\text{S}} \right)$, denominado “*efecto tecnológico spillover externo*” $\Delta(\text{ET}_{\text{CSE}})$, muestra cómo los cambios en la intensidad de emisiones y los cambios en los coeficientes técnicos asociados a la producción que generan las actividades fuera del subsistema para satisfacer los inputs que demandan las actividades del subsistema

para su producción influyen sobre el efecto spillover externo. El segundo término $\left(\frac{1}{2} \mathbf{c}_0^{\mathbf{M}'} \mathbf{B}_{\text{MS}_0} \hat{\mathbf{y}}_0^{\mathbf{S}} + \frac{1}{2} \mathbf{c}_1^{\mathbf{M}'} \mathbf{B}_{\text{MS}_1} \hat{\mathbf{y}}_1^{\mathbf{S}}\right) \Delta[\hat{\mathbf{y}}^{\mathbf{S}}]$, denominado “*efecto demanda*” $\Delta(\text{ED}_{\text{CSE}})$ muestra cómo los cambios en la demanda final contribuyen al efecto spillover externo.

Utilizando las expresiones (4.7) a (4.12) se puede reescribir la variación de las emisiones totales de CO₂ del subsistema servicios de la siguiente forma:

$$(4.13) \Delta(\text{E}) = \Delta(\text{ET}_{\text{CPN}}) + \Delta(\text{ET}_{\text{CFI}}) + \Delta(\text{ET}_{\text{CSI}}) + \Delta(\text{ET}_{\text{CFE}}) + \Delta(\text{ET}_{\text{CSE}}) \\ + \Delta(\text{ED}_{\text{CPN}}) + \Delta(\text{ED}_{\text{CFI}}) + \Delta(\text{ED}_{\text{CSI}}) + \Delta(\text{ED}_{\text{CFE}}) + \Delta(\text{ED}_{\text{CSE}}) \\ + \Delta(\text{ED}_{\text{CE}}) + \Delta(\text{EE}_{\text{CE}})$$

Agrupando los términos de la ecuación (4.13), se tiene:

$$(4.14) \Delta(\text{E}) = \Delta(\text{ET}) + \Delta(\text{ED}) + \Delta(\text{EE})$$

Donde $\Delta(\text{ET})$ representa el efecto tecnológico, que identifica los cambios totales en las emisiones de CO₂ causados por los cambios en la intensidad energética junto con los cambios en los coeficientes técnicos asociados a los distintos componentes de las emisiones totales del subsistema. Por otro lado, el componente $\Delta(\text{ED})$ representa el efecto demanda, el cual identifica los cambios generados en la variación de emisiones totales de CO₂ provocados por cambios en la demanda. Finalmente, el componente $\Delta(\text{EE})$, representa el efecto de la variación en las intensidades de emisión.

4.3. Descripción de los datos utilizados

El desarrollo del presente capítulo utiliza las matrices IO publicadas por el Banco Central del Ecuador (BCE), para los años 2007 y 2013, las cuales se encuentran en términos corrientes y utilizan el 2007 como año base. La información se encuentra desagregada para 71 actividades económicas de las cuales 18 corresponden al sector servicios.

El BCE publica las matrices IO únicamente en términos corrientes. Sin embargo, varios autores (Dietzenbacher y Los, 2005; Butnar y Llop, 2011; Zhu et al., 2012; Yuan y Zhao, 2016) señalan que para eliminar los impactos por influencia monetaria se debe utilizar las matrices IO a precios constantes. En tal sentido, fue necesario realizar la transformación únicamente de la matriz IO del año 2013 de dólares corrientes a dólares constantes, ya que la matriz IO del año 2007 se encuentra en dólares constantes. La transformación se realiza en base al método RAS, uno de los métodos más utilizados para estos fines dadas las ventajas que posee frente a otros métodos como el de doble deflación (Dietzenbacher y Hoen, 1998; Hoen, 2002). En el Anexo 4A.1, se realiza una breve explicación del método utilizado.

En lo referente a los vectores de emisiones de CO₂ para los años 2007 y 2013, se utilizaron los mismos criterios y fuentes de información (para cada año) descritos en los capítulos previos. Esto se debe a las limitaciones de información, tanto de consumo de energía como de emisiones de CO₂, que existe por parte de fuentes oficiales. En ese sentido, se realizaron estimaciones de las emisiones de CO₂ para las 71 actividades económicas de la matriz IO en base a la estimación de consumo de energía primaria de cada una de las actividades. Para el cálculo de las estimaciones se utilizaron datos de los balances energéticos publicados por la agencia internacional de energía (IEA), datos de los balances energéticos publicados por el Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos del Ecuador (MICSE), datos de consumo de energías finales desagregadas en las tablas de oferta utilización (TOU) e información de la matriz IO, éstas últimas publicadas por el BCE. El lector interesado en una mayor explicación de la metodología empleada, puede referirse al Anexo 2A.1 del capítulo 2.

4.4. Principales resultados y discusión

En esta sección se presenta, en primer lugar, los resultados de las emisiones de CO₂ del subsistema servicios para los años 2007 y 2013 a nivel total y por componente. En segundo lugar, el análisis se centrará en comprender los factores que están detrás de esa variación, desde la óptica de la descomposición estructural.

4.4.1. Cambios en los efectos del subsistema

La Tabla 4.1 presenta la evolución de las emisiones totales (directas e indirectas) de CO₂, entre los años 2007 y 2013, desagregado para las 18 actividades que conforman el sector servicios. A nivel de toda la economía, se observa que existió un incremento de las emisiones totales correspondiente a 10.312 Kton de CO₂, de las cuales el sector servicio fue responsable del 41% (4.247 Kton de CO₂). Las emisiones totales (directas e indirectas) del subsistema servicios pasaron de 11.079 Kton de CO₂ a 15.326 Kton de CO₂, lo que representa un crecimiento del 38% en 6 años, este crecimiento resulta mayor si se lo compara con el resto de sectores que no pertenecen al subsistema, el cual fue sólo del 29%.

A nivel general, la responsabilidad frente a todo el aparato productivo en las emisiones totales de CO₂ del sector servicios pasó del 34,9% al 36,5% en el 2013, lo que refleja un incremento cercano al 2% en el período analizado.

Tabla 4.1. Emisiones totales de CO₂ desagregado por actividades del subsistema servicios para los años 2007 y 2013.

Actividad	Emisión Total 2007 (KtCO ₂)	Emisión Total 2013 (KtCO ₂)	Variación (ΔE) (KtCO ₂)	%frente a (ΔE) de servicios
54 Servicios de comercio	2.074	2.351	277	7%
55 Servicios de reparación y mantenimiento de vehículos de motor y motocicletas	11	19	8	0%
56 Servicios de alojamiento	130	156	26	1%
57 Servicios de restaurante	639	885	247	6%
58 Servicios de transporte y almacenamiento	3.858	5.475	1.617	38%
59 Servicios postales y de mensajería	27	61	34	1%
60 Servicios de telecomunicaciones, transmisión e información	775	1.331	556	13%
61 Servicios de intermediación financiera	162	204	42	1%
62 Servicios de seguros y fondos de pensiones	36	41	5	0%
63 Servicios inmobiliarios	933	993	61	1%
64 Servicios prestados a las empresas y de producción	185	139	(46)	-1%
65 Servicios administrativos del gobierno y para la comunidad en general	831	1.814	983	23%
66 Servicios de enseñanza privado	120	128	8	0%
67 Servicios de enseñanza público (no de mercado)	160	254	94	2%
68 Servicios sociales y de salud de mercado	117	123	6	0%
69 Servicios sociales y de salud no de mercado	190	642	452	11%
70 Servicios de asociaciones; esparcimiento; culturales y deportivos	832	709	(123)	-3%
71 Servicio doméstico	-	-	-	
Resto de sectores	20.627	26.693	6.066	
Total servicios	11.079	15.326	4.247	100%
Total general	31.707	42.019	10.312	

Fuente: Elaboración propia en base al Anexo 4A.1.

Dentro de las actividades que conforman el sector, se observa que sólo 2 de las 18 actividades muestran un decrecimiento en su responsabilidad de emisiones totales, están son (64) “Servicios prestados a las empresas y de producción” y (70) “Servicios de asociaciones; esparcimiento; culturales y deportivos”; sin embargo, debido al peso que tienen frente al incremento provocado por las demás actividades es bajo, por ello esta disminución no resulta significativa en términos del total de Kton de CO₂ generados por el sector.

Por su parte, las actividades con mayores variaciones positivas entre el 2007 y 2013 son: las emisiones de la actividad (58) “ Servicios de transporte y almacenamiento” y las emisiones de la actividad (65) “Servicios administrativos del gobierno y para la comunidad en general”, cuyo incremento representa el 38% y 23%, respectivamente, del aumento de emisiones totales del subsistema servicios. Con menor relevancia aparecen la actividad (60) “Servicios de telecomunicaciones, transmisión e información” y (69) “Servicios sociales y de salud no de mercado”, responsables del 13% y 11%, de ese total.

A nivel general, la tabla 4.2 muestra las variaciones generadas en cada componente de las emisiones totales (directas e indirectas) del sector servicios, entre los años 2007 y 2013.

Tabla 4.2. Componentes de la emisión total de CO₂ del subsistema servicios.

Componente	2007 Kton CO₂	% frente al total	2013 Kton CO₂	% frente al total
Componente Propio Neto (CPN)	298	2,7%	393	2,6%
Componente Feedback interno (CFI)	32	0,3%	44	0,3%
Componente Spillover interno (CSI)	2.157	19,5%	2.571	16,8%
Componente Escala (CE)	5.489	49,5%	7.715	50,3%
Componente Feedback externo (CFE)	279	2,5%	312	2,0%
Componente Spillover externo (CSE)	2.824	25,5%	4.291	28,0%
Emisiones Totales (E)	11.079	100%	15.326	100,0%

Fuente: Elaboración propia en base al Anexo 4A.2

Como se puede apreciar, todos los componentes de la emisión total se incrementaron entre el 2007 y 2013, pero llama la atención los cambios en la estructura del peso que cada componente representa en las emisiones totales (directas e indirectas) de CO₂.

Así, durante el período analizado, el componente escala representa, de manera muy significativa el componente más relevante para explicar las emisiones totales de CO₂ del subsistema, en cifras redondas, representa el 50% de las emisiones totales; además, en el transcurso de los 6 años tuvo un incremento un 0,8% su participación.

Por otro lado, el componente spillover externo pasó de representar el 25,5% en el 2007 al 28% para el 2013; lo que representa, un crecimiento de 2.5%. Visto de forma relativa, se podría decir que representa el triple del crecimiento del componente demanda. No hay que olvidar que, desde el objetivo de éste análisis, el componente spillover externo es el más interesante, ya que captura las emisiones que realizan otras actividades, que no pertenecen al sector servicios de manera directa, pero que son atribuibles de manera indirecta al subsistema; es decir, las generadas por un efecto arrastre.

En tercer lugar, el componente spillover interno disminuyó su peso relativo en las emisiones totales pasando del 19,5% al 16,8%. Esto resulta interesante, ya que también se trata de un efecto arrastre, pero generado al interior del propio subsistema, el cual se redujo en prácticamente la misma proporción en la que aumentó el componente spillover externo.

La Tabla 4.3 contiene la variación de cada componente desagregada por actividad económica. Como se puede observar, existen características distintas entre las actividades pertenecientes a los servicios.

Entre las actividades que más destacan, se encuentra la actividad (58) “Servicios de transporte y almacenamiento”, con una variación de las emisiones totales de 1.617 Kton de CO₂, lo que representa cerca de un 40% de la variación total de las emisiones. Por su parte, destaca también la actividad (65) “Servicios administrativos del gobierno y para la comunidad en general”, con 983 Kton de CO₂ (23% del total), y la actividad (60) “Servicios de telecomunicaciones, transmisión e información”, que incrementó sus emisiones totales en 556 Kton de CO₂, lo que representa un 13% del total. También es relevante la actividad (69) “Servicios sociales y de salud no de mercado” que representa el

11% del incremento de las emisiones totales. Si bien su magnitud no es muy significativa, en términos de estática comparativa esa actividad tuvo un crecimiento relevante en las emisiones totales generadas. Desde otra óptica, este resultado muestra la existencia de dos actividades del sector servicios, cuya responsabilidad recae sobre el gobierno y que podrían ser casos interesantes de mayor análisis para objetivos de política ambiental.

Tabla 4.3. Variación de los componentes de la emisión total de CO2 del subsistema servicios por actividad económica.

Actividad	$\Delta(\text{CPN})$	$\Delta(\text{EFI})$	$\Delta(\text{CSI})$	$\Delta(\text{CE})$	$\Delta(\text{CFE})$	$\Delta(\text{CSE})$	ΔE	%
54 Servicios de comercio	1	1	101	113	(8)	70	277	7%
55 Servicios de reparación y mantenimiento de vehículos de motor y motocicletas	-	0	2	3	0	3	8	0%
56 Servicios de alojamiento	-	0	3	20	0	3	26	1%
57 Servicios de restaurante	-	0	14	179	5	48	247	6%
58 Servicios de transporte y almacenamiento	81	10	28	1.043	(7)	461	1.617	38%
59 Servicios postales y de mensajería	-	0	10	15	0	9	34	1%
60 Servicios de telecomunicaciones, transmisión e información	16	1	91	262	6	181	556	13%
61 Servicios de intermediación financiera	1	0	12	10	1	19	42	1%
62 Servicios de seguros y fondos de pensiones	1	0	2	(0)	0	2	5	0%
63 Servicios inmobiliarios	1	0	(10)	18	(2)	53	61	1%
64 Servicios prestados a las empresas y de producción	(2)	(0)	(5)	(34)	(1)	(5)	(46)	-1%
65 Servicios administrativos del gobierno y para la comunidad en general	-	-	98	493	20	371	983	23%
66 Servicios de enseñanza privado	-	(0)	2	(0)	0	6	8	0%
67 Servicios de enseñanza público (no de mercado)	-	-	17	39	3	35	94	2%
68 Servicios sociales y de salud de mercado	-	-	1	1	0	4	6	0%
69 Servicios sociales y de salud no de mercado	-	-	70	116	23	243	452	11%
70 Servicios de asociaciones; esparcimiento; culturales y deportivos	(4)	(0)	(23)	(51)	(9)	(37)	(123)	-3%
71 Servicio doméstico	-	-	-	-	-	-	-	0%
Total	96	12	414	2.226	33	1.467	4.247	100%
% de cada componente frente al total de la variación	2,3%	0,3%	9,7%	52,4%	0,8%	34,5%	100,0%	

Fuente: Elaboración propia en base al Anexo 4A.2

Por otro lado, la Tabla 4.3. también permite observar que, en general el mayor peso de la variación en las emisiones totales se concentra en el componente escala (CE). No obstante, aunque el componente escala sea el más representativo en la variación de la mayoría de actividades, el componente spillover externo (CSE) constituye entre el 20% y 40% del peso de la variación de emisiones. En ciertas actividades como la actividad (69) “Servicios sociales y de salud no de mercado”, éste componente supera al efecto escala.

En lo que respecta al componente spillover interno (CSI), éste pierde relevancia entre los componentes que explican la variación de las emisiones. Cabe señalar que, la actividad de comercio suele ser muy importante en explicar el componente spillover interno debido a

sus encadenamientos a lo largo de todo el aparato productivo; con un comportamiento similar esta la actividad de servicios inmobiliarios.

Para comprender las razones que están detrás de las variaciones en la generación de emisiones totales (directas e indirectas) del sector servicios, en el siguiente apartado se presentan los resultados de la descomposición estructural.

4.4.2. Descomposición estructural de los componentes de las emisiones totales de CO₂ del subsistema servicios.

El cambio estructural planteado en el apartado metodológico, permite descomponer en tres efectos la variación de las emisiones totales del subsistema, a saber: efecto tecnológico (ET), efecto demanda (ED) y efecto intensidad de emisiones (EE), estos elementos además son presentados en la Tabla 4.4, en base al cómputo de la expresión (4.14).

Tabla 4.4. Efectos de la descomposición estructural del subsistema servicios, desagregado por componente de las emisiones totales.

Sector servicios	$\Delta(EE)$	$\Delta(ET)$	$\Delta(ED)$	$\Delta(Total)$
54 Servicios de comercio	(5,0)	(156,6)	438,9	277,4
55 Servicios de reparación y mantenimiento de vehícul	0,2	(0,2)	7,7	7,7
56 Servicios de alojamiento	(3,8)	(12,0)	41,8	26,0
57 Servicios de restaurante	76,3	(49,6)	219,8	246,5
58 Servicios de transporte y almacenamiento	(528,2)	85,6	2.059,6	1.617,0
59 Servicios postales y de mensajería	0,3	(3,0)	36,4	33,7
60 Servicios de telecomunicaciones, transmisión e infc	(76,0)	(131,7)	764,0	556,3
61 Servicios de intermediación financiera	(5,2)	(23,3)	70,6	42,1
62 Servicios de seguros y fondos de pensiones	(2,5)	(13,3)	21,3	5,5
63 Servicios inmobiliarios	(0,1)	(35,2)	95,9	60,6
64 Servicios prestados a las empresas y de producció	(21,7)	(3,8)	(21,0)	(46,5)
65 Servicios administrativos del gobierno y para la cor	240,5	189,2	553,3	983,1
66 Servicios de enseñanza privado	(2,8)	(5,2)	16,4	8,5
67 Servicios de enseñanza público (no de mercado)	14,5	17,9	61,7	94,1
68 Servicios sociales y de salud de mercado	(1,4)	(5,8)	13,5	6,3
69 Servicios sociales y de salud no de mercado	3,8	92,0	356,0	451,8
70 Servicios de asociaciones; esparcimiento; culturale	(32,2)	(51,8)	(39,4)	(123,3)
71 Servicio doméstico	-	-	-	-
Total	(343,1)	(106,5)	4.696,4	4.246,7

Fuente: Elaboración propia en base al Anexo 4A.3

La descomposición estructural muestra que el efecto demanda fue el principal componente para el incremento de las emisiones totales. En sentido opuesto, los efectos de intensidad de emisiones y efecto tecnológico aportaron para una reducción las emisiones totales, la cuales en conjunto representaron el 11% de la variación total. En otras palabras, a pesar de que existió una reducción en la intensidad de emisiones generadas por unidad de producción (una mejora en la eficiencia) y que esta reducción de la intensidad de emisiones, en conjunto con cambios generados en los coeficientes técnicos utilizados en los procesos productivos, permitieron una reducción de las emisiones totales, estas mejoras fueron de menor magnitud a las presentadas por el efecto escala. En resumen, a nivel agregado, la expansión de la demanda tuvo una incidencia mucho más significativa en el incremento de las emisiones que las que obtenidas por las mejoras en eficiencia y los cambios tecnológicos.

Continuando con el análisis a nivel de actividad económica, la actividad (58) “Servicios de transporte y almacenamiento” es la que más aporta a la variación de emisiones y el efecto demanda de dicha actividad (2.059 Kton de CO₂) representa cerca de la mitad de la variación total del subsistema. A su vez, esta actividad también posee el efecto intensidad de emisiones más negativo; lo que significa que la menor intensidad energética por unidad de producción, ayudó a compensar el incremento de sus emisiones totales.

Con un comportamiento distinto aparece la actividad (65) “Servicios administrativos del gobierno y para la comunidad en general”, en la cual todos los efectos tienen signo positivo, característica que también se observa en la actividad (69) “Servicios sociales y de salud no de mercado”. En otras palabras, en las actividades vinculadas al sector público, aparentemente las emisiones se incrementaron por varias razones: en primer lugar, y de manera más relevante, se el incremento se origina por un aumento de la demanda; además, también se producen incrementos en la intensidad de emisiones por unidad de producción; y, finalmente el incremento se genera por cambios conjuntos de intensidad de emisión y coeficientes técnicos de producción.

Por otro lado, en el caso de la actividad (60) “Servicios de telecomunicaciones, transmisión e información” destaca la reducción presentada por el efecto de intensidad de emisión, así como por el efecto tecnológico; sin embargo, el efecto demanda es más fuerte y por eso también su variación fue positiva.

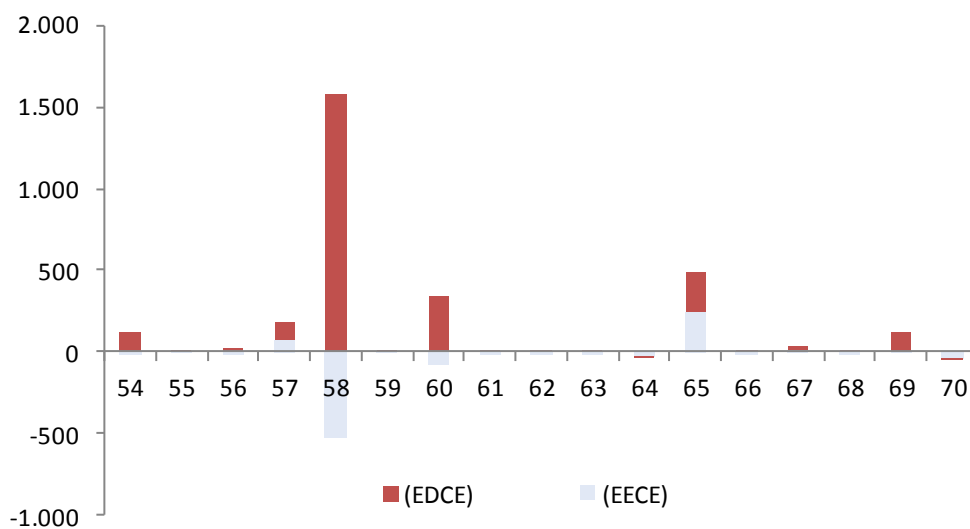
En resumen los resultados descritos sugieren que se produjo una mejora en términos de eficiencia y tecnología para varias actividades del sector servicios, pero dichas mejoras parecerían ser de baja magnitud si se lo compara con el incremento ocasionado por la expansión de la demanda.

Vale comentar que este resultado es similar al encontrado en otros estudios de descomposición estructural sobre un subsistema (Butnar y Llop, 2011; Zhang y Liu 2014; Yuan y Zhao, 2016); lo cual no deja de llamar la atención ya que, estaría reflejando que para economías más grandes y desarrolladas, como la española y la china, también el aumento de demanda es más rápido que las mejoras en términos de eficiencia y tecnología. De todas formas, es importante matizar lo encontrado ya que los resultados van a estar fuertemente influenciados no sólo por las estructuras productivas, sino también por factores adicionales como el período de análisis seleccionado (tanto por coyuntura como por extensión), la metodología para obtener los componentes de las emisiones totales del subsistema, o el tipo de descomposición estructural utilizada, entre otros elementos.

Los resultados presentados pueden desagregarse aún más, ya que es posible observar lo que sucede al interior de cada componente de las emisiones totales. Este análisis se realizará sólo para los componentes más relevantes dado su peso, es decir, el componente escala (CE), componente spillover externo (CSE) y componente spillover interno (CSI).

La Figura 4.1 muestra el cómputo de la expresión (4.10) y presenta la desagregación de los componentes del efecto escala para las actividades del sector servicios.

Figura 4.1. Descomposición del componente escala (CE) (en KtCO₂).

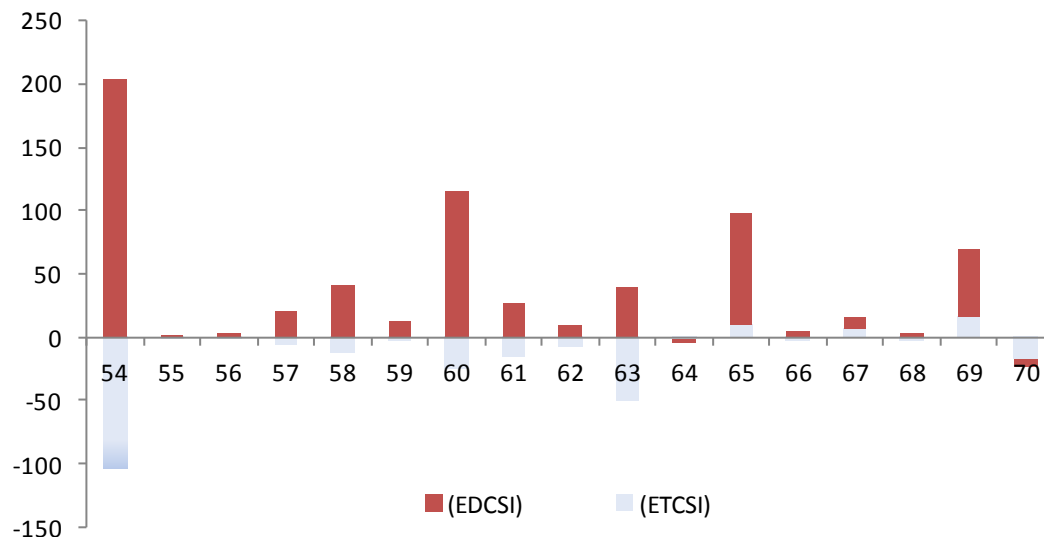


Fuente: Elaboración propia en base al Anexo 4A.3

Se observa una diferencia cuantitativa importante entre los componentes del efecto escala (efecto emisiones (EE_{CE}) y efecto demanda (ED_{CE})). El gráfico sugiere que, con excepción de la actividad (58) “Servicios de transporte y almacenamiento”, la mayoría de actividades del sector servicios no tuvieron una mejora en términos de intensidad de emisiones por unidad de producción; o, en el caso de la actividad (65) “Servicios administrativos del gobierno y para la comunidad en general” parecería haberse reducido su eficiencia. Por el contrario, casi todas las actividades presentaron un efecto demanda positivo, que no pudo ser compensado con las mejoras de eficiencia.

Por otro lado, la Figura 4.2 muestra la descomposición del componente spillover interno en sus efectos tecnológico (ET_{CSI}) y demanda (ED_{CSI}), los cálculos se realizaron mediante la expresión (4.9).

Figura 4.2. Descomposición del componente spillover interno (CSI) (en KtCO₂).



Fuente: Elaboración propia en base al Anexo 4A.3

El gráfico permite destacar el comportamiento de las actividades (54) “Servicios de comercio” y (63) “Servicios inmobiliarios”, ya que presentaron un efecto tecnológico que compensó, en buena medida, el incremento generado por la expansión de su demanda.

Por otro lado, en el caso de la actividad (60) “Servicios de telecomunicaciones, transmisión e información”, la compensación de su efecto tecnológico fue menor que en los otros casos y por ello se obtuvo como resultado una variación positiva del componente spillover interno.

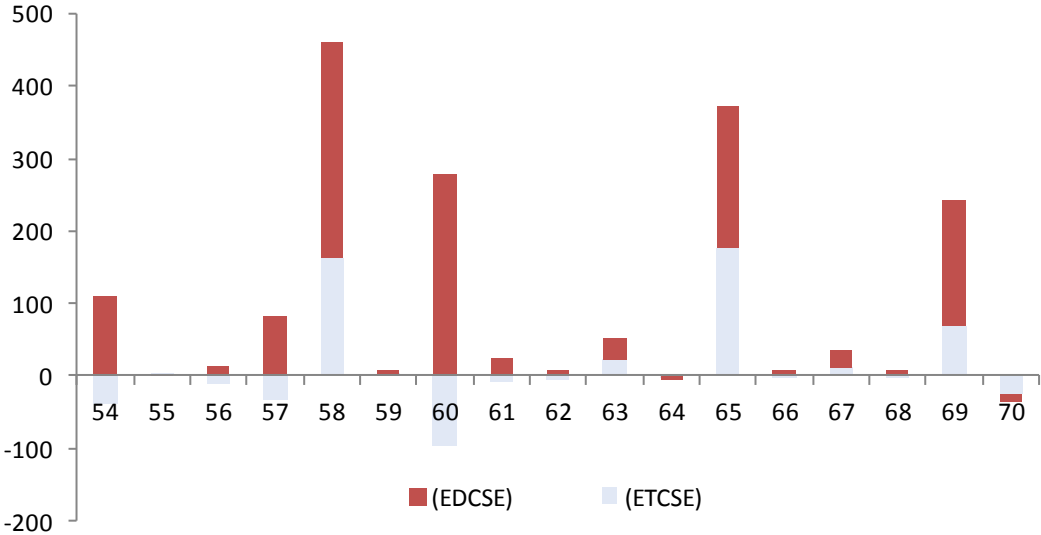
Con un comportamiento distinto se observa a las actividades relacionadas con los servicios públicos (65) y (69), las cuales aparentemente tuvieron un efecto tecnológico que generó mayores emisiones.

En resumen esto implicaría que, el efecto arrastre que el sector servicios ejerce sobre sus propias actividades tuvo cierta mejora, que está explicada por la influencia conjunta entre la intensidad de emisiones por unidad de producción y los coeficientes técnicos asociados a la producción de inputs que generan e insumen las actividades del propio sector; esta característica visible sobre todo en las actividades de comercio y de servicios inmobiliario,

para las cuales dicha mejora permitió compensar, en buena parte, el incremento en las emisiones ocasionadas por la expansión de sus demanda.

Finalmente, la figura 4.3 muestra el efecto tecnológico (ET_{CSE}) y el efecto demanda (ED_{CSE}), del componente spillover externo (CSE)..

Figura 4.3. Descomposición del componente spillover externo (CSE) (en KtCO2).



Fuente: Elaboración propia en base al Anexo 4A.3

A diferencia de lo sucedido en el efecto tecnológico spillover interno, en este caso, el efecto tecnológico spillover externo (ET_{CSE}), que se genera debido al arrastre que ejerce el sector servicios sobre el resto de sectores de la economía, no presentó una mejora de la relación conjunta entre la intensidad de emisiones por unidad de producción y los coeficientes técnicos asociados a la producción de inputs que genera el resto de la economía para satisfacer la demanda del sector servicios. Esta aparente desmejora tecnológica parece mayor en las actividades importantes como: (58) “Servicios de transporte y almacenamiento”, (65) “Servicios administrativos del gobierno y para la comunidad en general” y (69) “Servicios sociales y de salud no de mercado”. De todas formas, aunque en magnitudes pequeñas, se observa una mejora tecnológica en la actividad (60) “Servicios de

telecomunicaciones, transmisión e información” y en menor medida también lo registran las actividades (54) “Servicios de comercio” y (57) “Servicios de restaurante”. En cuanto al efecto demanda del componente spillover externo, 16 de las 18 actividades presentan un efecto positivo; es decir, que el impacto en las emisiones debido a la expansión de la demanda fue relevante.

4.5. Conclusiones

En el marco de los análisis input-output, el análisis de subsistemas permite descomponer los diferentes canales a través de los cuales se producen y transmiten las emisiones generadas por un determinado sector o grupo de actividades económicas. En combinación con el análisis de descomposición estructural, es posible identificar los factores que están detrás de la variación en las emisiones a lo largo de un período de tiempo. La combinación de ambas técnicas no es nueva, pero en este trabajo se realiza sobre una mayor desagregación de los componentes de la emisión total del subsistema servicios (6 componentes), los cuales además fueron obtenidos de una forma alternativa a trabajos previos (Navarro, 2010; Piaggio et al., 2013). Esto permite contar con resultados que posibilitan una mejor comprensión de las causas que están detrás de la variación de las emisiones de CO₂.

La importancia del sector servicios en temas de emisiones de CO₂ ha sido expuesta en por diversos autores (Suh, 2006; Nansai et al., 2009; Alcántara y Padilla, 2009; Gadrey, 2010; Piaggio et al., 2015). Si bien en Ecuador, el peso del sector servicios en la economía es menor en comparación al de economías más grandes y desarrolladas, su importancia es evidente. Además, varios objetivos de planificación del gobierno (SENPLADES, 2013) apuntan a cambios el modelo productivo para que la economía no gire entono a la agro-exportación. Por ello, se vuelve necesario comprender la influencia que los servicios ejercen en la generación de emisiones de CO₂ y las causas que están detrás de éstas emisiones.

El sector servicios es responsable de más de una tercera parte de las emisiones directas de CO₂, siendo el transporte la actividad que más peso tiene en las emisiones que genera el sector. Sin embargo, otras actividades pertenecientes a los servicios se caracterizan por influir de manera indirecta en las emisiones totales (directas e indirectas) de CO₂. Es así que las emisiones totales del sector servicios crecieron un 38% entre el 2007 y 2013. Este crecimiento resulta mayor en comparación con el resto de sectores los cuales incrementaron las emisiones en 29%.

De los 6 componentes en que puede dividirse las emisiones totales, el de mayor influencia fue el componente escala o demanda, el cual se incrementó en un 0,8%, el cual fue seguido del componente spillover externo. El efecto arrastre que generan los servicios frente a otras actividades creció en un 2,5%, lo que representa 3 veces el crecimiento del efecto demanda. Finalmente, se destaca la variación del efecto spillover interno, el cual decreció en 2,7%; lo que significa que el efecto de arrastre en la generación de emisiones al interior del sector disminuyó.

Las posibles causas para la variación de las emisiones pueden clasificarse en tres: efectos de intensidad de emisiones por unidad de producción, efecto tecnológico y efecto demanda, todas ellas pueden ser medidas mediante la metodología de descomposición estructural. En el componente demanda, se observó que existió una pequeña mejora en términos de intensidad de emisiones por unidad de producción, lo que equivaldría a una mejora de eficiencia. Sin embargo, el efecto generado por la expansión de la demanda fue mucho mayor, lo que lo convierte en el principal factor del incremento en las emisiones totales del sector.

La descomposición del efecto spillover interno permitió observar que existió una mejora en el efecto tecnológico, que compensó en buena medida, la expansión de la demanda, en particular para las actividades de comercio y servicios inmobiliarios. Esto implicaría que, el efecto arrastre que el sector servicios ejerce sobre sus propias actividades tuvo una mejora que está dada por la influencia conjunta entre la intensidad de emisiones por unidad de

producción y los coeficientes técnicos asociados a la producción de inputs que generan el resto de servicios para atender las necesidades de éstas actividades.

Por su parte, en el componente spillover externo se observó un crecimiento de las emisiones tanto por expansión de la demanda como por el efecto tecnológico; esto es que se incrementó el peso que ejercen en forma conjunta la intensidad de emisiones por unidad de producción y los coeficientes técnicos asociados a la producción de inputs que genera el resto de la economía para satisfacer la demanda del sector servicios. Este resultado se pudo observar de manera más clara para actividades como el transporte y los servicios relacionados al sector público. Sin embargo, la actividad de telecomunicaciones presentó un efecto tecnológico negativo interesante que compensó de alguna manera la expansión de su demanda, un resultado similar al encontrado por Butnar y Llop (2011), en el efecto spillover del subsistema servicios para la economía española.

Si relacionamos estos resultados en función de herramientas de diseño de política, se debe tener claro que la expansión de la demanda es la principal causa del incremento de las emisiones del sector servicios. En un contexto donde el sector público se ha convertido en protagonista de la evolución económica, mediante gasto público e inversión, parecía que no cabe el espacio para políticas de restricción de demanda con fines de preservación medio ambiental.

Por lo anterior, el diseño de políticas debería estar enfocado en todo aquello que permita mejorar las condiciones de producción de tal forma que se generen procesos productivos más amigables con el ambiente. Como lo demuestran los resultados, esto es posible ya que existen actividades que han alcanzado una mejora en términos de intensidad de emisión por unidad de producción; así como interrelaciones sectoriales que han mejorado sus coeficientes técnicos con respecto a la contaminación.

De la mano con lo mencionado se encuentran todas las industrias que proveen de energía al sector servicios y sobre las cuales es importante seguir trabajando para la generación de

energía limpia así como de mejora calidad, en particular para el caso de los combustibles provenientes de fuentes fósiles.

No obstante, también resulta relevante trabajar en políticas que promuevan la concientización de la población y de las empresas sobre la importancia del ahorro energético y de buenas prácticas de producción. Los resultados dan muestra de una aparente caída en términos de eficiencia y tecnología que han tenido ciertas actividades del sector servicios en materia de generación de emisiones de CO₂; entre éstas se encuentran actividades vinculadas con el propio sector público, en cuyas manos está no sólo el diseño de políticas sino también llevar a la práctica un adecuado uso de los recursos para disminuir la contaminación ambiental.

4.6. Bibliografía

- Alcántara, V. (1995), “Economía y contaminación atmosférica: hacia un nuevo enfoque desde el análisis input–output”, Tesis doctoral Universidad de Barcelona.
- Alcántara, V. y Padilla, E. (2009). “Input–output subsystems and pollution: An application to the service sector and CO2 emissions in Spain”. *Ecological Economics*. Vol. 68, pp. 905–914.
- Ang, B. y Zhang, F., (2000), “A survey of index decomposition analysis in energy and environmental studies” *Energy*, Vol.25, No. 12, pp. 1149-1176.
- Artola, V (2009) “Evolución del consumo de energía primaria en el Ecuador entre los años 2000 y 2006: un análisis de productos clave y descomposición estructural a través del modelo insumo – producto”. Trabajo de Investigación del Programa de Doctorado de Economía Aplicada, Departamento de Economía Aplicada, Universidad Autónoma de Barcelona
- Butnar, I. y Llop, M. (2011). “Structural decomposition analysis and input-output subsystems: Changes in CO2 emissions of Spanish service sectors (2000-2005)”. *Ecological Economics*, Vol. 70, pp. 2012–2019.
- Chang, Y. y Lin, S. (1998), “Structural decomposition of industrial CO₂ emission in Taiwan: an input-output approach”, *Energy Policy*, Vol. 26, No. 1, pp. 5 - 12.
- CONELEC (2013) “Plan Maestro de Electrificación 2013 – 2022”, CONELEC, Quito – Ecuador.
- Deprez, J., (1990), “Vertical integration and the problem of fixed capital”, *Journal of PostKeynesian Economics* Vol. 13, pp. 47–64.

- Dietzenbacher, E. y Los, B. (1998). "Structural decomposition techniques: sense and Sensitivity", *Economic Systems Research* Vol.10, pp. 307–323.
- Dietzenbacher, E. y Hoen R., (1998). "Deflation of input-output tables from the user's point of view: a heuristic approach", *Review of Income and Wealth Series* Vol. 44, No. 1.
- Eurostat. (2008). "Eurostat Manual of supply, use and input-output tables", Comisión Europea.
- Fernández, P. (2012), "Técnicas de descomposición de variaciones basadas en índices de divisia algunas aplicaciones medioambientales" Tesis doctoral Universidad de Oviedo.
- Gadrey, J., (2010), "The environmental crisis and the economics of services: the need for Revolution", *The Handbook of Innovation and Services*, Edward Elgar, Cheltenham.
- Huntington, H., y Myers, J. (1987), "Sectoral Shift and Industrial Energy Demand: What Have We Learned.?" In A. Farunqui, J. J. Broehl & G. C.W. (Eds.), *The Changing Structure of American Industry and Energy Use Patterns*. Columbus, Ohio: Battelle Press.
- Liu, N. y Ang, B., (2007), "Factors shaping aggregate energy intensity trend for industry: Energy intensity versus product mix", *Energy Economics*, Vol. 29, No. 4, pp. 609-635.
- Miller, R. y Blair, P. (2009) *Input-Output Analysis: foundations and extensions*, Cambridge University Press, 2nd edition.

- Nansai, K., Kagawa, S., Suh, S., Fujii, M., Inaba, R., Hashimoto, S., (2009), “Material and energy dependence of services and its implications for climate change”. *Environ. Sci. Technol*, Vol. 43, pp. 4241–4246.
- Navarro, F. y Alcántara, V. (2010) “Las emisiones de metano (CH₄) en el subsistema agroalimentario catalán: un análisis input-output alternative”, *Economía Agraria y Recursos Naturales*, Vol. 10, No. 2, pp. 25–39.
- Navarro, F (2012), “Modelos multisectoriales input-output en el estudio de los impactos ambientales: Una aplicación a la economía de Cataluña”, , Tesis para obtener el título de doctor en economía aplicada, UAB, España.
- Parra, J. y Arriagada, O., (2012), “Aplicación de método ras y entropía cruzada para actualización de matrices insumo-producto”, *European Scientific Journal*, edition Vol. 8, No. 20.
- Pasinetti, L., (1973), “The notion of vertical integration in economic analysis”, *Metroeconomica* Vol. 25, pp 1–29.
- Pasinetti, L., (1988), “Growing subsystems, vertically hyper-integrated sectors and the labour theory of value”, *Cambridge Journal of Economics* Vol. 12, pp. 125–134.
- Piaggio M., Alcántara V. y Padilla E. (2015) “The materiality of the immaterial: Service sectors and CO₂ emissions in Uruguay”, Vol. 110, pp. 1–10.
- Pino, O. y Arriagada, J (2006), “Aplicación del método indirecto para la obtención de una matriz insumo-producto año 2002 para viii región del Bío-Bío”, *Horizontes Empresariales*, Vol. 5, No.1

- Pulido, A y Fontanela, E (1993), “Análisis input output: Modelos, Datos y Aplicaciones”, Ediciones Pirámide, S.A. Madrid.
- Sánchez- Chóliz, J. y Duarte, R. (2003). “Analysing pollution by way of vertically integrated coefficients, with an application to the water sector in Aragon”, Cambridge Journal of Economics Vol. 27, No. 3, pp. 433-448.
- Scazzieri, R., (1990), “Vertical integration in economic theory”, Journal of Post Keynesian Economics Vol. 13, pp. 20–46.
- SENPLADES (2013). “Plan Nacional de Desarrollo / Plan Nacional para el Buen Vivir 2013-2017”. Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo.
- Skolka, J., (1989), “Input-Output Structural Decomposition analysis for Austria”, Journal of Policy Modeling, Vol. 11, pp. 45-66.
- Sraffa, P. (1960). Production of commodities by means of commodities: prelude to a critique of economic theory. Cambridge University Press, CUP Archive.
- Su, B. y Ang, B., (2012), “Structural decomposition analysis applied to energy and emissions: Some methodological developments”, Energy Economics Vol. 34, pp. 177–188.
- Suh, S., (2006), “Are services better for climate change?”, Environ. Sci. Technol. Vol. 40, pp. 6555–6560.
- Wier, M., (1998). “Sources of changes in emissions from energy: a structural decomposition analysis”, Economic Systems Research Vol. 10, pp. 99–112.

- Yuan, P. y Cheng, S., (2011), “Determinants of Carbon Emissions Growth in China: A structural decomposition analysis”, *Energy Procedia*, vol. 5, pp. 169–175.
- Yuan, R. y Zhao, T., (2016), “Changes in CO₂ emissions from China's energy-intensive industries: a subsystem input-output decomposition analysis”, *Journal of Cleaner Production* Vol. 117, No. 20, pp. 98-109.
- Zhang, G. y Liu, M. (2014), “The Changes of Carbon Emission in China’s Industrial Sectors from 2002 to 2010: A Structural Decomposition Analysis and Input-Output Subsystem”, *Hindawi Publishing Corporation*, Article ID 798576.
- Zhao, X., Lia, N. Mac, C., (2012), “Residential energy consumption in urban China: a decomposition analysis”, *Energy Policy*, Vol. 41, pp. 644–653.
- Zhu, Q., Peng, X., Wu, K., (2012), “Calculation and decomposition of indirect carbon emissions from residential consumption in China based on the input–output model”, *Energy Policy*, Vol.48, pp. 618–626.

Anexos

Anexo 4A.1. Explicación del método RAS utilizado para transformar una matriz IO de dólares corrientes a dólares constantes.

La construcción de una matriz IO demanda una gran cantidad de información, la misma que está sujeta a restricciones de tiempo y costo. Por este motivo se han establecido diversos métodos para estimar una matriz IO cuando se posee información limitada, por ejemplo cuando se dispone únicamente de la información conocida como “bordes” de la matriz; es decir, los totales y subtotales sectoriales de demandas y consumos intermedios.

El método RAS forma parte de las metodologías indirectas de estimación de una matriz IO. Se trata de una técnica de ajuste biproporcional propuesta por Stone en 1961. El método RAS consiste en que la matriz inicial va a ser transformada por dos tipos de efectos, uno que afecta proporcionalmente y simultáneamente las transacciones por filas y otro que afecta de igual forma a las transacciones por columnas. Se trata por tanto de ajustar de forma iterativa los coeficientes técnicos de una matriz IO original, mediante un conjunto de multiplicadores adecuados de filas y columnas, hasta obtener los bordes de la nueva matriz.

Una de las aplicaciones de los métodos indirectos, en particular del método RAS, surge para solucionar los problemas que se presentan al efectuar análisis de los coeficientes técnicos de las matrices IO a lo largo del tiempo, ya que si bien estos coeficientes suelen ser interpretados en términos físicos su construcción se efectúa en términos monetarios; por lo tanto, los cambios generados en los coeficientes técnicos, en un período de tiempo, están influenciados por el nivel de precios (Dietzenbacher y Hoen, 1998).

Para ello, se utiliza la información de una matriz IO, que se encuentra en dólares corrientes, de sus transacciones interindustriales $Z(\mathbf{0})$ y de su vector de producción efectiva $x(\mathbf{0})$, los cuales en conjunto permiten definir una matriz $A(\mathbf{0})$ de coeficientes técnicos. El proceso de ajuste a dólares constantes, consiste en calcular una nueva matriz $A(\mathbf{0})^*$ que, siendo la más parecida posible a la $A(\mathbf{0})$ cumpla con la información de los bordes de la nueva matriz IO. Ese ajuste, requiere de tres vectores de información que deben encontrarse en dólares

corrientes: $\mathbf{x}(\mathbf{1})_j$, que representa la producción; $\mathbf{u}(\mathbf{1})_i$, que representa el vector de ventas intermedias; y, $\mathbf{v}(\mathbf{1})_j$, que representan el total de compras intermedias (Pino y Arriagada, 2006), para cada actividad²¹.

De acuerdo a Pulido y Fontela (1993), el proceso iterativo del modelo RAS tiene las siguientes etapas:

En primer lugar se realiza un ajuste por filas, que implica la estimación del total de insumos intermedios (\mathbf{u}^1), con la matriz original de coeficientes $\mathbf{A}(\mathbf{0})$ y la nueva producción $\mathbf{x}(\mathbf{1})$, de la siguiente forma:

$$(1) \mathbf{u}^1 = \mathbf{A}(\mathbf{0})\mathbf{x}(\mathbf{1})$$

De esta forma se establece una matriz $\hat{\mathbf{r}}^1$ que diagonaliza los coeficientes correctores por fila, que surgen como cociente entre el vector $\mathbf{u}(\mathbf{1})$ y el estimado \mathbf{u}^1 , es decir:

$$(2) \hat{\mathbf{r}}^1 = \mathbf{u}(\mathbf{1})/\mathbf{u}^1$$

Por lo tanto, la nueva matriz de coeficientes técnicos será igual a

$$(3) \mathbf{A}^1 = \hat{\mathbf{r}}^1\mathbf{A}(\mathbf{0})$$

La segunda etapa se estima el total de consumos intermedios por columnas (\mathbf{v}^1), en base a la matriz \mathbf{A}^1 obtenida en la primera etapa, de tal forma que:

$$(4) \mathbf{v}^1 = \mathbf{A}^1\mathbf{x}(\mathbf{1})$$

De esta forma se establece una matriz $\hat{\mathbf{s}}^1$ que diagonaliza los coeficientes correctores por columna, que surgen como cociente entre el vector $\mathbf{v}(\mathbf{1})$ y el estimado \mathbf{v}^1 , es decir:

²¹ En el caso del presente trabajo, se construyeron los bordes de la matriz IO 2013 en dólares constantes mediante las tablas oferta utilización del año 2013 con año base 2007, publicadas por el Banco Central del Ecuador.

$$(5) \hat{\mathbf{s}}^1 = \mathbf{v}(\mathbf{1})/\mathbf{v}^1$$

La nueva matriz de coeficientes será:

$$(6) \mathbf{A}^2 = \mathbf{A}^1 \hat{\mathbf{s}}^1 = \hat{\mathbf{r}}^1 \mathbf{A}(\mathbf{0}) \hat{\mathbf{s}}^1$$

El proceso continúa de forma sucesiva hasta que la matriz queda ajustada a los bordes que se encuentran en dólares constantes.

Anexo 4A.2. Emisiones directas y total de CO2 por actividad económica para 2007 y 2013.

Código	Actividad	2007		2013	
		Emisión Directa	Emisión Total	Emisión Directa	Emisión Total
1	Banano, café y cacao	168	490	175	499
2	Cereales	70	21	60	16
3	Flores y capullos	63	233	76	297
4	Tubérculos, Vegetales, melones y frutas	103	186	118	210
5	Oleaginosas e industrializables	361	77	395	65
6	Servicios relacionados con la agricultura	119	0	142	0
7	Animales vivos y productos animales	435	478	504	514
8	Productos de la silvicultura	32	43	46	48
9	Camarón vivo o fresco y larvas de camarón	322	25	563	41
10	Pescado y otros productos acuáticos (excepto camarón)	494	201	610	227
11	Productos de la acuicultura (excepto camarón)	44	66	39	45
12	Petróleo crudo y gas natural	1972	3874	2200	3934
13	Servicios relacionados con el petróleo y gas natural	118	0	136	0
14	Minerales metálicos	62	2	106	22
15	Minerales no metálicos	68	3	117	2
16	Carne, productos de la carne y subproductos	225	854	242	924
17	Camarón elaborado	117	637	187	1077
18	Pescado y otros productos acuáticos elaborados	60	188	87	262
19	Preparados y conservas de pescado y de otras especies acuáticas	110	483	142	578
20	Aceites crudos y refinados	44	187	55	217
21	Productos lácteos elaborados	50	321	67	424
22	Productos de molinería	32	244	29	179
23	Productos de la panadería	36	150	50	179
24	Fideos, macarrones y otros productos farináceos similares	28	40	39	54
25	Azúcar, panela y melaza	149	239	129	171
26	Cacao elaborado, chocolate y productos de confitería	25	74	31	100
27	Alimento para animales	9	26	12	37
28	Productos de café elaborado	36	66	42	68
29	Productos alimenticios diversos	75	264	107	376
30	Bebidas alcohólicas	73	212	81	207
31	Bebidas no alcohólicas	38	174	45	191
32	Tabaco elaborado	1	15	0	14
33	Hilos, hilados; tejidos y confecciones	122	129	129	143
34	Prendas de vestir	38	182	35	139
35	Cuero, productos de cuero y calzado	19	70	25	90
36	Productos de madera tratada, corcho y otros materiales	329	101	443	2
37	Pasta de papel, papel y cartón, productos editoriales y otros	143	132	158	147
38	Aceites refinados de petróleo y de otros productos	4709	2881	7399	3170
39	Productos químicos básicos, abonos y plásticos primarios	26	6	30	3
40	Otros productos químicos	460	353	691	455
41	Productos de caucho	15	30	14	24
42	Productos de plástico	135	50	164	45
43	Vidrio, cerámica y refractarios	305	129	397	78
44	Cemento, artículos de hormigón y piedra	1089	19	1870	-89
45	Metales comunes	83	120	117	148
46	Productos metálicos elaborados	143	197	190	260
47	Maquinaria, equipo y aparatos eléctricos	138	219	193	293
48	Equipo de transporte	87	191	77	149
49	Muebles	35	273	49	377
50	Otros productos manufacturados	124	64	130	66

cont...

Código	Actividad	2007		2013	
		Emisión	Emisión	Emisión	Emisión
		Directa	Total	Directa	Total
51	Electricidad	5280	2273	6773	4228
52	Agua, servicios de saneamiento y gas (exc de petróleo)	56	51	56	40
53	Trabajos de construcción y construcción	694	3282	1231	5945
54	Servicios de comercio	1019	2074	1261	2351
55	Servicios de reparación y mantenimiento de vehículos de motor	14	11	19	19
56	Servicios de alojamiento	135	130	188	156
57	Servicios de restaurante	302	639	517	885
58	Servicios de transporte y almacenamiento	7681	3858	9189	5475
59	Servicios postales y de mensajería	21	27	39	61
60	Servicios de telecomunicaciones, transmisión e información	456	775	762	1331
61	Servicios de intermediación financiera	105	162	127	204
62	Servicios de seguros y fondos de pensiones	8	36	11	41
63	Servicios inmobiliarios	204	933	232	993
64	Servicios prestados a las empresas y de producción	1209	185	1275	139
65	Servicios administrativos del gobierno y para la comunidad en g	362	831	856	1814
66	Servicios de enseñanza privado	20	120	20	128
67	Servicios de enseñanza público (no de mercado)	62	160	101	254
68	Servicios sociales y de salud de mercado	21	117	22	123
69	Servicios sociales y de salud no de mercado	67	190	183	642
70	Servicios de asociaciones; esparcimiento; culturales y deportiv	453	832	416	709
71	Servicio doméstico	0	0	0	0
Total		31.707	31.707	42.019	42.019

Fuente: Cálculos propios a partir de estimación de emisiones de CO₂ y matrices IO (BCE, 2007 y 2013).

Anexo 4A.3. Emisiones por componentes de las emisiones totales del subsistema, desgregado por actividad económica para 2007 y 2013.

Actividad económica	2007						
	Total	Propio Neto	Spillover interno	Feedback interno	Escala	Feedback externo	Spillover externo
Servicios de comercio	2.074,0	7,4	978,1	3,4	539,2	29,7	516,2
Servicios de reparación y mantenimiento de vehículos de motor y motocicletas	11,3	-	2,9	0,0	3,9	0,5	4,0
Servicios de alojamiento	130,0	-	10,1	0,0	72,5	3,4	44,0
Servicios de restaurante	638,7	-	62,1	0,1	269,8	49,0	257,7
Servicios de transporte y almacenamiento	3.858,1	237,6	78,9	26,2	3.017,5	29,9	468,1
Servicios postales y de mensajería	26,9	-	9,8	0,0	10,4	0,4	6,3
Servicios de telecomunicaciones, transmisión e información	774,7	18,3	115,6	0,8	337,1	12,7	290,2
Servicios de intermediación financiera	162,0	2,3	62,8	0,2	33,7	4,8	58,1
Servicios de seguros y fondos de pensiones	35,9	0,2	16,6	0,0	4,5	1,2	13,3
Servicios inmobiliarios	932,8	6,6	398,8	0,3	171,2	53,0	302,9
Servicios prestados a las empresas y de producción	185,4	10,3	25,7	1,0	109,5	2,6	36,5
Servicios administrativos del gobierno y para la comunidad en general	830,5	-	156,6	-	362,5	30,5	281,0
Servicios de enseñanza privado	119,8	-	40,6	0,0	19,7	7,9	51,6
Servicios de enseñanza público (no de mercado)	159,5	-	27,3	-	62,1	4,6	65,6
Servicios sociales y de salud de mercado	117,1	-	28,9	-	21,3	7,8	59,0
Servicios sociales y de salud no de mercado	190,4	-	28,0	-	67,1	7,6	87,7
Servicios de asociaciones; esparcimiento; culturales y deportivos	832,2	14,8	114,6	0,2	387,3	33,2	282,1
Servicio doméstico	-	-	-	-	-	-	-
Total	11.079,4	297,5	2.157,3	32,3	5.489,3	278,7	2.824,3
%	100,0%	2,7%	19,5%	0,3%	49,5%	2,5%	25,5%

Actividad económica	2013						
	Total	Propio Neto	Spillover interno	Feedback interno	Escala	Feedback externo	Spillover externo
Servicios de comercio	2.351,4	8,6	1.079,2	4,0	652,1	21,2	586,2
Servicios de reparación y mantenimiento de vehículos de motor y motocicletas	19,0	-	4,6	0,0	6,8	0,7	6,9
Servicios de alojamiento	156,0	-	12,6	0,0	92,7	3,7	46,9
Servicios de restaurante	885,2	-	76,3	0,1	448,4	54,3	306,2
Servicios de transporte y almacenamiento	5.475,1	319,1	107,2	36,6	4.060,4	22,7	929,2
Servicios postales y de mensajería	60,6	-	19,4	0,0	25,3	0,6	15,2
Servicios de telecomunicaciones, transmisión e información	1.331,1	34,4	206,4	1,7	598,6	18,7	471,2
Servicios de intermediación financiera	204,1	3,2	74,7	0,3	43,3	5,9	76,7
Servicios de seguros y fondos de pensiones	41,3	1,2	18,5	0,0	4,5	1,3	15,8
Servicios inmobiliarios	993,4	7,5	388,7	0,4	189,0	51,4	356,4
Servicios prestados a las empresas y de producción	139,0	8,0	21,1	0,7	75,9	1,4	31,9
Servicios administrativos del gobierno y para la comunidad en general	1.813,6	-	254,8	-	856,0	50,9	651,9
Servicios de enseñanza privado	128,3	-	43,0	0,0	19,4	8,2	57,6
Servicios de enseñanza público (no de mercado)	253,7	-	44,1	-	100,9	7,7	101,0
Servicios sociales y de salud de mercado	123,4	-	30,3	-	22,4	7,8	62,9
Servicios sociales y de salud no de mercado	642,1	-	98,3	-	182,8	30,3	330,6
Servicios de asociaciones; esparcimiento; culturales y deportivos	708,9	11,2	91,7	0,2	336,6	24,4	244,7
Servicio doméstico	-	-	-	-	-	-	-
Total	15.326,2	393,2	2.571,0	44,1	7.715,1	311,5	4.291,2
%	100,0%	2,6%	16,8%	0,3%	50,3%	2,0%	28,0%

Fuente: Cálculos propios a partir a partir del Anexo 4A.2 y matrices IO (BCE, 2007 y 2013)

Anexo 4A.4. Descomposición de los efectos escala, tecnológico y demanda para componente de las emisiones totales del subsistema, desagregado por actividad económica para 2007 y 2013.

Cod	escala (CE)		propio neto (CPN)		spillover interno (CSI)		feedback interno (CFI)		feedback externo (CFE)		spillover externo (CSE)	
	(EE _{CE})	(ED _{CE})	(ET _{CPN})	(ED _{CPN})	(ET _{CSI})	(ED _{CSI})	(ET _{CFI})	(ED _{CFI})	(ET _{CFE})	(ED _{CFE})	(ET _{CSE})	(ED _{CSE})
54	(4,95)	117,78	(0,42)	1,59	(103,22)	204,32	(0,06)	0,73	(13,59)	5,16	(39,28)	109,32
55	0,17	2,70	-	-	(0,22)	1,92	0,00	0,00	(0,09)	0,30	0,14	2,74
56	(3,80)	24,05	-	-	(0,72)	3,31	(0,01)	0,01	(0,75)	1,05	(10,51)	13,40
57	76,33	102,23	-	-	(5,92)	20,13	0,03	0,03	(9,88)	15,14	(33,78)	82,24
58	(528,16)	1.571,05	(42,09)	123,59	(12,92)	41,26	(3,54)	13,89	(19,56)	12,42	163,76	297,36
59	0,34	14,59	-	-	(2,89)	12,49	(0,00)	0,01	(0,29)	0,49	0,17	8,78
60	(75,97)	337,49	(2,68)	18,81	(25,17)	115,99	(0,00)	0,90	(5,71)	11,73	(98,10)	279,05
61	(5,23)	14,84	(0,19)	1,06	(14,80)	26,67	(0,02)	0,09	(0,94)	2,06	(7,34)	25,88
62	(2,53)	2,51	0,66	0,34	(7,84)	9,72	(0,00)	0,00	(0,53)	0,70	(5,57)	8,00
63	(0,06)	17,93	0,20	0,70	(49,33)	39,31	0,02	0,03	(6,79)	5,21	20,67	32,76
64	(21,71)	(11,95)	(1,12)	(1,18)	(1,55)	(3,03)	(0,12)	(0,11)	(0,87)	(0,25)	(0,15)	(4,44)
65	240,51	252,98	-	-	9,48	88,78	-	-	2,83	17,53	176,93	194,02
66	(2,84)	2,60	-	-	(3,13)	5,55	(0,00)	0,00	(0,78)	1,07	(1,24)	7,23
67	14,53	24,28	-	-	6,14	10,64	-	-	1,35	1,83	10,45	24,93
68	(1,37)	2,45	-	-	(2,00)	3,32	-	-	(0,87)	0,88	(2,95)	6,83
69	3,79	111,95	-	-	16,78	53,55	-	-	7,06	15,68	68,15	174,81
70	(32,18)	(18,50)	(2,93)	(0,66)	(17,68)	(5,27)	(0,03)	(0,01)	(7,27)	(1,47)	(23,87)	(13,46)
71	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	(343,14)	2.568,96	(48,57)	144,23	(215,00)	628,66	(3,74)	15,57	(56,68)	89,52	217,48	1.249,45

Fuente: Cálculos propios a partir a partir del Anexo 4A.3 y matrices IO (BCE, 2007 y 2013)

5. Conclusiones generales

Aunque en los últimos años ha crecido la concientización de la crisis global que afecta al planeta y de la necesidad de replantear preceptos que han marcado el crecimiento económico durante las últimas décadas, la preocupación de la economía por la naturaleza y el entorno en que el hombre desarrolla sus actividades no es una cuestión reciente, se remonta a las primeras escuelas de pensamiento económico. Los análisis aquí planteados buscan aportar a la discusión de las interrelaciones existentes entre el aparato productivo y el medioambiente, mediante el uso de modelos input output y sus extensiones desarrolladas para el estudio ambiental.

El Ecuador es una economía pequeña, en desarrollo y con muchas necesidades por cubrir en el ámbito económico, pero también es uno de los países más megadiversos del mundo, lo que le brinda la posibilidad de buscar caminos alternativos de desarrollo. En su última constitución, redactada en el año 2008, se establecieron una serie de garantías y derechos sobre la naturaleza y su sostenibilidad. La hoja de ruta de la planificación nacional plantea la transformación de sus matrices productiva y energética, para enmarcarlas en un contexto de respeto a los derechos de la naturaleza y de justicia intergeneracional (SENPLADES, 2013). Plasmar estos objetivos en la práctica no es una tarea fácil. Por eso, esta investigación pretende contribuir con la generación de información útil para la toma de decisiones.

Para ello se desarrollaron tres capítulos que contienen aplicaciones empíricas sobre el aparato productivo y las emisiones de CO₂. Como un primer aporte del trabajo, destaca la construcción de un vector de emisiones de CO₂, ya que no existen fuentes oficiales que provean de este tipo de información para análisis en temas ambientales.

En el primer capítulo se determinó un conjunto de actividades relevantes en la generación de emisiones de CO₂ mediante la metodología de sectores clave. Los resultados mostraron que de las 71 actividades económicas 19 son relevantes, las cuales son responsables del

85,1% de las emisiones directas y del 79,8% de las emisiones totales. De éstas 19 actividades 8 se clasifican como sectores clave, 5 son relevantes desde la demanda y 6 desde la oferta.

Las actividades clasificadas como sectores clave son: (58) “Servicios de transporte y almacenamiento”, (38) “Aceites refinados de petróleo y de otros productos”, (51) “Electricidad”, (12) “Petróleo crudo y gas natural”, (54) “Servicios de comercio”, (53) “Trabajos de construcción y construcción”, (65) “Servicios administrativos del gobierno y para la comunidad en general” y (60) “Servicios de telecomunicaciones, transmisión e información”. Se caracterizan porque sus interrelaciones con el resto del aparato productivo son muy altas en cuanto a generación de emisiones de CO₂. Por lo tanto, una intervención en estos sectores generaría altos impactos en el problema analizado.

Otro grupo de actividades relevantes se distingue por sus fuertes encadenamientos, sólo hacia atrás o sólo hacia adelante. Los hallazgos encontrados dan muestra de que en las primeras sería efectivo enfocar las políticas en las actividades que proveen de insumos a éstas o directamente en políticas relacionadas a la demanda. Para las segundas, se debe implementar una combinación de políticas, dirigidas a las actividades que tienen una alta contaminación directa, pero también hacia las actividades que demandan productos de éstas.

Por otro lado, en ocasiones el interés del análisis puede recaer en el estudio específico de un sector o conjunto de sectores, de tal forma que se pueda analizar la importancia que éstos tienen dimensionadas en toda la complejidad bajo las que desarrollan su actividad. Es decir, profundizar en su análisis sin desvincularlo de todo el conjunto de relaciones que poseen (Alcántara, 1995). Por ello, la segunda aplicación empírica corresponde al análisis específico del sector servicios, ya que existe evidencia que ha demostrado la influencia que dicho sector tiene sobre las emisiones de CO₂ (Suh, 2006; Nansai et al., 2009; Alcántara y Padilla, 2009; Gadrey, 2010; Piaggio et al., 2015).

Lo anterior es posible mediante el análisis de subsistemas input-output, el cual permite descomponer los diferentes canales a través de los que se producen las emisiones totales generadas por un determinado sector o grupo de actividades económicas. La metodología utilizada sigue la línea de autores como Alcántara y Padilla (2009), Navarro y Alcántara (2010), Navarro (2012) y Piaggio et al. (2015), los cuales incorporan elementos de descomposición aditiva para dar mayor poder explicativo al modelo. Aunque este trabajo sigue la línea de los autores mencionados, a diferencia de ellos en este estudio se emplea una forma alternativa para obtener, de manera más directa, el mismo número de componentes del subsistema servicios.

Los resultados muestran que tres de los seis componentes encontrados son significativos para explicar las emisiones totales del sector servicios. Estos son: el componente de demanda, el componente spillover externo (arrastre fuera del subsistema) y, finalmente, el componente spillover interno (arrastre dentro del subsistema). El componente spillover externo es uno de los más interesantes ya que captura las emisiones de las cuales sería responsable el sector servicios de forma indirecta, provocado por sus efectos de arrastre sobre el resto de actividades productivas. En el caso de Ecuador este efecto explicaría alrededor de una cuarta parte de las emisiones totales de CO₂ del sector servicios.

La metodología permite observar actividades del sector servicios que se caracterizan porque la principal razón de sus emisiones se debe a un componente de demanda, como en el caso del transporte, los servicios profesionales o la administración pública. Sin embargo, existen otras actividades pertenecientes al sector que poseen un significativo componente spillover interno como el comercio o los servicios inmobiliarios; y, el componente spillover externo, resulta ser significativo para casi todas las actividades del sector.

Varias políticas ya implementadas en el país parecen ir por el camino adecuado, en temas de reducción de emisiones de CO₂. Destacan aquellas dirigidas de forma directa a las fuentes de contaminación provocadas por el consumo de residuos fósiles, como es el caso del cambio de la matriz energética. Sin embargo, esta política combinada con otras acciones sobre determinadas actividades, que resultan relevantes en temas de

contaminación, potencializarían la eficacia de los resultados que se esperan lograr, esto sería posible gracias a la información que se genera al utilizar las técnicas empleadas en esta investigación.

Por otro lado, con el fin de observar la evolución de las emisiones generadas por el sector servicios, entre 2007 y 2013, se hace uso de la combinación del análisis de subsistemas input output junto con el análisis de descomposición estructural, para lo cual se sigue la línea de trabajos como los de Butnar y Llop (2011); Zhang y Liu (2014); y Yuan y Zhao (2016). Sin embargo, a diferencia de estos autores, la descomposición estructural se realiza sobre un número mayor de componentes en que se desagregan las emisiones totales del sector servicios.

Los resultados muestran que, en términos de estática comparativa, las emisiones totales (directas e indirectas) del sector servicios crecieron un 38%. Este crecimiento resulta mayor en comparación con el resto de sectores los cuales incrementaron las emisiones un 29%.

La principal causa de este incremento se originó por una expansión de la demanda. Mientras que factores que ayudarían a disminuir la contaminación ambiental, como mejoras tecnológicas o eficiencia, se presentaron sólo en ciertas actividades del sector servicios. En términos generales el impacto positivo de estas mejoras fue mucho menor en comparación con el impacto negativo generado por la expansión de la demanda.

La metodología empleada permite observar un resultado interesante en la descomposición del efecto spillover interno, que presenta una mejora en el efecto tecnológico que compensó, en buena medida, la expansión de la demanda. Aparentemente se produjo una mejora en términos de coeficientes técnicos entre el transporte y los servicios de comercio e inmobiliarios que compensaron, en buena medida, el efecto ocasionado por la expansión de la demanda.

Por otro lado, el componente spillover externo se observó un incremento de las emisiones tanto por expansión de la demanda como por el efecto tecnológico. Esto fue más relevante

para actividades como el transporte y los servicios relacionados con el sector público. Sin embargo, la actividad de telecomunicaciones presentó un efecto tecnológico negativo interesante que compensó de alguna manera la expansión de su demanda, un resultado similar al encontrado por Butnar y Llop (2011), en el efecto spillover del subsistema servicios para la economía española.

En resumen, se observa que la expansión de la demanda generada por las políticas de gasto público e inversión del gobierno incrementaron las emisiones de CO₂ del sector servicios. Resulta difícil pensar que el gobierno piense en políticas de contracción de la demanda para paliar lo acontecido. Por lo tanto, el diseño de políticas debería enfocarse sobre todo en áreas permitan lograr mejoras en términos de eficiencia y tecnología.

5.1. Bibliografía

- Alcántara, V. (1995). “Economía y contaminación atmosférica: hacia un nuevo enfoque desde el análisis input–output”, Tesis doctoral Universidad de Barcelona.
- Alcántara, V. y Padilla, E. (2009). “Input–output subsystems and pollution: An application to the service sector and CO2 emissions in Spain”. *Ecological Economics*. Vol. 68, pp. 905–914.
- Alcántara, V. y Roca, J (1995), “Energy and CO2 emissions in Spain. Methodology of analysis and some results for 1980-90”. *Energy Economics*, Vol. 17, No. 3, pp. 221–230.
- Alcántara, V. Padilla, E. y Roca, J (2008) “De los consumos finales de energía a los requerimientos de energía primaria y las emisiones de CO2. Aproximación a partir de los balances de energía. Aplicación a Cataluña, 1990-2005”, XI Jornadas de Economía Crítica, Bilbao.
- Butnar, I. y Llop, M. (2011). “Structural decomposition analysis and input-output subsystems: Changes in CO2 emissions of Spanish service sectors (2000-2005)”. *Ecological Economics*, Vol. 70, pp. 2012–2019.
- Chang, Y. y Lin, S. (1998). “Structural decomposition of industrial CO₂ emission in Taiwan: an input-output approach”, *Energy Policy*, Vol. 26, No. 1, pp. 5-12.
- CONELC (2013) “Plan Maestro de Electrificación 2013 – 2022”, CONELC, Quito – Ecuador
- MICSE (Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos), (2014), “Balance energético 2014”, Quito: MICSE.

- Navarro, F. y Alcántara, V. (2010) “Las emisiones de metano (CH₄) en el subsistema agroalimentario catalán: un análisis input-output alternative”, *Economía Agraria y Recursos Naturales*, Vol. 10, No. 2, pp. 25–39.
- Navarro, F (2012), “Modelos multisectoriales input-output en el estudio de los impactos ambientales: Una aplicación a la economía de Cataluña”, , Tesis para obtener el título de doctor en economía aplicada, UAB, España.
- SENPLADES (2013). “Plan Nacional de Desarrollo / Plan Nacional para el Buen Vivir 2013-2017”. Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo.
- Yuan, R. y Zhao, T., (2016), “Changes in CO₂ emissions from China's energy-intensive industries: a subsystem input-output decomposition analysis”, *Journal of Cleaner Production* Vol. 117, No. 20, pp. 98-109.
- Zhang, G. y Liu, M. (2014), “The Changes of Carbon Emission in China’s Industrial Sectors from 2002 to 2010: A Structural Decomposition Analysis and Input-Output Subsystem”, Hindawi Publishing Corporation, Article ID 798576.