



Universitat Autònoma de Barcelona

**Modelos multisectoriales input-output en el estudio de
los impactos ambientales:**

Una aplicación a la economía de Cataluña

Tesis doctoral

Francisco Navarro Gálvez

Director:

Vicent Alcántara Escolano

Universitat Autònoma de Barcelona

Departament d'Economia Aplicada

Bellaterra, Septiembre de 2012

Agradecimientos

La realización de una tesis doctoral supone un laborioso y constante trabajo que deja atrás un camino forjado de aprendizaje y de fructuosas relaciones con distintas personas que, de un modo u otro, te ayudan en el trayecto. Estas breves palabras de agradecimiento son para ellos.

Mi primera mención es para Vicent, director de esta tesis y que en todo este tiempo me ha demostrado una enorme calidad humana y académica. Le doy, sinceramente, las gracias por sus consejos, confianza y seguimiento, y espero poder seguir investigando y aprendiendo junto a él en los próximos años.

Agradezco, asimismo, a los distintos profesores, compañeros y personal de administración del Departamento de Economía Aplicada de la Universitat Autònoma de Barcelona por la colaboración que siempre he encontrado en estos años. Quiero agradecer especialmente a los profesores Emilio Padilla y Miguel Ángel López por su apoyo e interés en mi trabajo, y a mis compañeras de despacho actuales, Cristina y Lidia, con las que he mantenido, y espero seguir manteniendo, conversaciones muy interesantes y divertidas. Y por supuesto, una mención especial a Miguel y Esaú, cuya amistad, por sí sola, ya hace que este camino haya valido la pena.

Las características de un proyecto como este exige tal nivel de dedicación física y mental que acaba incidiendo, directa e indirectamente, en lo personal. En este ámbito, el apoyo y aliento de mi familia y amigos más próximos ha sido esencial durante todo el camino. Un afectuoso recuerdo a todos ellos, especialmente a mis hermanos (José Luis y Javi); a Jordi y a Montse, sinceramente, gracias.

Y por último, el recuerdo y agradecimiento más trascendental es para mis padres. De ellos he adquirido el legado más valioso para mi vida, la educación. Ellos me han enseñado lo que significa ser libre y la importancia de luchar por ello. Como dijo Ruth E. Renkel: *“A veces el hombre más pobre deja a sus hijos la herencia más rica”*.

Contenido

1	Introducción	1
1.1	La economía como sistema abierto: un enfoque imprescindible	1
1.2	El análisis input-output como marco analítico y empírico	5
1.3	Cuerpo y objetivos de la tesis	7
1.4	Bibliografía	11
2	Análisis input-output extendido al estudio integrado entre economía y medio ambiente	13
2.1	Introducción	13
2.1.1	Notación utilizada	14
2.2	Análisis input-output	14
2.2.1	Estructura básica del modelo	14
2.2.2	Modelos IO abiertos y cerrados	19
2.3	Análisis input-output extendido al medio ambiente	20
2.4	La contabilidad satélite de las emisiones atmosféricas de Cataluña para el año 2005	24
2.4.1	Contabilidad de los recursos naturales: el sistema NAMEA	24
2.4.2	Esquema NAMEA aplicado al aire para Cataluña	28
2.4.3	Paso del inventario CORINAIR al NAMEA	31
2.4.4	Análisis de los principales resultados obtenidos sobre las cuentas satélite de emisiones atmosféricas de Cataluña en el 2005	34
2.4.5	Elaboración y análisis de los indicadores ambientales	37
2.5	Bibliografía	41
	Apéndice	
	2.A. Soluciones económicamente significativas en los modelos IO	46

2.B. Sectorización realizada de las TIOC-05	46
2.C. Principales resultados derivados del análisis input-output	47
2.D. Resultados y análisis de los indicadores ambientales	54
3 Análisis input-output del metano asociado al subsistema agroalimentario de Cataluña: un planteamiento alternativo	59
3.1 Introducción	59
3.2 Planteamiento metodológico	62
3.2.1 El proceso de construcción de subsistemas económicos	63
3.2.2 Subsistemas y generación de contaminantes	65
3.3 Descripción de los datos utilizados	69
3.4 Aplicación y resultados	71
3.4.1 Una visión general de las emisiones de metano y las relaciones intersectoriales	71
3.4.2 Análisis del subsistema agroalimentario catalán	73
3.4.3 Emisiones inducidas del resto de sectores sobre el subsistema agroalimentario	76
3.5 Conclusiones	77
3.6 Bibliografía	80
Apéndice	
3.A. Descomposición del efecto propio	83
3.B. Correspondencia cuentas satélite con clasificación a 18 sectores	84
4 Construcción de un modelo Multi-Regional Input-Output (MRIO) medioambiental para Cataluña y el resto de España: Estudio del balance en CO₂ incorporado en el comercio	85
4.1 Introducción	85
4.2 Metodología	92

4.3	Análisis input-output uni-regional	92
4.3.1	Emisiones generadas por la producción doméstica	92
4.3.2	Emisiones asociadas al comercio exterior y responsabilidad de la demanda final doméstica	93
4.3.3	Balance neto para Cataluña en emisiones incorporadas	97
4.4	Análisis multi-regional input-output (MRIO)	99
4.4.1	La estructura básica del MRIO	99
4.4.2	Generación de emisiones por cada región	101
4.4.3	Supuestos para el comercio con el resto del mundo	102
4.4.4	Aplicación de la integración vertical a los MRIO	105
4.4.5	Emisiones incorporadas en el comercio y responsabilidad	106
4.5	Base de datos y preparación	109
4.5.1	Información de las tablas MRIO	110
4.5.2	Bases de datos-emisiones	111
4.6	Resultados y discusión	111
4.6.1	Resultados del análisis uni-regional input-output	112
4.6.2	Resultados del análisis MRIO	116
4.6.3	Compendio comparativo de resultados: modelo unir-regional vs MRIO	130
4.7	Conclusiones	133
4.8	Bibliografía	137
Apéndice		
4.A.	Feedbacks interregionales en el análisis MRIO-2 regiones	142
4.B.	La tabla input-output simétrica española para el 2001	143
4.C.	Construcción de las tablas del modelo MRIO	144
4.D.	Tablas del análisis empírico uni-regional	150
4.E.	Tablas del análisis empírico multiregional	155

5	Estudio interregional de los impactos medioambientales de Cataluña. Una propuesta para la descomposición de la producción y de los multiplicadores netos globales	162
5.1	Introducción	162
5.2	Desarrollo metodológico	164
5.2.1	Descomposición de la producción en un modelo MRIO	165
5.2.2	Emisión de CO ₂ total asociado a una región	168
5.2.3	Reinterpretación y descomposición interregional de los multiplicadores netos	172
5.3	Análisis empírico	177
5.3.1	Descomposición del impacto sectorial asociado a la demanda final de Cataluña	178
5.3.2	Análisis de los multiplicadores netos para Cataluña	182
5.4	Conclusiones	185
5.5	Bibliografía	188
	Apéndice	
	5.A. Tablas del análisis empírico	190
6	Reflexiones finales	196
6.1	Principales conclusiones y aportaciones metodológicas	196
6.2	Principales resultados del análisis empírico	199
6.3	Futuras líneas de investigación	202
6.4	Bibliografía	205

Lista de tablas, cuadros y gráficos

Tabla 2.1: Esquema de una tabla input-output	15
Tabla 2.2: Asignación sectorial de las emisiones atmosféricas	27
Tabla 2.3: Contaminantes atmosféricos incluidos en el inventario CORINAIR	30
Tabla 2.4: Factores de calentamiento global (GPW100) en toneladas de CO ₂ equivalente	38
Tabla 2.5: Factores de acidificación para los diferentes gases acidificantes en toneladas equivalentes de SO ₂	39
Tabla 2.6: Factores de impacto de los gases precursores de ozono en toneladas equivalentes de COVNM	40
Tabla 2.B.1: Correspondencia entre la asignación sectorial de emisiones y la clasificación TIOC	46
Tabla 2.C.1: Emisiones directas de los principales contaminantes: Acidificadores, precursores de ozono y gases de efecto invernadero (kt, t y kg)	47
Tabla 2.C.2: Peso porcentual de las emisiones directas por sector (%)	48
Tabla 2.C.3: Emisiones totales, directas e indirectas, de los principales contaminantes: Acidificadores, precursores de ozono y gases de efecto invernadero (kt, t y kg)	49
Tabla 2.C.4: Peso porcentual de las emisiones totales por sector (%)	50
Tabla 2.C.5: Multiplicadores sectoriales input-output para cada contaminante (emisión total/emisión directa)	51
Tabla 2.C.6: Coeficientes directos de emisión por output doméstico (Kg/1.000 euros)	52
Tabla 2.C.7: Emisiones atmosféricas por tipo de demanda final	53
Tabla 2.D.1: Emisiones directas de los indicadores ambientales	54
Tabla 2.D.2: Emisiones totales, directas e indirectas, de los indicadores ambientales	55
Tabla 2.D.3: Coeficientes directos de emisión por indicador ambiental (Kg/1.000 euros)	56
Tabla 2.D.4: Indicadores ambientales por tipo de contaminante	57
Tabla 2.D.5: Indicador ambiental por tipo de demanda final	58

Tabla 3.1: Emisiones directas y totales de CH ₄ generadas en Cataluña por el total de sectores (t)	72
Tabla 3.2: Descomposición de las emisiones de metano del subsistema agroalimentario de Cataluña (t)	74
Tabla 3.3: Descomposición de las emisiones de metano del subsistema agroalimentario del resto de España (t)	76
Tabla 3.4: Emisiones generadas por el subsistema agroalimentario para el resto de la economía (t)	77
Tabla 3.B.1: Correspondencia clasificación a 18 sectores	84
Tabla 4.1: Emisiones de CO ₂ totales generadas en Cataluña por sector (kt)	117
Tabla 4.2: Emisiones de CO ₂ totales generadas en el resto de España por sector (kt)	118
Tabla 4.3: Criterios de responsabilidad y balances en CO ₂ incorporados para Cataluña (kt) (2005)	119
Tabla 4.4: Emisiones de CO ₂ incorporadas en la demanda final de Cataluña por origen (kt)	124
Tabla 4.5: Criterios de responsabilidad y balances en CO ₂ incorporados para Cataluña (kt) (2001)	129
Tabla 4.6: Comparación modelo uni-regional vs MRIO (2005) (kt)	131
Tabla 4.7: Coeficientes directos y multiplicadores totales de CO ₂ para los sectores catalanes más importantes del estudio (kt/€)	133
Tabla 4.D.1: Análisis uni-regional: balance en emisiones 2001-2005 (kt)	150
Tabla 4.D.2: Análisis uni-regional: desagregación sectorial de los balances en emisiones (kt)	151
Tabla 4.D.3: Comercio exterior de Cataluña 2001-2005 (millones de euros)	152
Tabla 4.D.4: Análisis uni-regional: componentes del balance en CO ₂ de Cataluña para el 2005 (kt)	153
Tabla 4.D.5: Análisis uni-regional: ratios y porcentajes del balance en CO ₂ para Cataluña (2005)	154
Tabla 4.E.1: Coeficientes domésticos de CO ₂ (2005)	155
Tabla 4.E.2: Balanza comercial regional y exterior de Cataluña para el 2005 (millones de euros)	156
Tabla 4.E.3: Desagregación del balance en CO ₂ de Cataluña por sectores verticalmente integrados (kt) (2005)	157
Tabla 4.E.4: Balance en CO ₂ de Cataluña por sectores sin integración vertical (kt) (2005)	158
Tabla 4.E.5: Matriz de impactos interregionales de la demanda final de Cataluña sobre el resto de España (kt) (2005)	159
Tabla 4.E.6: Matriz de impactos interregionales de la demanda final de Cataluña sobre el resto del mundo (kt) (2005)	160

Tabla 4.E.7: Variación del balance en CO ₂ de Cataluña 2001-2005 (kt)	161
Tabla 5.1: Comparación multiplicadores de CO ₂ netos estándar y bajo la perspectiva del consumo	182
Tabla 5.A.1: Descomposición de la emisión asociada a la demanda final de Cataluña (kt de CO ₂)	190
Tabla 5.A.2. Peso porcentual de cada efecto sobre el impacto de cada sector	191
Tabla 5.A.3. Peso porcentual por efecto y sector sobre la emisión asociada a la demanda final de Cataluña	192
Tabla 5.A.4. Peso porcentual de cada sector sobre el impacto total de cada efecto de Cataluña	193
Tabla 5.A.5. Desagregación por efecto, región y sector de la emisión de CO ₂ asociada al sector químico catalán	194
Tabla 5.A.6. Descomposición de los multiplicadores netos de CO ₂ bajo la perspectiva del consumo	196
Cuadro 2.1.: Estructura del sistema contable NAMEA	26
Cuadro 2.2.: Proceso de integración medio ambiente - economía al marco del sistema NAMEA	29
Cuadro 4.C.1: Esquema de la estructura del modelo MRIO construido y fuentes utilizadas	144
Cuadro 4.C.2: Composición de la región del resto del mundo (miles de millones de dólares USA)	149
Gráfico 2.C.1: Distribución de las emisiones atmosféricas por tipo de demanda final (en %)	53
Gráfico 2.D.1: Contribución de cada contaminante al indicador ambiental correspondiente (en %)	57
Gráfico 2.D.2: Distribución de los indicadores ambientales por tipo de demanda final (en %)	58

1 Introducción

1.1 La economía como sistema abierto: un enfoque imprescindible

“¿Puede un economista ser competente como tal e ignorar la primera y segunda ley de la termodinámica? ¿Puede verse la economía simplemente como un circuito cerrado entre productores de mercancías y consumidores, coordinados por los mercados donde se forman los precios que guían sus decisiones, o más bien debemos entender la economía humana como un sistema abierto a la entrada de energía y de materiales, y abierto también a la salida de residuos sólo en parte reciclables?” (Alier y Roca, 2001, p.12).

Los evidentes signos de degradación ambiental y de escasez de recursos han ido aumentando la preocupación y la toma de conciencia, por parte de la disciplina económica, de que la actual organización socioeconómica y toma de decisiones políticas desarrolla grandes incompatibilidades entre los sistemas económico, ecológico y social. Incompatibilidades que amenazan el mismo proceso económico, la reproducción social y, en consecuencia, la perdurabilidad del bienestar humano y de su propia supervivencia (Kapp, 1976). No obstante, tal y como señaló Georgescu-Roegen (1971), la epistemología mecanicista que define las explicaciones de los fenómenos económicos de la economía convencional, hace que aún gran parte de los economistas ignoren el papel que juega la naturaleza en el proceso económico. O que se considere de forma excesivamente crematística, reduciéndose al estrecho marco de las externalidades.

Este enfoque muestra el proceso económico en términos monetarios, bajo un movimiento circular sustentado por él mismo en un sistema cerrado y autosuficiente entre la producción de mercancías y el consumo de éstas. Sistemas cerrados en los que la economía convencional se ha basado para la formalización de modelos matemáticos

que explicaran los hechos económicos. Centrándose así en los resultados positivos que proporciona la visión monetaria de la actividad económica. Sin embargo, la primera y segunda ley de la termodinámica (o entropía) ponen de manifiesto la irrefutable obviedad de que el proceso económico está ligado al medio ambiente. La actividad económica humana, como todo proceso físico, tiene irreversibles consecuencias sobre el medio natural y ésta, a su vez, ve alterado su proceso de forma irrevocable por esos mismos cambios (Georgescu-Roegen, 1971)¹.

La conclusión directa es que la actividad económica humana no puede subsistir sin el sustento biofísico que la sostiene y que configura el sistema constituido por el medio ambiente. En consecuencia, el sistema económico es un subsistema de éste último, con el que mantiene una permanente interdependencia manifestada en las cuatro clases de servicios que la naturaleza presta a la economía: entrada o insumo de recursos (energía y materiales), procesadora y sumidero de residuos (calor disipado o residuos materiales), esparcimiento y apoyo vital (Common y Stagl, 2005). Es imprescindible dejar claro la idea de que no es un uso aislado de estos servicios prestados, sino que la actividad humana utiliza ecosistemas. Esto significa que el sistema socioeconómico se ve obligado a adaptarse a los cambios que produce en los sistemas biológicos, por lo que es necesario un conocimiento profundo de los efectos de estas interrelaciones (Aguilera y Alcántara, 1994). Esta visión de la economía como un sistema abierto al medio ambiente es el enfoque fundamental de la economía ecológica.

De hecho, fuera de la crítica ecológica, la perspectiva de la teoría económica convencional de un sistema económico cerrado y autosuficiente, ha sido criticada por escuelas como la institucionalista o la marxista, insistiendo en que los sistemas económicos son partes integrantes de un sistema político e institucional mucho más amplio, del cual dependen recibiendo importantes impulsos, y sobre el que, a su vez, tienen una influencia determinante en su proceso de cambio (Kapp, 1976).

Como indica Naredo (1987), existen 2 formas de afrontar la problemática subyacente de considerar los vínculos entre la actividad económica y la naturaleza. Por un lado, un planteamiento más económico el cual trata de descubrir estos elementos mediante el instrumental analítico habitual de la economía estándar, razonando en términos de precios, costes y beneficios monetarios. Por otro lado, un planteamiento

¹ Georgescu-Roegen es el principal responsable del desarrollo de las implicaciones de la termodinámica a la economía, no obstante, para una lectura más sencilla de este asunto véase (Common y Stagl, 2005).

más ligado a la disciplina de la ecología y a la termodinámica, que utilizan sus herramientas analíticas para iluminar la insostenibilidad ecológica del proceso económico. El primero se corresponde con los postulados de la llamada economía ambiental y, principalmente, se basa en la utilización de planteamientos metodológicos de la economía neoclásica especializados en la anexión de los hechos económicos y ecológicos. Sin embargo, la economía ecológica incorpora en su planteamiento a la economía ambiental y la trasciende incluyendo el enfoque ecológico. De esta manera, el propósito de la economía ecológica debe ser el conciliar estos planteamientos, a priori extremos, haciéndolos complementarios de acuerdo a un enfoque “ecointegrador” (Naredo, 1987).

En realidad, esta manera de razonar se corresponde con la postura que pone de acuerdo a la heterogénea economía crítica. La cual considera imperante incluir en el estudio de la economía un enfoque que permita manejar el conjunto de interrelaciones que se suceden entre los sistemas económicos y el conjunto de sistemas físicos y sociales e institucionales.

Volviendo a la economía ecológica, junto con las dos leyes de la termodinámica, una tercera noción fundamental es la conciencia de las discrepancias entre el tiempo económico y el tiempo biogeoquímico. Esto significa que, primero, debe advertirse de la imposibilidad de extraer de los sistemas biológicos más de lo que puede considerarse como sostenible. Y segundo, la imposibilidad de generar más residuos de los que pueden asimilar los ecosistemas, si se quieren conservar y no amenazar la actividad humana (Aguilera y Alcántara, 1994). Esto define el exigente campo de estudio de la economía ecológica que consiste en analizar y evaluar estas interacciones entre ambos sistemas y que, por lo tanto, exige un profundo conocimiento de ambos.

En relación a todo este objeto de estudio, se configura el análisis de impactos en el medio natural abierto a las dos vertientes comentadas. Esto es, tanto al impacto causado por el uso de recursos, como a la posterior degradación y pérdida de disponibilidad para ser utilizados. El estudio de los factores explicativos y la responsabilidad de estos impactos adquiere gran importancia en la economía ecológica. Siendo uno de los puntos centrales de este análisis el comercio internacional y la división global de la producción y el trabajo.

En este sentido, la economía ecológica añade importantes argumentos al debate iniciado por David Ricardo con la “teoría de las ventajas comparativas del comercio”, sobre las bondades, perjuicios y conflictos generados por el libre comercio. A las consecuencias positivas que defiende la economía de carácter neoliberal, la economía ecológica refleja como los costes ambientales y los beneficios no necesariamente se reparten de manera equitativa y justa dentro de un mismo país e internacionalmente. Un ejemplo, es la situación de dumping ecológico que surge del comercio de bienes en el que los daños ambientales producidos tanto local como globalmente no están incluidos en las relaciones de dicho intercambio. Además, esta disciplina advierte de que el comercio internacional, sustentado por recursos fósiles, conlleva un aumento del impacto de la actividad económica sobre los sistemas naturales. Hace también hincapié en cuanto a los efectos del sistema económico de un país, los cuales tienen implicaciones tanto sociales como ecológicas, más allá de sus fronteras territoriales. En este sentido, el comercio internacional es un evidente mecanismo canalizador y externalizador de estos efectos por parte, especialmente, de las economías occidentales. Por lo tanto, desde un enfoque centrado en la responsabilidad en el consumo, estos impactos transfronterizos deben formar parte del análisis de los impactos asociados a una región².

La estimación de estos efectos locales y transfronterizos, de manera que refleje el impacto global de una economía, aunque lógicamente no soluciona el problema, permite tener una idea de la magnitud de los hechos. Es un cometido realmente complejo, no obstante existen distintos indicadores de medición no monetaria que tratan de revelar la situación de estos impactos sin necesidad de ser muy precisos, pero siendo relevantes y plausibles. Es el caso de la huella ecológica, la cual trata de dar contenido a la siguiente idea: muchas regiones viven de forma insostenible, pues su actividad requiere mucho más espacio del que ocupan, espacio del que extraen sus recursos naturales y al que expulsan sus residuos (Alier y Roca, 2001). De esta manera, la demanda de servicios ambientales o ecológicos en términos de espacio por parte de una economía es lo que llamamos *huella ecológica*. Delimitando la definición al impacto causado por las emisiones de dióxido de carbono equivalentes, la *huella de carbono* es

² En Alier y Roca (2001) se analiza ampliamente las implicaciones del comercio internacional en las relaciones entre economía y el medio ambiente.

la cantidad de dióxido de carbono generada, directa e indirectamente, por una actividad o asociada al ciclo de vida de un producto³.

En definitiva, la economía ecológica lleva más de cien años trabajando en el replanteamiento de la economía bajo este enfoque interdisciplinar, aunque es en las últimas décadas cuando ha tenido una mayor consideración e influencia crítica en la disciplina económica. El motivo es, por un lado, la evidencia del impacto de la actividad económica en la naturaleza y las consecuencias que acarrea para la propia reproducción del proceso económico. Y por otro lado, el desarrollo de postulados cada vez más potentes por parte de los autores que en las últimas décadas han representado la economía ecológica (Georgescu-Roegen, 1971,1986; Kapp, 1976; Daly, 1999; Alier y Schlüpmann, 1991), entre otros autores. No obstante, la economía ecológica es aún un proyecto, un enfoque en construcción que, debido a esto y a su carácter interdisciplinar, mantiene muchos debates internos. En palabras de Aguilera y Alcántara: *“La economía ecológica es, por encima de todo, un intento de atreverse a pensar de manera diferente sobre las relaciones entre la economía y la ecología o la naturaleza. ... El reto, más bien, parece consistir en un cambio mental, que es un proceso, incluso sin que tengamos aseguradas o consolidadas las opciones alternativas”* (1994; p.12).

1.2 El análisis input-output como marco analítico y empírico

Es evidente la cantidad de información que exige el enfoque de la economía ecológica para llevar a cabo sus análisis. Se necesitarían inventarios sobre las dotaciones de recursos, sobre cómo se utilizan por parte del sistema económico y qué residuos se generan en este proceso y sus correspondientes consecuencias sobre el medio natural y el proceso económico. Por lo tanto, un requerimiento fundamental es la integración entre la información relativa a la actividad económica, valorada en términos monetarios, y la correspondiente al medio ambiente, estimada en términos físicos (kilogramos, toneladas de petróleo equivalente, emisiones de gases contaminantes, etc.).

Las tablas input-output tienen la capacidad de ser construidas en términos monetarios, físicos o en una combinación de ambos (tablas híbridas). Por lo tanto,

³ Existe un interesante debate entrono a la definición de este concepto. La expresada aquí coincide con la propuesta en Wiedmann y Minx (2008), donde se realiza una discusión de este asunto.

permiten evaluar y analizar distintos impactos sobre el medio ambiente de la actividad en términos físicos y/o híbridos. Es más, los modelos input-output tienen la capacidad de incorporar muchos tipos de unidades de valor de forma simultánea (Hoekstra, 2003).

Además, estas tablas describen la estructura de una economía en cuanto a las interrelaciones sectoriales existentes en términos de consumo de inputs primarios e interindustriales, así como la distribución final de los productos generados. De esta manera, permite distinguir entre los diversos componentes individuales de la economía, tecnología, comercio interior y exterior, consumo e inversión. Esta información responde a los requerimientos apuntados al inicio en cuanto a cómo utiliza el proceso económico los recursos que presta el sistema biofísico, siempre que se disponga de la información suficiente para dichos recursos. Similarmente puede extenderse al análisis de los residuos generados por la actividad económica. En este sentido, dentro del análisis de impactos, los modelos input-output permiten estudiar qué sectores tienen un papel más relevante, qué tipo de demanda final es la que induce a un mayor impacto, evaluar la responsabilidad regional de acuerdo a su consumo mediante el comercio intra- e interregional, relacionar la evolución de los impactos a cambios estructurales y crecimiento económico, planificar objetivos de política ambiental, etc.

Asimismo, la amplia versatilidad de estos modelos permite establecer un alto nivel de desagregación sectorial y de demanda final, convirtiéndolos en una herramienta muy útil para los análisis microeconómicos, válidos para estimar el impacto asociado a una empresa, a un producto o a un grupo de consumidores específico. En este, y otros tipos de estudios, los análisis input-output pueden complementarse, sin muchas dificultades, con otras metodologías poniendo de manifiesto su adaptabilidad⁴.

Todas estas características hacen del análisis input-output una metodología especialmente útil para el estudio de las interdependencias entre la economía y el medio ambiente. Y en particular, en la evaluación físico-monetaria de lo que la economía extrae de los ecosistemas y de lo que incorpora en éstos, es decir, en el análisis de impactos sobre la naturaleza. En cualquier caso, en el Capítulo 2 se lleva a cabo un buen resumen de este marco de análisis y de su extensión al medio ambiente. Así como de su utilidad para la estimación y contabilización de los datos físicos que configuran una

⁴ Por ejemplo, varios autores recomiendan el uso simultáneo y complementario del análisis del ciclo de vida y el marco del input-output para el estudio del impacto asociado a un producto (Suh, 2004).

buena parte de la información necesaria para hacer efectivo el enfoque de estudio de la economía ecológica.

1.3 Cuerpo y objetivos de la tesis

El principal objetivo de este estudio es contribuir al conocimiento de las interrelaciones entre el sistema económico y el medio ambiente. Concretamente en lo que se refiere a los impactos que el proceso económico genera sobre los ecosistemas. Para este cometido, dentro del marco del input-output, se aportan una serie de herramientas de análisis mediante los desarrollos metodológicos propuestos. Así como un conjunto de resultados empíricos que reflejen el potencial de estas metodologías y provean de una información rigurosa y útil para avanzar en el entendimiento de dichas interrelaciones.

El estudio se centrará en las emisiones de gases contaminantes, con especial atención al dióxido de carbono (CO₂) el gas más importante en el aumento del efecto invernadero causante del cambio climático. Por los impactos potenciales que implica y las dificultades efectivas de contrarrestarlo, este problema constituye una de a las amenazas más serias a la sostenibilidad (Common y Stagl, 2005).

El análisis empírico abordará el caso de Cataluña en cuanto a la contaminación atmosférica causada por su actividad productiva. Debido a su mix energético, al elevado crecimiento de su economía y al alto nivel de apertura exterior, la economía catalana es un caso ideal para el estudio de las emisiones contaminantes asociadas tanto a su proceso productivo como a su demanda final. Atendiendo a que cabe diferenciar entre la responsabilidad de las emisiones generadas en el propio territorio y aquellas asociadas a la cadena de producción de los productos consumidos, es evidente que el comercio exterior será un aspecto clave a evaluar. Además, no hay constancia de trabajos científicos que hayan abordado el estudio del impacto ambiental de la economía catalana en relación al comercio exterior, con especial atención a las relaciones con el resto de España.

Según el informe AMEEC (Análisis del Metabolismo Energético de la Economía Catalana) (Ramos, 2009), las emisiones de CO₂ en Cataluña han aumentado

considerablemente, un 60,1% entre 1990 y 2005, muy por encima de la media del conjunto de España, un 50,5%. De esta manera, se produce un importante distanciamiento de la Directiva Europea 2002/358/CE, que ratifica el Protocolo de Kyoto y el cual tenía la intención de limitar el crecimiento de las emisiones de gases efecto invernadero (GEI) a un 15% anual para el promedio de 2008-2012 respecto a las de 1990, en el caso de España.

En las últimas décadas la economía catalana, y en conjunto la economía española, se ha convertido en un auténtico dragón europeo en cuanto al consumo de energía y materiales (Carpintero, 2002). Esto tiene una incidencia directa sobre su impacto global y, en concreto, sobre el valor de su huella de carbono, puesto que el principal factor explicativo de este hecho es el desmesurado crecimiento de la demanda interna, donde las importaciones tienen un papel decisivo. En términos físicos, de flujos de materiales y emisiones incorporadas, las importaciones catalanas han experimentado un crecimiento absoluto muy superior al de las exportaciones, lo que nos indica un déficit comercial creciente en términos físicos, el cual se presume superior al monetario.

Tras una introducción general al marco metodológico del input-output en el Capítulo 2, en los tres siguientes capítulos se proponen distintos desarrollos metodológicos con sus respectivas aplicaciones empíricas. Con la intención de hacer efectivo el objetivo principal mencionado al principio de este apartado, estos tres estudios tienen tres objetivos específicos:

- 1- Profundizar en el estudio del análisis input-output extendido al medio ambiente como una herramienta útil para evaluar el impacto asociado a la actividad económica de una región. Se pretende aportar métodos y técnicas que mejoren su potencial explicativo.
- 2- Proveer de una información, lo más verosímil posible, sobre la contaminación atmosférica asociada a la demanda final de Cataluña, en relación a variables como la estructura económica y el comercio intra- e interregional con el resto de España y el exterior. El objetivo es avanzar en el conocimiento de las consecuencias medioambientales que conlleva el modelo de producción y consumo de Cataluña como economía desarrollada,

las cuales trascienden de las fronteras nacionales. Además, se pretende que esta información resulte útil en el planteamiento de políticas ambientales.

- 3- Aportar argumentos metodológicos y empíricos que refuercen la tesis establecida en el apartado 1.2, esto es, la utilidad de las tablas input-output y de su correspondiente análisis en el estudio, bajo un enfoque *ecointegrador*, de las interrelaciones entre el sistema económico y el sistema biofísico.

Para avanzar hacia estos objetivos, se realizan distintos trabajos de investigación que definen la estructura de la tesis. Primeramente, es necesario remarcar que los objetivos empíricos del estudio se enfrentan a una problemática añadida en cuanto a la disponibilidad de información, como es la falta de cuentas ambientales de Cataluña para el año 2005. La disponibilidad de las TIOC (Tablas Input-Output de Cataluña) para ese mismo año y la publicación de las cuentas catalanas del aire para el 2001⁵, así como distintos avances metodológicos que proveen el INE y el Eurostat, ha permitido la estimación de estas cuentas satélites de contaminación atmosférica. Su proceso de elaboración se presenta en el Capítulo 2. Es un laborioso trabajo estadístico necesario para el desarrollo del estudio y que da un valor añadido al conjunto de la investigación.

Seguidamente, en el Capítulo 3, se profundiza en la metodología de estudio de un determinado sector productivo de acuerdo a las interrelaciones existentes con el conjunto del sistema productivo. La técnica de los subsistemas input-output es la que posibilita este tipo de análisis que permiten evaluar los determinantes que explican el impacto asociado a una actividad. Mediante su aplicación se evaluará ampliamente la responsabilidad sobre las emisiones de metano del sector agroalimentario de Cataluña. Un sector cuya actividad tiene un peso muy relevante, directa e indirectamente, en las emisiones de gases de efecto invernadero.

En el Capítulo 4 se estiman las emisiones incorporadas en el comercio de Cataluña con el resto de España y el resto del mundo. Esto permitirá evaluar y analizar la responsabilidad asociada a la demanda final de Cataluña de acuerdo a los balances interregionales en CO₂ incorporado. Este estudio se llevará a cabo, principalmente, a través de la construcción y aplicación de un modelo multi-regional input-output con sectores verticalmente integrados. Si bien es cierto que esta metodología es considerada

⁵ Ver <http://www.idescat.cat/cat/idescat/publicacions/cataleg/pdfdocs/csea2001.pdf>

como la más apropiada por muchos autores, se ha querido advertir también de las posibilidades de los modelos uni-regionales input-output para ciertos estudios con objetivos empíricos más concretos y menos exigentes. Por lo que, previamente, se tratará teórica y empíricamente un modelo de este tipo.

A partir del modelo multi-regional construido, en el Capítulo 5 se plantea un desarrollo metodológico consistente en descomponer la producción regional verticalmente integrada. Esto posibilita la desagregación del impacto sectorial asociado a la demanda final de una región en distintos efectos explicativos. Lo que puede aplicarse seguidamente en la descomposición de los llamados multiplicadores netos. Simultáneamente, este proceso permite la reinterpretación de estos multiplicadores de acuerdo al enfoque de la responsabilidad en el consumo. Su aplicación a las emisiones de CO₂ de Cataluña profundizará en los determinantes intra- e interregionales del impacto asociado a su demanda final y la relevancia de cada sector productivo. Finalmente, en el Capítulo 6 se presentan las principales conclusiones de la investigación.

Distintas partes de este trabajo se han presentado en congresos y se han publicado, o están en proceso de revisión en revistas de interés científico:

- En las *III Jornadas Españolas de Análisis Input-Output en Albacete (2009)* se presentó parte del trabajo correspondiente al Capítulo 3 pero con un nivel menor de desarrollo metodológico.
- En las *IV Jornadas Españolas de Análisis Input-Output en Madrid (2011)* se presentó una aplicación para el uso de agua por el sector agroalimentario en Andalucía del análisis multi-regional del Capítulo 4. Este trabajo fue galardonado con el *Premio Emilio Fontela, otorgado por la Sociedad Hispanoamericana de Análisis Input-Output*. Asimismo, está también en proceso de revisión en la revista *Ecological Economics*.
- Un artículo con previos resultados del Capítulo 3 se publicaron en la revista de *Economía Agraria y Recursos Naturales* (Navarro y Alcántara, 2010).
- El análisis multi-regional input-output para Cataluña desarrollado en el Capítulo 4 está en proceso de revisión en la revista *Economic System Research*.

1.4 Bibliografía

- Aguilera, F. y Alcántara, V (1994). *De la economía ambiental a la economía ecológica*. Barcelona: Icaria.
- Alier, J.M. y Roca, J. (2001). *Economía Ecológica y Política Ambiental*. México, D.F.: Fondo de Cultura Económica.
- Alier, J.M. y Schlüpmann, K. (1991). *La ecología y la economía*. México, D.F.: Fondo de Cultura Económica.
- Carpintero, O. (2002). “La economía española: el dragón europeo en flujos de energía, materiales y huella ecológica, 1955-1995”. *Ecología Política*, nº23.
- Common, M. y Stagl, S. (2005). *Ecological Economics: An Introduction*. Cambridge University Press.
- 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 First*. Harvard University Press.
- Georgescu-Roegen, N. (1986). “The Entropy Law and the Economic Process in Retrospect”. *Eastern Economic Journal*, 12(1), pp.3–25.
- Hoekstra, R. (2003). *Economic Growth, Material Flows And the Environment: New Applications of Structural Decomposition Analysis And Physical Input-Output Tables*. Cheltenham: Edward Elgar Publishing.
- Kapp, W. (1976). *The open system character of the Economy and its Implications*. En *Economics in the Future: Towards a New Paradigm*. London: MacMillan.
- Naredo, J.M. (1987). *La economía en evolución: Historia y perspectivas de las categorías básicas del pensamiento económico*. Madrid: Siglo XXI de España Editores.
- Navarro, F. y Alcántara, V. (2010). “Las emisiones de metano (CH₄) en el subsistema agroalimentario catalán: un análisis input-output alternativo”. *Economía Agraria y Recursos Naturales*, 10(2), pp.25–39.
- Ramos (coord.) (2009). *Análisis del Metabolismo Energético de la Economía Catalana (AMEEC)*. Barcelona: Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible. Generalitat de Catalunya,. Disponible en: http://www15.gencat.cat/cads/AppPHP/images/stories/publicacions/informesespecials/2009/informe_complet_def.pdf.

Suh, S. (2004). "Functions, commodities and environmental impacts in an ecological-economic model". *Ecological Economics*, 48(4), pp.451–467.

Wiedmann, T. y Minx, J. (2008). *A Definition of «Carbon Footprint»*. En C. C. Pertsova, *Ecological Economics Research Trends*. Hauppauge NY, USA: Nova Science Publishers.

2 Análisis input-output extendido al estudio integrado entre economía y medio ambiente

2.1 Introducción

Los inicios del análisis input-output (IO) se remontan a la década de 1930, cuando Wassily Leontief publicó un artículo en el que analizaba la construcción de una tabla de transacciones económicas y relaciones interindustriales basada en la *Tableau Economique* de François Quesnay de 1758 (Leontief, 1936). Posteriormente, en 1941, Leontief desarrolló a partir de este trabajo el primer análisis IO (Leontief, 1941)¹. Actualmente, el análisis IO es una de las metodologías más aplicadas en economía a distintas escalas geográficas; local, regional, nacional e internacional (Baumol, 2000).

Esta metodología ha sido extendida al estudio integrado del empleo y otras variables sociales asociadas a la actividad productiva, así como a los análisis de relaciones interregionales en términos de bienes y servicios comercializados, o trabajos en los que se integra en un mismo análisis las actividades productivas con el impacto en el medio ambiente o el uso de recursos físicos. En Miller y Blair (2009)² puede encontrarse una gran cantidad de extensiones metodológicas del análisis input-output así como una completa bibliografía de las mismas y de la evolución histórica del modelo inicial de *Leontief*.

¹ En reconocimiento a estos trabajos, en 1973, Wassily Leontief recibió el Premio Nobel de Economía.

² Este es sin lugar a dudas uno de los textos más citados y completos en el campo del análisis input-output. Consecuentemente irá citándose durante todo el trabajo.

2.1.1 Notación utilizada

Antes de seguir con la introducción al análisis IO, es necesario presentar la notación que se utilizará a lo largo de este trabajo. Las matrices vendrán expresadas en letras mayúsculas y los vectores, que por definición serán columnas, en minúsculas. Ambos se mostrarán en negrita en línea con la notación común utilizada. Un escalar vendrá indicado por una letra minúscula no en negrita. La transposición de un vector o matriz vendrá dada por el símbolo del primo ($'$). La expresión de un vector en forma de matriz diagonal en la que los elementos del vector se sitúan en la diagonal principal y el resto de la matriz son ceros, viene indicado por el circunflejo (\wedge).

2.2 Análisis input-output

2.2.1 Estructura básica del modelo

Un modelo IO se construye a través de la información económica obtenida de una determinada área geográfica para un periodo de tiempo concreto, generalmente un año. Esta información se organiza en la llamada tabla input-output (TIO)³. En ella se representan las transacciones asociadas con el proceso productivo de un sistema económico. La Tabla 2.1 muestra la estructura general de una TIO.

En dicha tabla, **Z** es la matriz de transacciones interindustriales o consumos intermedios donde cada fila indica las ventas realizadas por cada rama productiva al resto de sectores. Aquella producción que tiene como destino los consumidores finales considerados como exógenos a los sectores productivos, tales como los hogares (consumo privado), el gobierno (consumo público), la inversión (formación bruta de capital) y las exportaciones, viene recogida en las columnas adicionales (matriz **Y**) que forman la demanda final. Las filas adicionales (matriz **V**) registran la cantidad de input primario requerido en la producción de cada sector o producto, tales como trabajo, capital o importaciones.

³ El manual United Nations (1999) representa, probablemente, la guía más completa en cuanto a la estructura y construcción de las tablas input-output.

Tabla 2.1. Esquema de una tabla input-output

	Productores como consumidores	Demanda final	Output total
Productores	$Z_{(n \times n)}$	$Y_{(n \times s)}$	$X_{(n \times 1)}$
Inputs primarios	$V_{(k \times n)}$		
Inputs totales	$X_{(1 \times n)}$		

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, el vector \mathbf{x} indica el output total de la economía por sector. Acorde a la metodología de la contabilidad nacional y el flujo circular de la renta, el total de recursos (inputs) utilizados en la economía será igual al output total. Siendo \mathbf{u} un vector columna unitario cuyo número de filas coincidirá con las columnas de la matriz que postmultiplica, la siguiente ecuación refleja este equilibrio:

$$\mathbf{Z}'\mathbf{u} + \mathbf{V}'\mathbf{u} = \mathbf{Z}\mathbf{u} + \mathbf{Y}\mathbf{u} = \mathbf{x} \tag{2.1}$$

En realidad, el modelo y la TIO se corresponden con la información de una economía que se presenta abierta al exterior, de forma que las exportaciones y las importaciones adquieren una relevancia evidente en el análisis. En la Tabla 2.1, \mathbf{Z} e \mathbf{Y} , pueden desagregarse entre producción doméstica (\mathbf{Z}^d e \mathbf{Y}^d) e importada (\mathbf{Z}^m e \mathbf{Y}^m). De esta manera, el vector de importaciones totales de la economía por sector viene dado por $\mathbf{Z}^m\mathbf{u} + \mathbf{Y}^m\mathbf{u} = \mathbf{m}$, mientras que ahora el output se corresponde con la producción total doméstica generada por la economía interior, $\mathbf{Z}^d\mathbf{u} + \mathbf{Y}^d\mathbf{u} = \mathbf{x}^d$. En el capítulo 4 se desarrolla ampliamente un estudio metodológico y un trabajo empírico de la integración en el análisis IO del comercio con el exterior a través de un modelo uni-regional, por un lado, y un modelo multi-regional, por el otro.

Aunque Leontief originalmente desarrolló el modelo IO en unidades físicas hoy, generalmente, la ecuación (2.1) y la TIO son expresadas en términos monetarios, es decir, el valor monetario de los inputs intermedios y primarios es igual al valor monetario del output total. No obstante, los intercambios de bienes entre sectores son en realidad compras y ventas de bienes físicos. En este sentido, es posible estimar la estructura IO en unidades físicas, por ejemplo, en kilogramos o julios. La emergencia de integrar en este tipo de análisis los aspectos medioambientales evaluados en términos físicos, ha sido clave en la evolución de los estudios y estadísticas en unidades físicas relacionados con el IO. Una tabla input-output física (PIOT, de sus siglas en inglés), registrará todos los flujos físicos asociados al sistema económico (Hoekstra, 2003). La extracción de materiales de la naturaleza, los intercambios físicos, la generación de residuos, las emisiones atmosféricas, los cambios en el stock medioambiental, son ejemplos de la información que las PIOT pueden recoger. En la próxima sección se realiza una explicación general de este asunto, así como de los avances y combinaciones con las cuentas monetarias nacionales. Seguidamente se llevará a cabo una aplicación para la economía catalana en términos de contaminación atmosférica. Para la completa revisión que este tema merece, véase los textos Hoekstra (2003) y Suh (2010).

La matriz \mathbf{Z} es el componente clave del análisis input-output. En ella se encuentran las relaciones intra- e intersectoriales existentes en la economía. Esta matriz puede desagregarse por industria (sector productivo) o por producto, en función de la metodología utilizada en su elaboración y simetrización a través de las tablas de origen y destino⁴. Para este trabajo se ha decidido utilizar la opción de industria por industria. La estructura simétrica de la TIO asume que la actividad productiva de un área económica está compuesta por un determinado número de sectores productivos o productos, provocando que \mathbf{Z} sea una matriz cuadrada. Esto requiere adoptar algunos de los supuestos más relevantes del análisis input-output que más adelante complementaremos con el resto de supuestos que conlleva la metodología. Así los modelos IO suponen la existencia de producción homogénea: cada rama productiva produce un determinado producto homogéneo y, a su vez, un determinado producto es producido solo por un sector. Y esto con un mismo mix de inputs, es decir, con una determinada tecnología homogénea por sector.

⁴ En los manuales United Nations (1999) y Miller y Blair (2009) se realiza una completa revisión y análisis de las posibilidades metodológicas de estimación de las TIO simétricas. Véase también para una completa información sobre la estructura de las tablas de origen y destino y su utilidad.

además se produzca un excedente económico⁵. $(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \equiv \mathbf{L}$ expresa la conocida *matriz inversa de Leontief*, cuyo elemento característico l_{ij} expresa la cantidad de output producido por el sector i por cada aumento unitario de la demanda final del sector j . Es decir, recoge los efectos directos e indirectos sobre cada sector del aumento en una unidad de la demanda final del sector j . El efecto final sobre todos los sectores que tiene como resultado la suma de los elementos de la columna j se conoce como el efecto multiplicador del output o coeficiente de arrastre de la demanda del sector j , midiendo, así, los llamados efectos de arrastre (*backward linkage*)⁶.

Por último, vale la pena reunir las hipótesis mencionadas implícitas al conjunto del modelo de *Leontief* (Vegara, 1979):

- *Ausencia de producción conjunta*: cada rama productiva o proceso de producción produce un solo producto homogéneo.
- *Coefficientes constantes*: la cantidad de inputs necesarios para producir una unidad de output es independiente del nivel de producción. Esto tiene implicaciones en los estudios en los que, por ejemplo, se analiza el trabajo o impacto medioambiental incorporado en la producción de un determinado producto, puesto que también será constante.
- *Ausencia de técnicas alternativas*: cada producto es producido con una sola tecnología o procedimiento determinado por la cantidad de inputs necesarios. Al igual que la anterior hipótesis, las implicaciones sobre las variables asociadas a la producción son evidentes.

Los estudios realizados en esta tesis trabajan metodológicamente sobre el modelo IO de cantidades presentado arriba. No obstante, para completar una introducción a la estructura general del modelo input-output es necesario, como mínimo, hacer una breve referencia al modelo de precios de *Leontief*.

La expresión matricial que define el modelo de precios en un modo de producción mercantil simple es la siguiente⁷:

⁵ En el Apéndice 2.A se presenta una breve explicación de las condiciones necesarias y suficientes para que la solución sea económicamente significativa.

⁶ A partir de este punto, y teniendo en cuenta los efectos de arrastre hacia adelante (suma de los elementos de cada fila), toma partido el campo de estudio de los multiplicadores input.output. En el capítulo 5 se trabajará una parte concreta de este tipo de análisis. Véase, no obstante, Miller y Blair (2009) para una revisión completa de este tema.

⁷ Véase Vegara (1979) para una ampliación al modo de producción capitalista, así como una completa revisión de los desarrollos del modelo de precios en la teoría económica y economía política.

$$\mathbf{p}' = \mathbf{p}'\mathbf{A} + \mathbf{v}\mathbf{l}' \quad (2.5)$$

donde \mathbf{p}' es el vector de precios de cada producto, \mathbf{v} es el ingreso de los productores por unidad de tiempo de trabajo y \mathbf{l}' es el vector de cantidades de trabajo utilizada en la producción de cada producto. Nótese que $\mathbf{v}\mathbf{l}'$ en modelo basado en las TIO corresponde al coste unitario de los inputs primarios. De esta manera, el precio de cada producto debe cubrir su coste total de producción.

Consecuentemente:

$$\mathbf{p}' = \mathbf{v}\mathbf{l}'(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \quad (2.6)$$

donde se determina el sistema de precios del modelo. Éstos son proporcionales al coste de los inputs primarios. Por lo tanto, el precio de cada producto dependerá de los inputs primarios incorporados en la producción de los inputs utilizados para producirlo. En Miller y Blair (2009) ofrecen una completa revisión bibliográfica y analítica de las posibilidades del modelo de precios de *Leontief*.

2.2.2 Modelos IO abiertos y cerrados

El modelo presentado hasta el momento depende de la determinación exógena de la demanda final, independiente de las relaciones interindustriales de los sectores productivos. En este caso, el modelo de *Leontief* se denomina abierto. Especialmente en el caso de la parte de la demanda final correspondiente a los hogares (consumo privado) la caracterización de exogeneidad entra en tensión con la teoría económica básica. Desde la perspectiva de los usos, el consumo de las familias del output de cada sector está relacionado con los ingresos que reciben como salarios, desde la perspectiva de los recursos, de los diferentes sectores. Es decir, la cantidad de sus compras están relacionadas con su ingreso salarial, el cual depende, generalmente, del output de cada sector.

La solución a esta problemática consiste en endogeneizar el sector de los hogares. El procedimiento consiste en incorporarlo como un sector más a la matriz de consumos intermedios \mathbf{Z} a través de una fila y una columna adicional. La columna estará compuesta por el consumo de los hogares registrado en la demanda final y la fila

por las retribuciones salariales procedentes de los distintos sectores productivos⁸. Ahora puede decirse que el modelo está cerrado respecto a los hogares⁹. Aunque este es el caso más frecuente, este mismo proceso puede llevarse a cabo para otras variables incluidas en la demanda final, como por ejemplo el sector público o la formación bruta de capital. Incluso puede cerrarse el modelo completamente, como hizo *Leontief* en su modelo original para Estados Unidos de 1919 (Miller y Blair, 2009).

De hecho, el desarrollo metodológico del modelo multi-regional input-output que se presenta en el Capítulo 4 se corresponde con el proceso de endogeneizar el comercio exterior. Al igual que cuando se integra el consumo privado en la matriz interindustrial puede desagregarse en distintas columnas/filas en función del tipo de análisis que se desee (por ejemplo por nivel de renta), en el caso del comercio exterior puede desagregarse por región y sector productivo de acuerdo a la información sobre el intercambio comercial realizado.

2.3 Análisis input-output extendido al medio ambiente

Como se ha señalado al inicio de este capítulo, el modelo inicial de *Leontief* ha sido desarrollado y utilizado por cientos de analistas e investigadores para el estudio y aplicación de múltiples cuestiones asociadas a la economía, tales como trabajo, temas sociales, comercio, energía, ecología, uso de recursos, ecología industrial y ciencias ambientales (Wiedmann, 2009). Sobre estos últimos campos, especialmente en las tres últimas décadas, se ha incrementado el número de modelos basados en el análisis input-output con el fin de analizar las relaciones entre economía y medio ambiente¹⁰.

En este proceso, son múltiples los desarrollos metodológicos llevados a cabo con el objetivo de integrar los aspectos medioambientales al análisis input-output. En Miller y Blair (2009) se examinan en profundidad tres tipos de modelos input-output medioambientales:

⁸ En realidad, es improbable que los salarios sean la única fuente de recursos de las familias para su consumo, por lo que parte del consumo familiar deberá permanecer como exógeno en la columna de demanda final.

⁹ Sobre estos modelos se obtienen los multiplicadores llamados Tipo II que incorporan en la importancia de cada sector el efecto endógeno de la renta salarial de las familias (Moore, 1955)

¹⁰ Para una amplia referencia bibliográfica sobre economía y medio ambiente desde una perspectiva input-output ver Alcántara (1995)

- *Modelos económico-ecológicos.* Es el resultado de extender la matriz de relaciones interindustriales incorporando una “submatriz” ecológica vinculada con la primera de la misma manera que las regiones se relacionan en un modelo interregional input-output. Esta submatriz recogerá los flujos dentro del ecosistema ecológico y las asociaciones con la matriz de intercambios interindustriales. .
- *Modelos de producto por industria.* Estos modelos expresan los factores medioambientales incorporados como “productos” en la estructura de una tabla input-output de producto-por-industria. En este tipo de tablas, los productos se presentan por filas y las industrias por columnas en una matriz de intercambios interindustriales que no tiene que ser necesariamente cuadrada. Se rompe así con el supuesto de “un sector/un producto” de los modelos IO estándares, dando un paso adelante en cuanto al realismo del modelo.
- *Modelos input-output generalizados.* Su estructura se basa en la extensión del modelo estándar añadiendo a la matriz de coeficientes técnicos distintas filas y columnas adicionales que reflejen la generación de contaminación. Entre las distintas aplicaciones destaca su uso en el análisis de impactos y en los modelos de planificación, como sería, por ejemplo, el estudio de un determinado objetivo de reducción de contaminación. Este es el tipo de modelo utilizado en los próximos capítulos y, por lo tanto, el que se presentará de forma introductoria en este apartado. A lo largo de esta tesis se pondrá de manifiesto el potencial de esta metodología para el análisis de impactos y su responsabilidad asociada.

Así, el modelo generalizado input-output medioambiental puede representarse como el clásico Modelo de *Leontief* ampliado. Esta extensión propuesta en Leontief (1970) y aplicada más tarde en Leontief y Ford (1972), es tanto un modelo como un marco contable. Como se ha indicado arriba, el proceso consiste en añadir a la matriz de coeficientes técnicos un conjunto de coeficientes de generación y/o eliminación de contaminación. Para mostrar este proceso se utilizará el ejemplo de un modelo input-output para dos sectores. A partir de éste, se añade una tercera variable a través de una fila y una columna adicional. En la fila se registra la contaminación

atmosférica de un único gas generada por cada sector productivo. Como el objetivo es evaluar únicamente la contaminación generada, las entradas de la columna adicional serán ceros, excepto el elemento adicional de la diagonal principal que será uno¹¹. Si \mathbf{A}_p representa la matriz tecnológica ampliada, la expresión matricial del modelo, $(\mathbf{I} - \mathbf{A}_p)\mathbf{x}_p = \mathbf{y}_p$, viene dada por:

$$\begin{bmatrix} (1 - a_{11}) & -a_{12} & 0 \\ -a_{21} & (1 - a_{11}) & 0 \\ -e_1 & -e_2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ c_T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

donde e_j es la cantidad de emisión por unidad de output del sector j y c_T es la contaminación total por la actividad productiva. De esta manera, se añade una tercera ecuación lineal, $-e_1x_1 - e_2x_2 + c_T = 0$, al sistema de ecuaciones característico del modelo input-output. Esta nueva ecuación relaciona la emisión total generada con el output de cada sector.

Similarmente al modelo estándar, la resolución del modelo ampliado queda expresado en función de la demanda final; $\mathbf{x}_p = (\mathbf{I} - \mathbf{A}_p)^{-1}\mathbf{y}_p$; donde $(\mathbf{I} - \mathbf{A}_p)^{-1}$ es la matriz *inversa de Leontief ampliada*. Nótese que el valor de los elementos del primer cuadrante correspondiente a la matriz inversa original; $(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}$; quedaran inalterados. La aportación del modelo ampliado al análisis se centra en los elementos que forman la fila adicional de esta matriz. Éstos permiten estimar la emisión total, directa e indirecta, generada para satisfacer la demanda final de cada sector productivo. Así, cada elemento de esta fila adicional; $l_{n+1,j}$; indica la emisión generada por todo el sistema productivo para satisfacer una unidad monetaria de demanda final del sector j . Es decir, el impacto unitario total, directo e indirecto, asociado a la demanda final de un determinado producto.

La producción de un bien o servicio es el resultado de la combinación de múltiples factores productivos. Es la materialización de las primeras materias, energía, productos semielaborados, trabajo, etc., procedentes de los distintos sectores económicos. De la misma forma que los estudios que engloban la *teoría del valor trabajo* estiman la cantidad de trabajo directa e indirectamente necesaria para obtener

¹¹ Cuando el estudio incorpora el análisis de una disminución de contaminación, generalmente las columnas adicionales incorporan los costes de este objetivo.

una unidad de cualquier productor, puede determinarse la cantidad de contaminación incorporada en la misma cadena de producción (Alcántara, 1995)¹². Así, la emisión de un determinado gas contaminante generada por todo el sistema productivo para producir un bien debe incluir la generada por todos los inputs necesarios para su producción. Bajo esta perspectiva, la contaminación generada por su producción directa puede ser muy baja, sin embargo, puede incorporar importantes niveles de emisión de los procesos productivos de sus proveedores, es decir, emisiones indirectas.

Dentro del análisis de impactos asociados a la demanda final de un sector, el modelo ampliado de *Leontief* presentado puede simplificarse premultiplicando el modelo estándar por una matriz de coeficientes directos de contaminación, $\mathbf{D} = \{d_{kj}\}$, cuyos elementos indican la contaminación de tipo k generado por unidad de output de j . Así, nuevamente, el vector de impactos totales, directos e indirectos, (\mathbf{x}^p) asociados a cada sector productivo puede formalizarse como una función de la demanda final:

$$\mathbf{x}^p = \mathbf{D}(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}\mathbf{y} \quad (2.8)$$

donde cada elemento de la matriz $\mathbf{D}(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}$ indica la contaminación de tipo k generada por la economía para satisfacer una unidad monetaria de demanda final de cada sector.

Uno de los principales problemas que surgen al integrar los aspectos medioambientales al análisis IO es la unidad de medida utilizada para la información medioambiental y cómo se estructura ésta en un marco contable. Este tipo de estudios, especialmente los que trabajan sobre los modelos input-output generalizados, utilizan frecuentemente las TIO monetarias estándares extendidas con datos del medio ambiente en unidades físicas. Éstas son conocidas como las tablas input –output híbridas. Este tipo de modelos híbridos son los que se han utilizado para los análisis realizados en este trabajo. No obstante, como se ha comentado al inicio, los análisis input-output también pueden usar una TIO medida únicamente en unidades físicas (PIOT). Este tipo de modelos ofrecen una dimensión distinta de la economía, con la posibilidad de complementar y mejorar algunas partes del análisis y de las estimaciones de las TIO monetarias.

¹² De hecho, nada nos impide, dejando de lado el problema de la información, a determinar las necesidades directas e indirectas de cualquier recurso natural, material o energético. Por ejemplo en el caso del agua, podría calcularse los *valores-agua* (similaramente a los *valores-trabajo*) correspondiente a cada actividad productiva.

2.4 La contabilidad satélite de las emisiones atmosféricas de Cataluña para el año 2005

2.4.1 Contabilidad de los recursos naturales: el sistema NAMEA

Ya se ha advertido en la introducción la necesidad de incidir en la consideración de la economía como un sistema abierto al medio ambiente en cuanto a la entrada de energía útil y materiales y a la salida de residuos en forma de energía degradada o deshechos materiales. Sin embargo, las bases de la economía convencional, se apuntalan sobre un sistema cerrado sustentado por sí mismo y autosuficiente entre los sectores de producción y el consumo. De esta manera, esta parte de la disciplina económica da la espalda al doble papel que juega la naturaleza en las sociedades humanas: suministrador de recursos naturales, por un lado, y receptor de residuos procedentes tanto de las actividades productivas como de las de consumo, por el otro.

En realidad, no es hasta la eclosión de la economía ecológica, hace poco más de un par de décadas, que los economistas, especialmente los más cercanos a la escuela neoclásica, no han considerado en su contabilidad y análisis, salvo contadas excepciones, las relaciones entre las actividades económicas y el medio ambiente. Es más, las contadas excepciones, han tratado este campo de forma errónea y crematística (Alier y Roca, 2001).

La abrumadora evidencia de la importancia de estas relaciones en el análisis entre crecimiento económico y medio ambiente, y las oportunidades de negocio y reorientación de parte del proceso de acumulación, originó en la esfera política y académica la necesidad de introducir enfoques integradores e interdisciplinarios. Estos nuevos enfoques pretenden, entre otros campos de estudio pertenecientes a la economía ecológica, la contabilización de los flujos de energía y materiales integrantes del metabolismo económico de las sociedades, así como la evaluación de los impactos ambientales derivados de la actividad económica.

Sin embargo, en este proceso nos encontramos ante el problema de la información, puesto que, sin una información rigurosa y eficaz de las relaciones entre economía y medio ambiente será complicado la integración de estos esquemas al análisis convencional. Las Contabilidades Nacionales, las cuales forman la principal fuente de información de los estudios de economía aplicada y la toma de decisiones de

política económica, aunque han realizado algunos avances, continúan sin contemplar de forma trascendental estas relaciones.

Los principales esfuerzos realizados en este sentido se han dirigido a la construcción de cuentas en términos físicos, llamadas cuentas satélites, las cuales permiten, sin modificar el esquema convencional de las Contabilidades Nacionales, recoger datos de la presión ambiental de las actividades humanas en forma de impactos y servicios ambientales, así como de la modificación del patrimonio natural.

Tanto los datos de emisiones atmosféricas, como otros tipos de registros ambientales tales como cuentas de energía, cuentas de uso de tierra, cuentas de agua o cuenta de residuos, pueden ser combinados con la Contabilidad Nacional en un sistema de contabilidad integrada. Esta combinación entre cuentas en términos físicos y cuentas en unidades monetarias nos conduce a un sistema de contabilidad híbrida, denominada así en el SEEA2003, acrónimo de System of integrated Environmental and Economic Accounting¹³. En este sentido, una de las aportaciones metodológicas más relevantes para avanzar en la relación entre economía y presión ambiental es el sistema NAMEA¹⁴, acrónimo de National Accounting Matrix including Environmental Accounts, desarrollado originalmente en los años noventa en los Países Bajos. Este sistema responde a las peticiones anteriores puesto que mantiene la estructura convencional con la matriz original de contabilidad nacional (dígase las tablas input-output de uso y destino así como las simétricas). En este proceso se amplía esta última para incorporar, en términos físicos, las relaciones con el medio ambiente en forma de daños, recursos y servicios ambientales y variación del patrimonio natural, fruto de las actividades económicas. Como se ha señalado en la sección anterior, este esquema se corresponde con el marco contable de las PIOT.

En Alcántara (2003) puede encontrarse una amplia explicación sobre un proyecto de aplicación del sistema NAMEA a Cataluña. En el mismo documento se cita una gran cantidad de literatura muy fructífera en este sentido.

¹³ Revisión de la primera guía original publicada en 1993 por las Naciones Unidas sobre la formulación conceptual y metodológica de un sistema de contabilidad ambiental y económico integrado, en este primer desarrollo dieron cierta prioridad a la valoración monetaria.

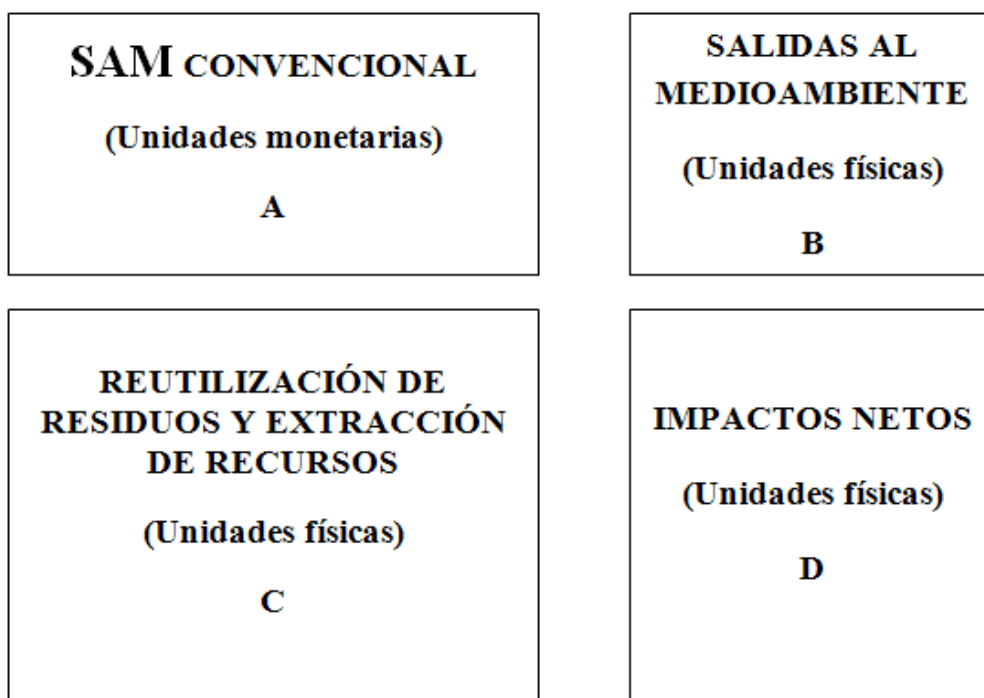
La versión final del Handbook of National Accounting-Integrated Environmental and Economic Accounting 2003 está disponible en:

<http://unstats.un.org/unsd/envAccounting/seea2003.pdf>

¹⁴ Para una información más extensa sobre el esquema NAMEA ver European Commission (2001), Eurostat (2009), Haan y Keuning (1996) y Simon y Proops (2000)

El siguiente cuadro esquematiza la estructura del sistema contable NAMEA:

Cuadro 2.1. Estructura del sistema contable NAMEA



Fuente: Elaboración propia

La estructura consiste en añadir a la matriz de contabilidad social¹⁵(A), expresada en unidades monetarias, dos matrices adicionales (B y C), que recogen en términos físicos las relaciones, ya comentadas, entre el sistema económico y el medio ambiente, dando como resultado una cuarta matriz que refleja el impacto neto en la naturaleza (matriz D). Esta última matriz es de gran importancia en tanto que nos permite aproximarnos al conocimiento del estado del patrimonio natural. El estudio de este esquema nos provee de contenido para la configuración de ciertos indicadores y nos permite analizar la eficacia de las políticas ambientales.

Por lo tanto, la base del sistema NAMEA es la ampliación a partir del conjunto de cuentas nacionales (NAM), formadas principalmente por las tablas input-output, con la integración de la variada información aportada por las cuentas ambientales (EA). En la actualidad, los datos más frecuentes incorporados a este esquema son principalmente datos sobre emisiones atmosféricas, aguas residuales, residuos y uso y producción de energía. Este trabajo se centrará únicamente en la realización del esquema NAMEA

¹⁵ SAM por sus siglas en inglés de Social Accounting Matrix.

aplicado al aire, en el que se presentará las emisiones atmosféricas de distintos gases contaminantes clasificados por rama productiva en función de la estimación de su emisión directa. Complementariamente, se estimarán algunos de los impactos ambientales más importantes que derivan de estos datos físicos. Por lo tanto, es una parte limitada de la relación entre la economía como sistema abierto y el espacio natural. En definitiva, el trabajo se centra en las salidas al medio ambiente (matriz B) y algunos de sus correspondientes impactos (matriz D) causados por proceso económico. En la siguiente tabla puede visualizarse como quedará el resultado del proceso de asignación de las emisiones.

Tabla 2.2. Asignación sectorial de las emisiones atmosféricas

Emisiones a la atmósfera			
	Acidificadores, precursores de ozono y gases de efecto invernadero	Metales pesados	Contaminantes orgánicos persistentes
Sectores económicos	Tipo de contaminante	Tipo de contaminante	Tipo de contaminante
1			
2			
3			
...			
...			
...			
n			
Total			

Fuente: Idescat (2009)

Como ya se ha señalado, de la misma forma que el medio ambiente provee de materia y energía al sistema económico, en su papel de receptora de residuos, la naturaleza, de acuerdo a su ritmo biogeoquímico, absorbe y recicla una cantidad de estos gases, como por ejemplo las emisiones de dióxido de carbono absorbida por los bosques. Este aspecto vendría recogido dentro de la cuenta de emisiones de un sistema NAMEA completo, aunque no se ha podido incluir en el presente trabajo. Este es un asunto importante que debe tenerse en cuenta en los análisis de impacto ambiental neto y en las decisiones de política ambiental. Por ejemplo, en el reparto territorial de los derechos de emisión debe valorarse la contribución de cada región a la eliminación de gases de efecto invernadero. Cataluña, en este sentido, juega un papel significativo, por lo que se convierte en una seria opción a tenerse en cuenta en futuros trabajos.

La elección de este esquema como metodología para el tratamiento de la información responde principalmente a la necesidad de concordancia con el marco metodológico de referencia en el ámbito de la Unión Europea, y por lo tanto dentro del Estado español. Debe valorarse que, desde una perspectiva técnica, el esquema NAMEA ofrece la posibilidad de integrar en una misma contabilidad las actividades económicas y sus relaciones con el medio ambiente como un sistema abierto y no circular. Responde de esta manera, al menos teóricamente, a numerosas reclamaciones en este sentido, especialmente desde el campo de la economía ecológica. Por lo tanto, conviene insistir en que el sistema NAMEA no es únicamente un marco contable, sino que forma una estructura base para el estudio de las relaciones entre la economía y el medio ambiente.

2.4.2 Esquema NAMEA aplicado al aire para Cataluña

La cuenta de emisiones atmosféricas dentro del esquema NAMEA es la más desarrollada actualmente y constituyó la primera experiencia piloto en el ámbito de la Unión Europea (European Commission, 2001). Sobre la base de estas primeras experiencias y la toma como referencia de la elaboración para España por parte del INE (Instituto Nacional de Estadística) de las cuentas satélite de emisiones atmosféricas de acuerdo al NAMEA, se confeccionó para Cataluña su contabilidad satélite análoga del aire para el año 2001 (INE, 2011). Información publicada por el Institut d'Estadística de Catalunya (Idescat, 2009)¹⁶.

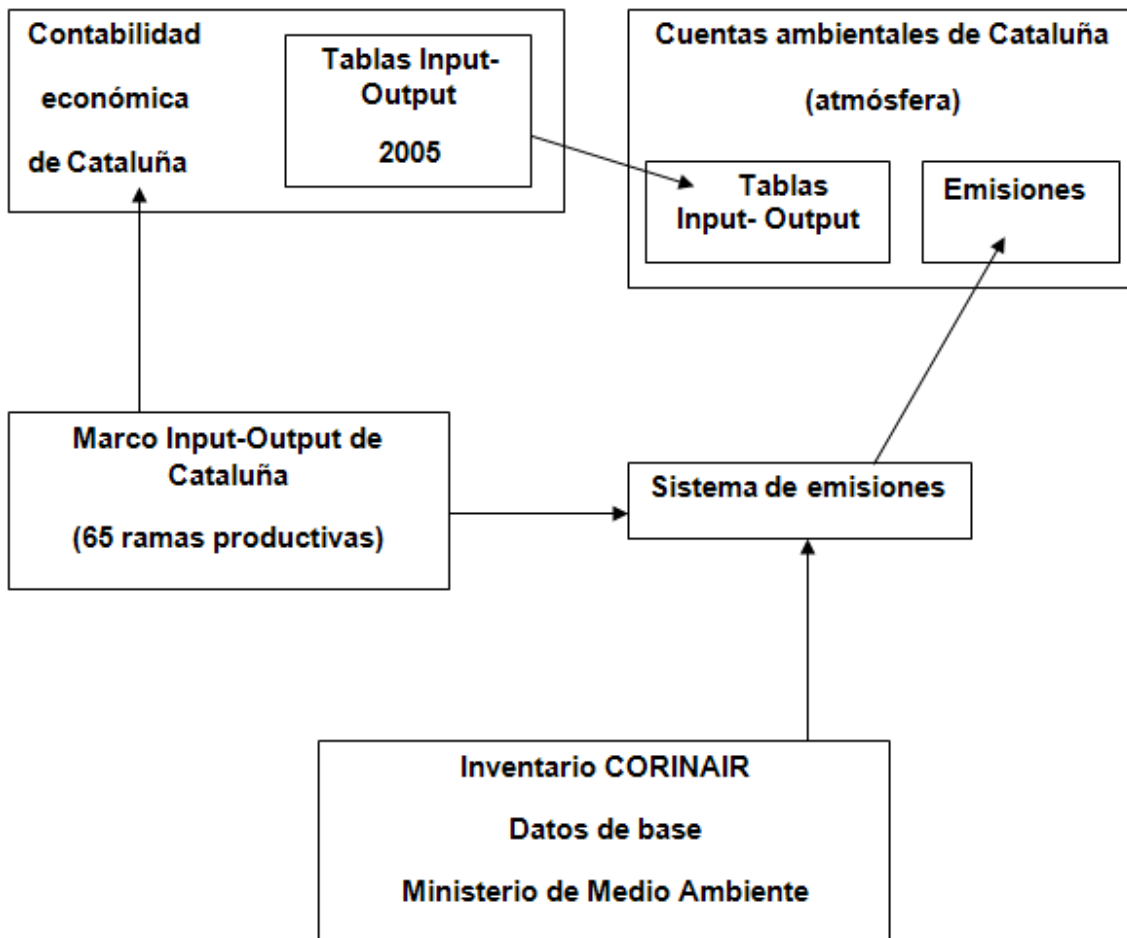
Para la realización de las cuentas atmosféricas de Cataluña en el marco del sistema NAMEA para el año 2005, me he nutrido de estas experiencias como base práctica para su elaboración, pero con una revisión completa de los diferentes criterios metodológicos utilizados en estos proyectos de acuerdo al manual para las cuentas atmosféricas publicado por el Eurostat (Eurostat, 2009). Este manual aporta varias mejoras metodológicas, principalmente en cuanto a los procesos de asignación de emisiones por sector productivo.

En el siguiente cuadro se muestra gráficamente, de forma más detallada, el proceso de construcción de las cuentas de emisiones atmosféricas clasificadas por la

¹⁶Recurso electrónico disponible en:
<http://www.idescat.cat/cat/idescat/publicacions/cataleg/pdfdocs/csea2001.pdf>

emisión directa correspondiente a cada sector productivo de acuerdo al esquema NAMEA .

Cuadro 2.2. Proceso de integración medio ambiente - economía al marco del sistema NAMEA



Fuente: Idescat (2009)

La fuente de información base para la elaboración de las cuentas atmosféricas para Cataluña es el inventario CORINAIR (CORe INventory AIR emissions), que publica el Ministerio de Medio Ambiente a nivel estatal procediendo posteriormente a su regionalización. Este inventario realiza la estimación de las emisiones atmosféricas clasificadas por procesos de producción y de combustión de acuerdo a la clasificación SNAP97 (Selected Nomenclature for sources of Air Pollution), y no por ramas productivas¹⁷. El objetivo es obtener una información estructurada, de acuerdo al esquema NAMEA, que integre en la contabilidad económica las relaciones con el medio

¹⁷ Véase en Idescat (2009) la estructura completa del inventario CORINAIR.

ambiente. Para esto, es necesario imputar a las diferentes ramas productivas que siguen la clasificación de las Tablas Input Output de Cataluña (TIOC), publicadas por el Idescat para el 2005¹⁸, así como al sector hogares, las emisiones correspondientes a los diferentes procesos SNAP (Idescat, 2011). Aunque algunas de las categorías SNAP del CORINAIR pueden ser fácilmente asignables a las actividades productivas, otras presentan problemas y requieren de estimaciones complementarias. Para éstas debe utilizarse diferentes criterios de asignación que más adelante se explicarán.

El inventario CORINAIR proporciona la información de las emisiones de gases contaminantes por procesos de combustión y producción¹⁹, clasificadas por tipo de contaminante, tales como:

Tabla 2.3. Contaminantes atmosféricos incluidos en el inventario CORINAIR

Tipos de contaminante

ACIDIFICADORES, PRECURSORES DE OZONO Y GASES DE EFECTO INVERNADERO:

SO_x(t) ; NO_x(t) ; COVNM (t) ; CH₄ (t) ; CO (t) ; CO₂ (kt) ; N₂O(t) ; NH₃(t) ; SF₆(kg) y HFC(kg)

METALES PESADOS:

As (kg) ; Cd (kg) ; Cr (kg) ; Cu (kg) ; Hg (kg) ; Ni (kg) ; Pb (kg) ; Se (kg) y Zn (kg)

CONTAMINANTES ORGÁNICOS PERSISTENTES:

HCH (kg) ; PCP (kg) ; HCB (kg) ; TCM (kg) ; TRI (kg) ; PER (kg) ; TCB (kg); TCE(kg) ; DIOX (g) y HAP (kg)

Fuente: Elaboración propia

En este capítulo únicamente se trabajará con la información que concierne a los acidificadores, precursores de ozono y gases de efecto invernadero. No obstante, es necesario mencionar que el esquema NAMEA requiere la consideración de la máxima cantidad de tipo de gases contaminantes emitidos, susceptibles de ser utilizados en la

¹⁸ Estas TIOC se encuentran desagregadas en 65 sectores productivos con correspondencia directa con el sistema español CNAE-93 y el europeo NACE rev.1.1 que se toma como base para el sistema NAMEA.

¹⁹ En Idescat (2009) se muestra la clasificación del CORINAIR completa.

configuración de indicadores medioambientales que traten de estimar la presión de las actividades económicas en el medio ambiente.

2.4.3 Paso del inventario CORINAIR al NAMEA

2.4.3.1 Proceso de asignación del inventario CORINAIR al NAMEA

Las cuentas ambientales del aire de una economía, de acuerdo al esquema NAMEA, estarán expresadas en una tabla en la que se mostrarán la emisión directa por rama productiva de cada gas contaminante. Como se ha comentado, el problema reside en que la información base disponible (inventario CORINAIR) clasifica dichas emisiones por procesos productivos y de combustión, y no por sectores productivos. Podrían considerarse otros procedimientos alternativos al CORINAIR para la obtención de esta información, como la utilización de los balances energéticos y los factores de emisión, no obstante, con este procedimiento se perdería mucha información y obligaría a trabajar con un nivel de desagregación sectorial inferior.

El grueso del trabajo se encuentra en la asignación de las emisiones del inventario CORINAIR clasificadas por procesos SNAP97 a las diferentes ramas productivas que requiere el marco contable del NAMEA. En primera instancia, estas actividades económicas seguirán la clasificación europea NACE rev 1.1., con correspondencia directa con la clasificación sectorial nacional utilizada para este trabajo CNAE93. Para esta clasificación existe también correspondencia directa con las de las Tablas Input-Output (TIO) de España y Cataluña.

Como se ha señalado anteriormente, algunas de las categorías SNAP pueden asignarse directamente a las ramas de actividades NACE rev.1.1., sin embargo, otros procesos presentan problemas de asignación. El principal problema que se advierte es el de la distribución de las emisiones directas de gases contaminantes por parte determinados procesos de producción o combustión entre las actividades económicas NAMEA a las que estos procesos se corresponden. Los criterios de distribución varían en función del proceso y de la información de la que se dispone. De acuerdo al manual de cuentas ambientales publicado por el Eurostat y a la metodología utilizada por el INE, se han seguido una serie de criterios metodológicos para esta distribución, algunos de ellos se explican a continuación.

En esta tarea ha sido de gran ayuda la utilización de las Tablas Input Output de Cataluña para el 2005 al máximo nivel de desagregación (65 ramas productivas). Para aquellos procesos cuyas emisiones deben imputarse entre diferentes ramas productivas de acuerdo a su estructura de inputs, el consumo de éstos ha determinado el criterio de repartición de dichas emisiones, tal y como se indica en Eurostat (2009). Es por lo tanto evidente la utilidad de las TIO para este proceso.

A continuación, se presentan algunos ejemplos en los que la asignación ha requerido de un criterio metodológico y/o el apoyo de otras fuentes estadísticas²⁰.

Por un lado, un proceso en el que se ha utilizado su estructura de inputs para la asignación de las emisiones, es el correspondiente al código SNAP97 “06 04 05” “*Aplicación de colas y adhesivos*”, con cierta importancia en la emisión de COVNM. En este caso se ha seguido el criterio utilizado por el INE y el Eurostat para su asignación entre las ramas productivas con código NACE Rev1.1. : 19 , 22 , 26 , 36 y 45 ; de acuerdo al consumo de “Otros productos químicos” (clasificación de productos CNPA 96 para las Tablas Input Output de Origen y Destino españolas). Recordemos que la correspondencia de la clasificación NACE con las de las TIOC son prácticamente directas y no plantean ningún problema excepcional.

Por otro lado, un ejemplo en cuanto al uso de otras fuentes estadísticas son las tablas de tratamiento de aguas residuales en la industria (Estadísticas de Medio Ambiente Estadísticas del Agua, 1999), publicadas por el INE también a nivel autonómico. Éstas han sido utilizadas para el reparto de las emisiones del proceso SNAP “09 10 01” “*Tratamiento de aguas residuales en la industria*”, acorde, de esta manera, al criterio empleado por el INE.

Uno de los puntos clave de este trabajo es la distribución de las emisiones correspondientes a los procesos de combustión SNAP “02 01” y “03 01”, “*Plantas de combustión comercial e institucional*” y “*Calderas de combustión industrial*”, respectivamente. Una gran parte de las emisiones de GEI (Gases de Efecto Invernadero) se clasifican en estos procesos, por lo que su correcta asignación es clave. Siguiendo las indicaciones del Eurostat y las aplicaciones del INE, estas emisiones han sido asignadas a unas determinadas ramas productivas, principalmente sectores productores de

²⁰ No es objetivo de este trabajo detallar el proceso metodológico seguido en todas y cada una de las asignaciones de emisiones por rama productiva. Anteriormente se ha señalado las bases metodológicas y fuentes estadísticas que han servido para este cometido. Véase Eurostat (2009) e Idescat (2009) para una revisión completa de este proceso de asignación.

servicios en el primer caso e industriales en el segundo. Esta asignación se lleva a cabo de acuerdo al consumo de inputs energéticos consumidos por cada sector, tales como el coque, productos de refino de petróleo o gas manufacturado. Esta información está disponible en las TIOC. Sin embargo, el procedimiento requiere un paso añadido que perfila un grado más la repartición. Puesto que cada input energético conlleva una cantidad de emisión distinta por unidad homogénea usada por las plantas de combustión, la asignación de estas emisiones debe realizarse de forma proporcional a los factores de emisión de cada tipo de input energético utilizado por cada sector en el desarrollo de estos procesos SNAP. Para esta tarea tenemos que servirnos de los balances energéticos publicados por el Institut Català de l'Energia para Cataluña y de los factores de emisión por defecto de cada combustible proporcionados por el Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2006), con el objetivo de estimar el peso que representa en la generación total de emisiones atmosféricas cada input energético utilizado. Con esto eliminamos parte del ruido que se generaría al repartir las emisiones en función del consumo de diferentes combustibles fósiles, cuando no se considera que la cantidad de emisión de cada uno por unidad homogénea utilizada es diferente.

Sin lugar a dudas, el proceso cuya asignación por actividad económica resulta más trabajoso es el transporte por carretera, correspondiente al proceso SNAP 07. Por la dificultad de su asignación e importancia de las emisiones atmosféricas de efecto invernadero de este proceso en las economías actuales, este punto es determinante en cualquier contabilidad ambiental. Es al mismo tiempo el aspecto que más debate y trabajo ha suscitado. Cabe considerar que una gran parte de las emisiones de este proceso corresponden al sector de los hogares, por lo que una primera desagregación entre éstos y la actividad productiva es necesaria antes de repartir las emisiones por rama productiva. Siguiendo nuevamente las recomendaciones del INE y la guía metodológica del Eurostat (2009)²¹, la asignación de este proceso se ha realizado con la ayuda de los balances energéticos, así como otras fuentes estadísticas como los presupuestos familiares e información contenida en las TIOC.

²¹ En esta guía se muestran distintas posibilidades metodológicas para este proceso así como algunos ejemplos llevados a cabo en Europa, como es el caso de Dinamarca.

Dentro de los procesos de transporte terrestre, se encuentra el subgrupo SNAP 05 06 01- *Gaseoductos (redes de distribución de gas)*- cuyas emisiones se asignan a la actividad de Captación, potabilización y distribución de agua.

Por último, cabe mencionar que el inventario CORINAIR incluye un conjunto de emisiones de agentes no económicos no considerables en el sistema NAMEA y que, en consecuencia, deben excluirse. Estas emisiones vienen registradas en la categoría SNAP 11 “*Otras fuentes y sumideros de la naturaleza*” y no se computan como contaminación generada por la actividad económica de acuerdo nuevamente con la metodología de Eurostat (2009).

2.4.3.2 Adaptación de las TIOC-05 para la compatibilización con la estructura de las cuentas satélites

Atendiendo a la información disponible, las cuentas de contaminantes atmosféricos emitidos por la actividad productiva catalana se han clasificado en 43 sectores. Este es el nivel máximo de desagregación que permiten los datos sobre los que se ha realizado el trabajo. Una desagregación mayor implicaría la imposibilidad de asignar las emisiones de ciertos procesos o una imputación mucho menos rigurosa. En cualquier caso, es un nivel de desagregación muy aceptable para los desarrollos analíticos posteriores y para proporcionar mayor información para el diseño de políticas ambientales.

La Tabla 2.B.1 del apéndice muestra la correspondencia entre la TIOC-05, con una desagregación de 65 ramas productivas, y los 43 sectores en los que se han elaborado las cuentas de emisiones de contaminantes para el año 2005. Así, todos los resultados se presentan de acuerdo a la clasificación que muestra esta tabla.

2.4.4 Análisis de los principales resultados obtenidos sobre las cuentas satélite de emisiones atmosféricas de Cataluña en el 2005

A continuación se presentan los principales resultados del trabajo de elaboración explicado arriba y se realiza un análisis elemental derivado del marco input-output. Esta información se refleja en el conjunto de tablas y gráficos que contienen el apartado 2.C del apéndice. Cabe señalar que el propósito de este apartado es centrarse en las posibilidades que ofrecen las cuentas atmosféricas estimadas para el 2005. Por lo tanto,

el objetivo no es un análisis en profundidad de los resultados obtenidos, de manera que los comentarios sobre éstos serán breves y generales.

En la Tabla 2.C.1 y la Tabla 2.C.2 se presentan los datos resultantes del trabajo llevado a cabo, esto es, las emisiones directas generadas por la actividad productiva catalana distribuidas por sector. Puede advertirse como estas emisiones están bastante concentradas en pocos sectores. A modo de ejemplo:

- Más del 55% de las emisiones de óxido de azufre (SO_x) están concentradas en los sectores de “Coquerías, refino y combustibles nucleares” (38,10%) y “Otros productos minerales no metálicos” (17,34%).
- Más del 42% de las emisiones de óxido de nitrógeno (NO_x) se concentran en los sectores del “Transporte por carretera” (26,01%) y “Otros productos minerales no metálicos” (16,05%). Considerando las emisiones de los sectores de “Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca”; “Industrias químicas”; “Coquerías, refino y combustibles nucleares” y “Producción y distribución de energía”, casi el 80% de las emisiones de este gas se concentra en estos seis sectores.
- Las emisiones de los compuestos orgánicos volátiles no metálicos (COVNM) se concentran casi en un 40% en la “Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca”.
- En el caso de las emisiones de metano (CH_4), más del 85% se concentran en la “Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca” (48,50%) y en las “Otras actividades sociales y servicios” (37,86%), donde se encuentra la actividad de saneamiento público.
- Las emisiones de monóxido de carbono (CO), un contaminante directamente asociado al transporte de carretera, concentra en esta actividad el 56,85% de sus emisiones.
- En cuanto al dióxido de carbono (CO_2), la emisiones se concentran en sectores con un alto nivel de contaminación de otros gases: “Otros productos minerales no metálicos” (25,14%), “Transporte por carretera” (17,25%) y “Producción y distribución de energía” (16,25%).

Adicionalmente, a partir de análisis input-output, se han calculado las emisiones totales asociadas a la demanda final de cada sector. Es decir, las emisiones generadas directamente más las inducidas sobre otros sectores de acuerdo a las relaciones intersectoriales existentes en la economía. La Tabla 2.C.3 muestra las emisiones totales, directas e indirectas, imputables a las distintas ramas productivas. La Tabla 2.C.4 indica la distribución sectorial de estas emisiones en porcentaje sobre el total.

Es fácil de entender como aquellos sectores con fuertes efectos de arrastre sobre el resto de la economía aumentan significativamente su peso en la emisión total de cada tipo de contaminante. Los sectores de servicios finales son un ejemplo característico de este hecho. El efecto inverso se produce en aquellas ramas cuyo output es utilizado principalmente por otros sectores en su proceso productivo. Sin embargo, este proceso no se sucede de forma uniforme para todos los gases contaminantes. La cantidad de emisiones incorporadas en los inputs utilizados variará de un contaminante a otro y, en consecuencia, el potencial de arrastre de cada sector en términos de cada gas. Por ejemplo, en el caso del metano, el aumento relativo del peso del sector “Industrias de alimentación, bebidas y tabaco” es muy superior al que se produce en la mayor parte del resto de gases. Esto es debido a la importancia de los inputs procedentes de la “Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca”.

Los multiplicadores input-output sectoriales que refleja la Tabla 2.C.5 refuerzan el potencial explicativo de este análisis. Estos multiplicadores evalúan la emisión total asociada a la demanda final de cada sector respecto a su emisión directa. Son, por lo tanto, un indicador del potencial de inducción de cada sector sobre el total de la estructura económica. En el capítulo 5 se abordará en profundidad este campo del análisis input-output.

Asimismo, se han calculado los coeficientes directos de emisión de cada sector. Éstos vienen recogidos en la Tabla 2.C.6. Para este caso, estos coeficientes se han calculado como el cociente entre la emisión directa de cada rama productiva y su output doméstico, recogido en la TIOC interior. Este indicador expresa la intensidad de emisión directa relacionada con cada actividad económica, un dato que es vital tenerlo en cuenta en los análisis de impactos sectoriales.

Finalmente, una aplicación de la metodología input-output permite distribuir las emisiones de cada gas contaminante de acuerdo a la responsabilidad asociada a cada

tipo de demanda final. Desde una perspectiva macroeconómica, la demanda final puede desagregarse en Consumo de los hogares, Consumo administraciones públicas y ONGs, Formación bruta de capital, Exportaciones al resto de España y Exportaciones al extranjero. Los resultados de este análisis se presentan en la Tabla 2.C.7 y el Gráfico 2.C.1. Lógicamente, el destino final del output de cada actividad y su relevancia en la emisión de cada contaminante determinará la responsabilidad de cada tipo de demanda final para cada gas. En cualquier caso, puede advertirse el peso que adquieren las exportaciones y, en un mayor grado, aquellas que tienen como destino la demanda final del resto de España. Esto pone de manifiesto la necesidad de un análisis que integre la variable del comercio en el estudio de la responsabilidad interregional, tal y como se lleva a cabo en el Capítulo 4.

2.4.5 Elaboración y análisis de los indicadores ambientales

En el análisis descriptivo de la contaminación atmosférica de Catalunya se ha considerado interesante estimar algunos de los indicadores ambientales más importantes relacionados con las cuentas atmosféricas calculadas. Estos indicadores se incluirían en el apartado de impactos ambientales en la elaboración completa de la matriz NAMEA para Cataluña, es decir en la cuenta o matriz “D” de impactos.

Las emisiones contaminantes que forman las cuentas físicas presentadas hasta el momento tienen distintos efectos sobre el medio ambiente. En función del tipo de impacto provocado, estos efectos se clasifican en distintos indicadores ambientales con el objetivo de obtener una información catalogada que permita evaluar la presión de la actividad humana sobre el medio ambiente. De esta manera, los gases de efecto invernadero, gases acidificadores y precursores de ozono están asociados con el calentamiento global, con lluvia ácida y con la formación de ozono troposférico respectivamente.

En este sentido, deben establecerse las equivalencias que permitan determinar el potencial de impacto en el medio natural. Esto requiere la conversión de cada uno de los contaminantes que intervienen en cada indicador a una unidad común, haciendo posible su agregación y la obtención de un valor de impacto. Cabe mencionar que en la cuenta o matriz de impactos del sistema NAMEA la cuestión no se centra en la emisión total si no es su potencial de incidencia sobre el capital natural.

A continuación se presenta la metodología de estimación de los indicadores de impactos medioambientales mencionados arriba, los principales resultados de los cuales se muestran en el apartado 2.D del apéndice. Así, en la Tabla 2.D.1 y la Tabla 2.D.2 se indican respectivamente las emisiones directas y totales (directas más indirectas) para cada indicador ambiental. Seguidamente, en la Tabla 2.D.3 se muestran sus coeficientes directos de emisión. La contribución de cada gas contaminante a cada indicador de impacto ambiental viene reflejada en la Tabla 2.D.4 y el Gráfico 2.D.1. Y, por último, la distribución de cada impacto asociado a cada tipo de demanda final se muestra en la Tabla 2.D.5 y el Gráfico 2.D.2.

2.4.5.1 Gases de efecto invernadero

Son los causantes del efecto invernadero y se corresponden con la cantidad de dióxido de carbono emitido a la atmósfera en unidades equivalentes. Los gases que contribuyen a este efecto son el dióxido de carbono (CO₂), el monóxido de carbono (CO), el metano (CH₄), el monóxido de nitrógeno (N₂O), los compuestos hidrogenofluorcarbonados (HFC), los compuestos polifluorcarbonados (PFC) y el hexafluoruro de azufre (SF₆).

La conversión de los distintos gases de efecto invernadero en toneladas de CO₂ equivalente se efectúa a través de los coeficientes del potencial de calentamiento global sobre 100 años (GWP₁₀₀)²². Estas medidas se definieron en el Panel Internacional sobre el Cambio Climático en 1995 (IPCC, de sus siglas en inglés)²³. Es, sin lugar a dudas, uno de los efectos más importantes de la actividad humana sobre el medio ambiente. La tabla siguiente presenta los factores de calentamiento global para cada gas utilizados para calcular los índices del efecto invernadero.

Tabla 2.4. Factores de calentamiento global (GWP₁₀₀) en toneladas de CO₂ equivalente

Gases de efecto invernadero	Factores de GWP100
CO ₂	1
CH ₄	21
N ₂ O	310
SF ₆	23.900
HFC	140-1.800
PFC	4.500-6.200

Fuente: IPCC (2006)

²² Global Warming Potential

²³ Ver IPCC (2006)

Para el caso de los gases en los que su factor de calentamiento viene dado por un rango se ha utilizado el valor más bajo de acuerdo con el criterio seguido en las cuentas de Cataluña para el 2001. Asimismo, no se consideran los compuestos polifluorcarbonados ya que no se han imputado emisiones de este gas en la elaboración de estas cuentas. Lógicamente, el gas más importante en este impacto ambiental es el CO₂, de hecho más del 80% de las emisiones de este indicador vienen explicadas por las emisiones de este contaminante. Por esta razón, el análisis de los resultados del efecto invernadero se asemejan mucho a los del dióxido de carbono. No obstante, en el primero adquieren una mayor importancia los sectores de la “Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca” y las “Industrias de alimentación, bebidas y tabaco” en cuanto a las emisiones directas y totales respectivamente. Esto es consecuencia de su relevancia en la emisión de metano y monóxido de nitrógeno, cuyas emisiones explican el 19% de este indicador. En el Capítulo 3 se profundizará en el estudio del impacto de estas actividades en términos de emisiones de metano.

2.4.5.2 Lluvia ácida

Se corresponde con la contribución de distintos gases contaminantes al efecto acidificador. Los principales gases causantes de la lluvia ácida son los óxidos de azufre (SO₂), los óxidos de nitrógeno (NO_x) y el amoníaco (NH₃). Cada uno de ellos contribuye en mayor o menor medida a la acidificación en función del número máximo de protones producidos por kilogramo de sustancia emitida (Idescat, 2009). El peso de cada contaminante en este impacto está repartido de forma mucho más equitativa al del efecto invernadero.

Tabla 2.5. Factores de acidificación para los diferentes gases acidificantes en toneladas equivalentes de SO₂

Gases que contribuyen a la lluvia ácida	Factor de potencial de acidificación
SO ₂	1/32
NO _x	1/46
NH ₃	1/17

Fuente: Idescat (2009)

La importancia del amoníaco en la formación de la lluvia ácida y la gran cantidad de emisiones generadas por la “Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca”, hacen que una gran parte de este impacto se concentre en este sector y en las “Industrias

de alimentación, bebidas y tabaco” debido a los efectos de arrastre de ésta sobre la primera.

2.4.5.3 Precursor de ozono

Refleja las tendencias de las emisiones antropogénicas de los precursores de ozono. Este tipo de impacto viene determinado por la presencia de ozono en la atmósfera. Los gases precursores de ozono son: el óxido de nitrógeno (NO_x), el monóxido de carbono (CO), el metano (CH₄) y los compuestos orgánicos volátiles no metálicos (COVNM). Con el objetivo de evaluar la contribución de cada gas a la formación de ozono, se mide el potencial de cada contaminante en toneladas equivalentes de COVNM a través de los factores expresados en la tabla siguiente:

Tabla 2.6. Factores de impacto de los gases precursores de ozono en toneladas equivalentes de COVNM

Gases precursores de ozono	Factor de impacto
COVNM	1
NO _x	1,22
CO	0,11
CH ₄	0

Fuente: IECA(2008)

Los contaminantes que forman este impacto se concentran en un 95,5% en la emisión de los COVNM (56,7%) y el NO_x (38,8%). Esto tiene como consecuencia que los sectores que contribuyen en mayor medida a la formación de ozono sean la “Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca” (27,2%), el “Transporte por carretera” (15,4%) y las “Industrias químicas” (10,5%).

2.5 Bibliografía

- Alcántara, V. (1995). *Economía y contaminación atmosférica: hacia un nuevo enfoque desde el análisis input-output*. Tesis doctoral. Barcelona: Universidad Autónoma de Barcelona.
- Alcántara, V. (2003). *Propuesta de cuentas ambientales para Cataluña*. Barcelona: Generalitat de Catalunya. Departament de medi ambient. Disponible en: <http://biblio.idescat.cat/docs/docest/cs-mediambient.pdf>.
- Alier, J.M. y Roca, J. (2001). *Economía Ecológica y Política Ambiental*. México, D.F.: Fondo de Cultura Económica.
- Baumol, W.J. (2000). “Leontief’s Great Leap Forward: Beyond Quesnay, Marx and von Bortkiewicz”. *Economic Systems Research*, 12(2), pp.141–152.
- Duchin, F. y Steenge, A. (2007). “Mathematical Models in Input-output Economics”. Rensselaer Working Papers in Economics, n° 0703. Disponible en: <http://www.economics.rpi.edu/workingpapers/rpi0703.pdf>.
- European Commission (2001). *NAMEAs for air emissions: results of pilot studies 2001*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.
- Eurostat (2009). *Manual for Air Emissions Accounts, European Communities*. Luxembourg: European Commission. Disponible en: http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/product_details/publicationp_product_code=KS-RA-09-004 [Accedido septiembre 27, 2011].
- Haan, M. y Keuning, S.J. (1996). “Taking the Environment into Account: The Namea Approach”. *Review of Income and Wealth*, 42(2), pp.131–148.
- Hawkins, D. y Simon, H. (1949). “Note: Some Conditions of Macroeconomic Stability”. *Econometrica*, 17(3/4), pp.245–248.
- Hoekstra, R. (2003). *Economic Growth, Material Flows And the Environment: New Applications of Structural Decomposition Analysis And Physical Input-Output Tables*. Edward Elgar Publishing.
- Idescat (2009). *El compte satèl·lit de les emissions atmosfèriques a Catalunya 2001*, Barcelona: Generalitat de Catalunya. Barcelona: Institut d’Estadística de Catalunya. Disponible en: <http://www.idescat.cat/cat/idescat/publicacions/catalog/pdfdocs/csea2001.pdf>.

- Idescat (2011). *Taules Input-Output de Catalunya 2005*. Barcelona: Institut d'Estadística de Catalunya. Disponible en: www.idescat.cat [Accedido octubre 3, 2011].
- IECA (2008). *23042 Inventario de Emisiones de Contaminantes a la Atmósfera*. Instituto de Estadística de Andalucía. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Ed. IECA, Andalucía.
- INE (2011). *Cuentas satélite sobre emisiones atmosféricas. Serie 1995-2008*. Madrid: Instituto Nacional de Estadística. Disponible en: <http://www.ine.es> [Accedido junio 20, 2011].
- IPCC (2006). *2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories*. Hayama: Intergovernmental Panel on Climate Change, Institute for Global Environmental Strategies,.
- Leontief, W. (1936). "Quantitative Input and Output Relations in the Economic Systems of the United States". *The Review of Economics and Statistics*, 18(3), pp.105–125.
- Leontief, W. (1941). *The structure of American economy, 1919-1939: an empirical application of equilibrium analysis*. Harvard University Press, Cambridge MA.
- Leontief, W. (1970). "Environmental Repercussions and the Economic Structure: An Input-Output Approach". *The Review of Economics and Statistics*, 52(3), pp.262–271.
- Leontief, W. y Ford, D. (1972). *Air Pollution and Economic Structure: Empirical Results of Input-Output Computations*. En Andrew Bródy and Anne P. Carter (eds) *Input-Output Techniques*, Amsterdam: North-Holland, pp. 9–33.
- Miller, R.E. y Blair, P.D. (2009). *Input-Output Analysis: Foundations and Extensions*. 2.a ed. Cambridge University Press.
- Moore, F. (1955). "Regional economic reaction paths". *Papers in Regional Science*, 1(1), pp.107–110.
- Serrano, M. (2008). *Economic Activity and Atmospheric Pollution in Spain: An Input-Output Approach*. Tesis doctoral. Barcelona: Universitat de Barcelona. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10803/2883>.
- Simon, S. y Proops, J. (2000). *Greening the accounts*. Cheltenham: Edward Elgar.
- Suh, S. (2010). *Handbook of Input-Output Economics in Industrial Ecology*. Saint Paul, USA: Springer.
- United Nations (1999). *Handbook Input-Output Table Compilation and Analysis*. New York, United Nations. Disponible en: http://unstats.un.org/unsd/publication/SeriesF/SeriesF_74E.pdf

Vegara, J.M. (1979). *Economía política y modelos multisectoriales*. Madrid: Tecnos.

Wiedmann, T. (2009). “Editorial: Carbon footprint and input-output analysis: an introduction”. *Economic Systems Research*, 21(3), pp.175–186.

Apéndice

2.A. Soluciones económicamente significativas en los modelos IO

Existen distintas formas de abordar el problema de las soluciones económicamente significativas, la primera fue formulada en Hawkins y Simon (1949) donde los autores utilizaron la teoría de determinantes de las matrices. En este apartado se analizará brevemente el problema desde un punto de vista económico y a través de los valores propios de la matriz tecnológica **A**. Tal y como indica Vegara (1979), son un instrumento más potente que los determinantes de la matriz. Véase también Duchin y Steenge (2007) para un estudio más completo de las implicaciones de las distintas propiedades matemáticas y teóricas de las matrices no-negativas en los modelos IO.

Una economía, cuya producción sectorial viene representada por:

$$\begin{aligned}x_1 &= (a_{11}x_1 + a_{12}x_2) \\x_2 &= (a_{21}x_1 + a_{22}x_2)\end{aligned}\tag{2.A.1}$$

de manera que, en forma matricial:

$$\mathbf{x} = \mathbf{Ax}\tag{2.A.2}$$

no será viable puesto que no se produce un excedente en la economía. Todo lo producido es consumido por el sistema productivo en forma de inputs. Por lo tanto, para que se produzca un excedente en la producción, es necesario que ésta se superior al consumo de inputs requeridos:

$$\mathbf{x} \geq \mathbf{Ax}\tag{2.A.3}$$

con $\mathbf{x} \geq \mathbf{0}$ para que la solución tenga significado económico²⁴. En otras palabras, se está garantizando que la demanda final del sistema económico sea no nula, puesto que en al menos un sector se producirá un excedente. Bajo estas condiciones se dice que **A** es productiva (Vegara, 1979). Cabe señalar que la elaboración de **A** a través de la

²⁴ El símbolo \geq indica que cada elemento de la matriz de la izquierda es mayor o igual al correspondiente de la derecha, y que en alguna inecuación se cumple como desigualdad estricta.

información de las TIO hace que ésta sea una matriz cuadrada no negativa, lo que se presenta también como una condición necesaria para la viabilidad del modelo.

Ahora hay que establecer una condición necesaria y suficiente para \mathbf{A} sea productiva²⁵. Tal y como Vegara (1979), esta condición simplemente es que \mathbf{A} posea valor propio máximo inferior a 1 y superior a 0: $0 < \lambda^* < 1$.

Suficiencia de la condición: Siendo \mathbf{A} no negativa e indescomponible, puede escribirse $\mathbf{Ax}^* = \lambda^* \mathbf{x}^*$ con $\mathbf{x}^* \gg \mathbf{0}$, pero como $0 < \lambda^* < 1$, se cumple que $\mathbf{x}^* \gg \mathbf{Ax}^*$, lo que representa una desigualdad más fuerte que (2.A.3)²⁶.

Condición de necesidad: Si $\mathbf{x} \geq \mathbf{Ax}$ e $\mathbf{x} \geq \mathbf{0}$, existe un vector $\mathbf{x} \geq \mathbf{0}$ tal que $\mathbf{1x} \geq \mathbf{Ax}$, lo que, de acuerdo a las propiedades de las matrices cuadradas no negativas, tiene como consecuencia que $0 < \lambda^* < 1$.

Ahora, volviendo al modelo IO, para que $\mathbf{x} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}\mathbf{y}$ tenga significado económico se requiere que $(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}$ exista y sea positiva. Si se cumplen las condiciones expuestas, esto es que \mathbf{A} sea no negativa, indescomponible y productiva, entonces la matriz inversa de Leontief será positiva; $(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \gg \mathbf{0}$; sí y sólo sí, $0 < \lambda^* < 1$. En el caso de las matrices cuadradas no negativas descomponibles esta condición sólo garantiza que la inversa de Leontief sea semi-positiva²⁷.

²⁵ El planteamiento se realiza suponiendo que \mathbf{A} es una matriz cuadrada no negativa indescomponible. Las propiedades respecto a las descomponibles presentan ligeras diferencias.

²⁶ \gg refleja desigualdad estricta en todos los valores.

²⁷ Las propiedades expuestas aquí tienen también interesantes implicaciones económicas que aquí no se desarrollarán. Véase Serrano (2008) para un riguroso resumen de estas interesantes implicaciones.

2.B. Sectorización realizada de las TIOC-05

Tabla 2.B.1. Correspondencia entre la asignación sectorial de emisiones y la clasificación TIOC

Sectores productivos		Sectores TIOC 65	Código
1	Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca	Agricultura, ramaderia, caça i serveis relacionats	01
		Silvicultura, explotació forestal i serveis relacionats	02
		Pesca, aqüicultura i serveis relacionats	03
2	Extracción de productos energéticos	Extracció de productes energètics	04
3	Extracción de otros minerales	Extracció d'altres minerals (excepte els productes energètics)	05
4	Industrias de alimentación, bebidas i tabaco	Indústries càrnies	06
		Indústries d'altres productes alimentaris i tabac	07
		Indústries làcties	08
		Elaboració de begudes	09
5	Industrias textiles	Indústries tèxtils	10
6	Industria de la confección y la peletería	Indústries de la confecció i de la pelleteria	11
7	Industrias del cuero y del calzado	Indústries del cuir i del calçat	12
8	Industria de la madera y el corcho	Indústries de la fusta i del suro; cistelleria i esparteria	13
9	Industrias del papel	Indústries del paper	14
10	Edición y artes gráficas	Edició, arts gràfiques i reproducció de suports enregistrats	15
11	Coquerías, refino y combustibles nucleares	Refinació de petroli i tractament de combustibles nuclears	16
12	Industrias químicas	Indústries químiques	17
13	Industria del caucho y materias plásticas	Fabricació de productes de cautxú i matèries plàstiques	18
14	Otros productos minerales no metálicos	Fabricació de vidre i productes de vidre	19
		Fabricació de productes ceràmics, rajoles, per a la construcció	20
		Fabricació de ciment, calç i guix	21
		Fabricació d'elements de formigó, guix i ciment; ind. de la pedra	22
15	Metalurgia	Metal·lúrgia	23
16	Productos metálicos (ex. maq. i equipos)	Fabricació de productes metàl·lics (excepte maquinària i equips)	24
17	Maquinaria y equipo mecánico	Indústries de la construcció de maquinària i equips mecànics	25
18	Máquinas de oficina y equipos informáticos	Fabricació de màquines d'oficina i equips informàtics	26
19	Fabricación de maquinaria y materiales eléctricos	Fabricació de maquinària i materials elèctrics	27
20	Material electrónico	Fabricació de mat. electrònics i equips de ràdio, tv i comunicacions	28
21	Instrumentos médico-quirúrgicos y de precisión	Fabricació d'equips medicoquirúrgics, de precisió, òptica i rellotgeria	29
22	Vehículos de motor y remolques	Fabricació de vehicles de motor, remolcs i semiremolcs	30
23	Otro material de transporte	Fabricació d'altres materials de transport	31
24	Muebles y otras industrias manufactureras	Fabricació de mobles; altres indústries manufactureres	32
25	Reciclaje	Reciclatge	33
26	Producción y distribución de energía	Producció i distribució d'energia elèctrica	34
		Producció i distribució de gas, vapor i aigua calenta	35
27	Captación, potabilización y distribución de agua	Captació, potabilització i distribució d'aigua	36
28	Construcción	Construcció	37
29	Servicios al comercio, vehículos y reparación	Venda, manteniment i reparació de vehicles de motor	38
		Comerç a l'engròs i intermediaris (excepte vehicles de motor)	39
		Comerç al detall (excepte vehicles de motor); reparacions	40
30	Hostelería	Hotels, càmpings i altres tipus d'allotjament	41
		Restaurants, establiments de begudes, menjadors col·lectius	42
		Activitats d'agències de viatges i operadors turístics	48
31	Transporte Marítimo	Transport marítim, de cabotatge i per vies interiors	45
32	Transporte por Ferrocarril	Transport per ferrocarril	43
33	Transporte aéreo y espacial	Transport aeri i espacial	46
34	Transporte por carretera	Altres tipus de transport terrestre	44
35	Actividades anexas a los transportes	Activitats afins al transport	47
36	Comunicaciones	Correus i telecomunicacions	49
37	Intermediación financiera	Mediació financera (excepte assegurances i plans de pensions)	50
		Assegurances i plans de pensions (excepte S.S. obligatòria)	51
		Activitats auxiliars de la mediació financera	52
38	Inmobiliarias y servicios empresariales	Activitats immobiliàries	53
		Activitats de lloguer	54
		Activitats informàtiques	55
		Recerca i desenvolupament	56
		Altres activitats empresarials	57
39	Administración pública	Administració pública, defensa i Seguretat Social obligatòria	58
40	Educación	Educació	59
41	Sanidad y servicios sociales	Activitats sanitàries i veterinàries, serveis socials	60
42	Otras actividades sociales y servicios	Activitats de sanejament públic	61
		Activitats associatives	62
		Activitats recreatives, culturals i esportives	63
		Activitats diverses de serveis personals	64
43	Hogares que emplean personal doméstico	Llars que ocupen personal domèstic	65

2.C. Principales resultados derivados del análisis input-output

Tabla 2.C.1. Emisiones directas de los principales contaminantes: Acidificadores, precursores de ozono y gases de efecto invernadero (kt, t y kg)

<i>Sectores productivos</i>	SOx (t)	NOx (t)	COVNM (t)	CH ₄ (t)	CO (t)	CO ₂ (kt)	N ₂ O (t)	NH ₃ (t)	SF ₆ (kg)	HFC (kg)
1 Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca	379,5	14708,0	98637,0	152950,6	10493,8	883,2	5712,0	52355,9	0,0	0,0
2 Extracción de productos energéticos	3030,6	376,9	18,5	2601,8	21,0	149,2	4,1	0,0	0,0	0,0
3 Extracción de otros minerales	1,1	79,5	11,5	32,3	25,7	5,6	0,2	0,0	0,0	0,0
4 Industrias de alimentación, bebidas y tabaco	829,6	5233,7	4581,6	1806,2	1124,1	1280,0	23,9	0,0	0,0	0,0
5 Industrias textiles	215,6	1405,1	3425,0	405,2	307,1	351,8	6,3	0,0	0,0	0,0
6 Industria de la confección y la peletería	20,7	130,8	16,1	19,8	28,1	34,0	0,6	0,0	0,0	0,0
7 Industrias del cuero y del calzado	8,4	55,8	3291,0	207,0	12,3	15,6	0,2	0,0	0,0	0,0
8 Industria de la madera y el corcho	95,5	584,1	310,8	91,8	123,3	80,9	2,7	0,0	0,0	0,0
9 Industrias del papel	434,8	2740,7	581,6	908,7	582,4	764,8	12,8	0,0	0,0	0,0
10 Edición y artes gráficas	28,5	241,8	10002,5	522,3	59,4	73,9	0,9	0,0	0,0	0,0
11 Coquerías, refino y combustibles nucleares	22385,9	6754,8	4846,8	491,3	877,5	2945,1	69,7	0,0	0,0	0,0
12 Industrias químicas	2921,8	18180,8	23669,1	5582,2	3749,6	3467,8	195,3	450,3	0,0	32330,0
13 Industria del caucho y materias plásticas	173,1	1111,6	10129,4	1729,9	241,1	329,7	5,0	0,0	0,0	0,0
14 Otros productos minerales no metálicos	10188,7	22530,2	3661,0	1400,4	13956,1	9659,8	138,8	0,0	0,0	0,0
15 Metalurgia	492,9	1807,1	6001,9	262,6	20772,9	550,4	12,6	0,0	0,0	0,0
16 Productos metálicos (ex. máq. y equipos)	153,6	1208,4	4657,3	260,0	288,2	208,8	4,8	0,0	0,0	0,0
17 Maquinaria y equipo mecánico	83,8	1832,0	1261,7	83,0	549,7	199,0	4,6	0,2	0,0	0,0
18 Máquinas de oficina y equipos informáticos	0,0	0,3	0,5	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
19 Fabricación de maquinaria y materiales eléctricos	72,8	510,0	3594,2	69,2	115,6	89,8	2,2	0,0	2129,1	0,0
20 Material electrónico	3,7	36,0	4,7	20,4	9,3	5,9	0,1	0,0	0,0	0,0
21 Instrumentos médico-quirúrgicos y de precisión	8,3	49,4	6,0	25,0	10,3	8,1	0,2	0,0	0,0	0,0
22 Vehículos de motor y remolques	181,4	1406,3	9816,3	188,0	333,4	372,3	5,7	0,1	0,0	0,0
23 Otro material de transporte	30,1	225,0	137,9	45,5	52,5	32,1	0,9	0,0	0,0	0,0
24 Muebles y otras industrias manufactureras	57,5	373,1	5447,3	75,9	81,4	74,6	1,7	0,0	0,0	0,0
25 Reciclaje	259,7	1618,0	199,0	249,1	345,1	227,6	7,5	0,0	0,0	0,0
26 Producción y distribución de energía	7964,7	6314,4	5226,1	24415,7	1173,2	6244,9	118,8	0,0	0,0	0,0
27 Captación, potabilización y distribución de agua	47,0	280,6	34,2	45,2	58,3	83,4	1,3	0,0	0,0	0,0
28 Construcción	279,5	2118,1	23060,2	264,0	497,9	301,9	8,7	0,1	0,0	0,0
29 Servicios al comercio, vehículos y reparación	562,0	251,8	5510,3	66,1	343,7	295,6	4,0	0,0	0,0	0,0
30 Hostelería	145,6	65,2	8,7	17,1	89,0	78,5	1,0	0,0	0,0	0,0
31 Transporte por ferrocarril	10,7	606,0	71,2	2,5	163,8	43,5	1,2	0,1	0,0	0,0
32 Transporte por carretera	165,0	36526,7	14470,4	804,6	80709,4	6627,7	601,8	510,8	0,0	0,0
33 Transporte marítimo	3643,6	4955,2	225,9	10,9	142,3	223,2	5,8	0,4	0,0	0,0
34 Transporte aéreo y espacial	336,1	3680,9	288,0	10,5	2410,0	1037,9	33,0	0,0	0,0	0,0
35 Actividades anexas a los transportes	14,0	6,3	123,4	1,6	8,6	7,7	0,1	0,0	0,0	0,0
36 Comunicaciones	5,7	2,5	0,3	0,7	3,5	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0
37 Intermediación financiera	64,9	29,1	3,9	7,6	39,7	19,5	0,5	0,0	0,0	0,0
38 Inmobiliarias y servicios empresariales	291,5	130,6	17,4	34,3	178,3	169,8	2,1	0,0	0,0	0,0
39 Administración pública	18,6	8,3	1,1	2,2	11,4	9,6	0,1	0,0	0,0	0,0
40 Educación	1986,0	889,9	118,5	233,4	1214,4	790,6	14,1	0,0	0,0	0,0
41 Sanidad y servicios sociales	117,1	52,5	7,0	13,8	71,6	73,3	197,8	0,0	0,0	0,0
42 Otras actividades sociales y servicios	1046,8	1289,3	6657,8	119391,4	683,4	607,0	682,7	721,3	0,0	0,0
43 Hogares que emplean personal doméstico	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TOTAL	58756,5	140407,3	250133,2	315349,7	141958,4	38427,8	7885,7	54039,3	2129,1	32330,0

Tabla 2.C.2 . Peso porcentual de las emisiones directas por sector (%)

Sectores productivos		SOx (t)	NOx (t)	COVNM (t)	CH₄ (t)	CO (t)	CO₂ (kt)	N₂O (t)	NH₃ (t)	SF₆ (kg)	HFC (kg)
1	Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca	0,65%	10,48%	39,43%	48,50%	7,39%	2,30%	72,44%	96,88%	0,00%	0,00%
2	Extracción de productos energéticos	5,16%	0,27%	0,01%	0,83%	0,01%	0,39%	0,05%	0,00%	0,00%	0,00%
3	Extracción de otros minerales	0,00%	0,06%	0,00%	0,01%	0,02%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
4	Industrias de alimentación, bebidas y tabaco	1,41%	3,73%	1,83%	0,57%	0,79%	3,33%	0,30%	0,00%	0,00%	0,00%
5	Industrias textiles	0,37%	1,00%	1,37%	0,13%	0,22%	0,92%	0,08%	0,00%	0,00%	0,00%
6	Industria de la confección y la peletería	0,04%	0,09%	0,01%	0,01%	0,02%	0,09%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%
7	Industrias del cuero y del calzado	0,01%	0,04%	1,32%	0,07%	0,01%	0,04%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
8	Industria de la madera y el corcho	0,16%	0,42%	0,12%	0,03%	0,09%	0,21%	0,03%	0,00%	0,00%	0,00%
9	Industrias del papel	0,74%	1,95%	0,23%	0,29%	0,41%	1,99%	0,16%	0,00%	0,00%	0,00%
10	Edición y artes gráficas	0,05%	0,17%	4,00%	0,17%	0,04%	0,19%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%
11	Coquerías, refinio y combustibles nucleares	38,10%	4,81%	1,94%	0,16%	0,62%	7,66%	0,88%	0,00%	0,00%	0,00%
12	Industrias químicas	4,97%	12,95%	9,46%	1,77%	2,64%	9,02%	2,48%	0,83%	0,00%	100,00%
13	Industria del caucho y materias plásticas	0,29%	0,79%	4,05%	0,55%	0,17%	0,86%	0,06%	0,00%	0,00%	0,00%
14	Otros productos minerales no metálicos	17,34%	16,05%	1,46%	0,44%	9,83%	25,14%	1,76%	0,00%	0,00%	0,00%
15	Metalurgia	0,84%	1,29%	2,40%	0,08%	14,63%	1,43%	0,16%	0,00%	0,00%	0,00%
16	Productos metálicos (ex. maq. y equipos)	0,26%	0,86%	1,86%	0,08%	0,20%	0,54%	0,06%	0,00%	0,00%	0,00%
17	Maquinaria y equipo mecánico	0,14%	1,30%	0,50%	0,03%	0,39%	0,52%	0,06%	0,00%	0,00%	0,00%
18	Máquinas de oficina y equipos informáticos	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
19	Fabricación de maquinaria y materiales eléctricos	0,12%	0,36%	1,44%	0,02%	0,08%	0,23%	0,03%	0,00%	100,00%	0,00%
20	Material electrónico	0,01%	0,03%	0,00%	0,01%	0,01%	0,02%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
21	Instrumentos médico-quirúrgicos y de precisión	0,01%	0,04%	0,00%	0,01%	0,01%	0,02%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
22	Vehículos de motor y remolques	0,31%	1,00%	3,92%	0,06%	0,23%	0,97%	0,07%	0,00%	0,00%	0,00%
23	Otro material de transporte	0,05%	0,16%	0,06%	0,01%	0,04%	0,08%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%
24	Muebles y otras industrias manufactureras	0,10%	0,27%	2,18%	0,02%	0,06%	0,19%	0,02%	0,00%	0,00%	0,00%
25	Reciclaje	0,44%	1,15%	0,08%	0,08%	0,24%	0,59%	0,09%	0,00%	0,00%	0,00%
26	Producción y distribución de energía	13,56%	4,50%	2,09%	7,74%	0,83%	16,25%	1,51%	0,00%	0,00%	0,00%
27	Captación, potabilización y distribución de agua	0,08%	0,20%	0,01%	0,01%	0,04%	0,22%	0,02%	0,00%	0,00%	0,00%
28	Construcción	0,48%	1,51%	9,22%	0,08%	0,35%	0,79%	0,11%	0,00%	0,00%	0,00%
29	Servicios al comercio, vehículos y reparación	0,96%	0,18%	2,20%	0,02%	0,24%	0,77%	0,05%	0,00%	0,00%	0,00%
30	Hostelería	0,25%	0,05%	0,00%	0,01%	0,06%	0,20%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%
31	Transporte por ferrocarril	0,02%	0,43%	0,03%	0,00%	0,12%	0,11%	0,02%	0,00%	0,00%	0,00%
32	Transporte por carretera	0,28%	26,01%	5,79%	0,26%	56,85%	17,25%	7,63%	0,95%	0,00%	0,00%
33	Transporte marítimo	6,20%	3,53%	0,09%	0,00%	0,10%	0,58%	0,07%	0,00%	0,00%	0,00%
34	Transporte aéreo y espacial	0,57%	2,62%	0,12%	0,00%	1,70%	2,70%	0,42%	0,00%	0,00%	0,00%
35	Actividades anexas a los transportes	0,02%	0,00%	0,05%	0,00%	0,01%	0,02%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
36	Comunicaciones	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
37	Intermediación financiera	0,11%	0,02%	0,00%	0,00%	0,03%	0,05%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%
38	Inmobiliarias y servicios empresariales	0,50%	0,09%	0,01%	0,01%	0,13%	0,44%	0,03%	0,00%	0,00%	0,00%
39	Administración pública	0,03%	0,01%	0,00%	0,00%	0,01%	0,02%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
40	Educación	3,38%	0,63%	0,05%	0,07%	0,86%	2,06%	0,18%	0,00%	0,00%	0,00%
41	Sanidad y servicios sociales	0,20%	0,04%	0,00%	0,00%	0,05%	0,19%	2,51%	0,00%	0,00%	0,00%
42	Otras actividades sociales y servicios	1,78%	0,92%	2,66%	37,86%	0,48%	1,58%	8,66%	1,33%	0,00%	0,00%
43	Hogares que emplean personal doméstico	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
TOTAL		100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Tabla 2.C.3. Emisiones totales, directas e indirectas, de los principales contaminantes: Acidificadores, precursores de ozono y gases de efecto invernadero (kt, t y kg)

Sectores productivos		SOx (t)	NOx (t)	COVNM (t)	CH₄ (t)	CO (t)	CO₂ (kt)	N₂O (t)	NH₃ (t)	SF₆ (kg)	HFC (kg)
1	Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca	350,7	5405,6	34182,3	52786,0	3865,3	416,6	1964,9	17973,8	1,6	126,4
2	Extracción de productos energéticos	11,2	1,4	0,1	9,6	0,1	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0
3	Extracción de otros minerales	54,8	98,3	50,1	44,6	117,8	25,1	1,2	1,2	0,3	4,9
4	Industrias de alimentación, bebidas y tabaco	2989,7	15972,7	53158,3	75734,8	11330,6	2903,5	2742,0	24421,0	13,3	933,2
5	Industrias textiles	628,2	2196,8	4909,6	3303,0	1161,0	550,8	101,4	785,8	2,7	653,1
6	Industria de la confección y la peletería	236,2	798,1	1285,1	964,0	502,8	196,9	29,5	212,8	1,3	224,4
7	Industrias del cuero y del calzado	53,4	196,5	3523,8	655,4	128,0	48,8	15,5	129,5	0,4	25,9
8	Industria de la madera y el corcho	130,6	532,6	1128,8	1498,4	313,1	81,6	55,1	479,5	0,3	18,6
9	Industrias del papel	544,7	2022,3	1086,0	1342,8	1034,7	555,9	31,7	159,5	1,5	281,5
10	Edición y artes gráficas	334,0	1179,6	7479,2	1126,0	1057,5	314,9	18,5	62,2	2,5	223,2
11	Coquerías, refinio y combustibles nucleares	11095,2	3232,2	2257,2	989,7	451,3	1399,0	33,9	1,9	0,2	2,7
12	Industrias químicas	5310,8	16678,8	20279,4	7632,1	5865,1	3560,9	216,1	657,0	12,3	23482,2
13	Industria del caucho y materias plásticas	544,3	1787,5	6073,9	1819,9	962,2	466,3	26,8	105,8	2,6	1190,3
14	Otros productos minerales no metálicos	5340,4	11300,4	2404,1	1305,2	7964,0	4669,0	81,2	31,3	2,4	130,9
15	Metalurgia	392,7	1124,6	1966,5	640,3	6115,4	298,6	10,7	9,0	1,3	35,6
16	Productos metálicos (ex. maq. y equipos)	747,5	2240,7	4264,7	1061,9	3875,4	579,8	23,2	48,7	28,3	286,7
17	Maquinaria y equipo mecánico	500,4	2474,3	2413,1	772,9	2780,2	445,3	19,9	44,6	103,2	158,5
18	Máquinas de oficina y equipos informáticos	3,6	11,2	15,5	7,2	13,4	2,9	0,2	0,4	1,0	1,7
19	Fabricación de maquinaria y materiales eléctricos	745,3	2074,2	4192,1	837,1	3149,2	598,0	21,6	41,5	1494,9	340,0
20	Material electrónico	158,1	502,6	578,9	297,9	612,1	135,2	7,1	17,5	27,6	138,5
21	Instrumentos médico-quirúrgicos y de precisión	81,8	243,1	282,1	166,7	312,2	63,5	3,7	12,1	14,8	65,0
22	Vehículos de motor y remolques	1415,2	4504,4	14147,4	2347,3	5245,3	1258,9	50,1	129,8	97,0	949,1
23	Otro material de transporte	144,0	490,3	543,6	219,8	693,7	103,5	5,3	12,4	8,7	34,8
24	Muebles y otras industrias manufactureras	416,2	1326,2	5804,3	1120,7	1511,2	319,4	32,7	198,4	18,2	250,8
25	Reciclaje	132,8	388,6	184,8	353,7	236,6	79,8	4,0	4,3	0,4	14,1
26	Producción y distribución de energía	4254,0	2736,8	2223,8	9648,4	628,8	2445,9	50,6	10,2	6,5	10,6
27	Captación, potabilización y distribución de agua	198,1	375,0	199,5	415,2	166,8	156,1	4,3	5,2	4,4	49,5
28	Construcción	5261,0	12827,1	26420,6	5022,9	11878,4	4369,7	128,7	237,2	64,2	553,9
29	Servicios al comercio, vehículos y reparación	2992,1	7320,5	10047,4	8090,9	11196,8	2140,9	155,8	376,9	80,0	362,9
30	Hostelería	2103,4	5308,0	14091,2	21993,0	4135,5	1489,3	691,5	5897,7	15,3	341,7
31	Transporte por ferrocarril	58,1	356,0	84,0	98,6	149,5	49,9	1,7	1,5	0,3	1,7
32	Transporte por carretera	1403,2	17183,0	7149,3	819,2	36915,3	3230,1	281,3	244,0	3,9	31,2
33	Transporte marítimo	1669,7	2275,2	118,4	14,8	110,6	108,1	3,1	0,7	0,1	0,4
34	Transporte aéreo y espacial	1005,4	3021,6	570,0	232,1	2120,4	875,8	30,0	14,0	5,2	11,1
35	Actividades anexas a los transportes	516,6	3108,5	1449,2	731,4	6032,9	617,2	50,5	52,1	2,1	26,2
36	Comunicaciones	305,0	499,0	429,2	701,0	699,8	191,2	10,2	19,2	6,4	16,6
37	Intermediación financiera	216,8	291,5	347,8	625,7	289,8	117,8	7,7	22,6	1,9	12,5
38	Inmobiliarias y servicios empresariales	1290,3	2151,4	3004,8	4419,2	2434,6	785,2	52,2	122,0	55,9	223,6
39	Administración pública	693,4	1041,4	1470,1	1990,5	1047,0	404,4	33,2	160,6	10,1	96,7
40	Educación	2151,0	1359,5	901,4	1270,8	1755,1	937,0	31,1	88,4	2,6	31,6
41	Sanidad y servicios sociales	670,3	1220,8	1835,3	2260,2	920,5	442,4	246,7	352,5	9,9	658,7
42	Otras actividades sociales y servicios	1606,5	2548,8	7580,4	99978,9	2178,3	992,1	610,8	894,6	23,7	329,0
43	Hogares que emplean personal doméstico	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TOTAL		58756,5	140407,3	250133,2	315349,7	141958,4	38427,8	7885,7	54039,3	2129,1	32330,0

Tabla 2.C.4. Peso porcentual de las emisiones totales por sector (%)

Sectores productivos		SOx (t)	NOx (t)	COVNM (t)	CH₄ (t)	CO (t)	CO₂ (kt)	N₂O (t)	NH₃ (t)	SF₆ (kg)	HFC (kg)
1	Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca	0,60%	3,85%	13,67%	16,74%	2,72%	1,08%	24,92%	33,26%	0,07%	0,39%
2	Extracción de productos energéticos	0,02%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
3	Extracción de otros minerales	0,09%	0,07%	0,02%	0,01%	0,08%	0,07%	0,02%	0,00%	0,01%	0,02%
4	Industrias de alimentación, bebidas y tabaco	5,09%	11,38%	21,25%	24,02%	7,98%	7,56%	34,77%	45,19%	0,62%	2,89%
5	Industrias textiles	1,07%	1,56%	1,96%	1,05%	0,82%	1,43%	1,29%	1,45%	0,13%	2,02%
6	Industria de la confección y la peletería	0,40%	0,57%	0,51%	0,31%	0,35%	0,51%	0,37%	0,39%	0,06%	0,69%
7	Industrias del cuero y del calzado	0,09%	0,14%	1,41%	0,21%	0,09%	0,13%	0,20%	0,24%	0,02%	0,08%
8	Industria de la madera y el corcho	0,22%	0,38%	0,45%	0,48%	0,22%	0,21%	0,70%	0,89%	0,01%	0,06%
9	Industrias del papel	0,93%	1,44%	0,43%	0,43%	0,73%	1,45%	0,40%	0,30%	0,07%	0,87%
10	Edición y artes gráficas	0,57%	0,84%	2,99%	0,36%	0,74%	0,82%	0,23%	0,12%	0,12%	0,69%
11	Coquerías, refino y combustibles nucleares	18,88%	2,30%	0,90%	0,31%	0,32%	3,64%	0,43%	0,00%	0,01%	0,01%
12	Industrias químicas	9,04%	11,88%	8,11%	2,42%	4,13%	9,27%	2,74%	1,22%	0,58%	72,63%
13	Industria del caucho y materias plásticas	0,93%	1,27%	2,43%	0,58%	0,68%	1,21%	0,34%	0,20%	0,12%	3,68%
14	Otros productos minerales no metálicos	9,09%	8,05%	0,96%	0,41%	5,61%	12,15%	1,03%	0,06%	0,11%	0,40%
15	Metalurgia	0,67%	0,80%	0,79%	0,20%	4,31%	0,78%	0,14%	0,02%	0,06%	0,11%
16	Productos metálicos (ex. maq. y equipos)	1,27%	1,60%	1,70%	0,34%	2,73%	1,51%	0,29%	0,09%	1,33%	0,89%
17	Maquinaria y equipo mecánico	0,85%	1,76%	0,96%	0,25%	1,96%	1,16%	0,25%	0,08%	4,85%	0,49%
18	Máquinas de oficina y equipos informáticos	0,01%	0,01%	0,01%	0,00%	0,01%	0,01%	0,00%	0,00%	0,05%	0,01%
19	Fabricación de maquinaria y materiales eléctricos	1,27%	1,48%	1,68%	0,27%	2,22%	1,56%	0,27%	0,08%	70,21%	1,05%
20	Material electrónico	0,27%	0,36%	0,23%	0,09%	0,43%	0,35%	0,09%	0,03%	1,29%	0,43%
21	Instrumentos médico-quirúrgicos y de precisión	0,14%	0,17%	0,11%	0,05%	0,22%	0,17%	0,05%	0,02%	0,69%	0,20%
22	Vehículos de motor y remolques	2,41%	3,21%	5,66%	0,74%	3,69%	3,28%	0,64%	0,24%	4,56%	2,94%
23	Otro material de transporte	0,25%	0,35%	0,22%	0,07%	0,49%	0,27%	0,07%	0,02%	0,41%	0,11%
24	Muebles y otras industrias manufactureras	0,71%	0,94%	2,32%	0,36%	1,06%	0,83%	0,41%	0,37%	0,85%	0,78%
25	Reciclaje	0,23%	0,28%	0,07%	0,11%	0,17%	0,21%	0,05%	0,01%	0,02%	0,04%
26	Producción y distribución de energía	7,24%	1,95%	0,89%	3,06%	0,44%	6,36%	0,64%	0,02%	0,31%	0,03%
27	Captación, potabilización y distribución de agua	0,34%	0,27%	0,08%	0,13%	0,12%	0,41%	0,05%	0,01%	0,21%	0,15%
28	Construcción	8,95%	9,14%	10,56%	1,59%	8,37%	11,37%	1,63%	0,44%	3,02%	1,71%
29	Servicios al comercio, vehículos y reparación	5,09%	5,21%	4,02%	2,57%	7,89%	5,57%	1,98%	0,70%	3,76%	1,12%
30	Hostelería	3,58%	3,78%	5,63%	6,97%	2,91%	3,88%	8,77%	10,91%	0,72%	1,06%
31	Transporte por ferrocarril	0,10%	0,25%	0,03%	0,03%	0,11%	0,13%	0,02%	0,00%	0,01%	0,01%
32	Transporte por carretera	2,39%	12,24%	2,86%	0,26%	26,00%	8,41%	3,57%	0,45%	0,18%	0,10%
33	Transporte marítimo	2,84%	1,62%	0,05%	0,00%	0,08%	0,28%	0,04%	0,00%	0,00%	0,00%
34	Transporte aéreo y espacial	1,71%	2,15%	0,23%	0,07%	1,49%	2,28%	0,38%	0,03%	0,24%	0,03%
35	Actividades anexas a los transportes	0,88%	2,21%	0,58%	0,23%	4,25%	1,61%	0,64%	0,10%	0,10%	0,08%
36	Comunicaciones	0,52%	0,36%	0,17%	0,22%	0,49%	0,50%	0,13%	0,04%	0,30%	0,05%
37	Intermediación financiera	0,37%	0,21%	0,14%	0,20%	0,20%	0,31%	0,10%	0,04%	0,09%	0,04%
38	Inmobiliarias y servicios empresariales	2,20%	1,53%	1,20%	1,40%	1,71%	2,04%	0,66%	0,23%	2,62%	0,69%
39	Administración pública	1,18%	0,74%	0,59%	0,63%	0,74%	1,05%	0,42%	0,30%	0,47%	0,30%
40	Educación	3,66%	0,97%	0,36%	0,40%	1,24%	2,44%	0,39%	0,16%	0,12%	0,10%
41	Sanidad y servicios sociales	1,14%	0,87%	0,73%	0,72%	0,65%	1,15%	3,13%	0,65%	0,47%	2,04%
42	Otras actividades sociales y servicios	2,73%	1,82%	3,03%	31,70%	1,53%	2,58%	7,75%	1,66%	1,11%	1,02%
43	Hogares que emplean personal doméstico	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
TOTAL		100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Tabla 2.C.5. Multiplicadores sectoriales input-output para cada contaminante (emisión total/emisión directa)

<i>Sectores productivos</i>	SOx (t)	NOx (t)	COVNM (t)	CH ₄ (t)	CO (t)	CO ₂ (kt)	N ₂ O (t)	NH ₃ (t)	SF ₆ (kg)	HFC (kg)
1 Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca	0,92	0,37	0,35	0,35	0,37	0,47	0,34	0,34	0,00	0,00
2 Extracción de productos energéticos	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3 Extracción de otros minerales	48,00	1,24	4,34	1,38	4,58	4,50	7,74	97,75	0,00	0,00
4 Industrias de alimentación, bebidas y tabaco	3,60	3,05	11,60	41,93	10,08	2,27	114,64	503.173,50	0,00	0,00
5 Industrias textiles	2,91	1,56	1,43	8,15	3,78	1,57	16,11	38.757,46	0,00	0,00
6 Industria de la confección y la peletería	11,41	6,10	79,69	48,58	17,89	5,79	49,34	172.110,36	0,00	0,00
7 Industrias del cuero y del calzado	6,33	3,52	1,07	3,17	10,42	3,12	62,62	138.914,33	0,00	0,00
8 Industria de la madera y el corcho	1,37	0,91	3,63	16,32	2,54	1,01	20,24	193.377,48	0,00	0,00
9 Industrias del papel	1,25	0,74	1,87	1,48	1,78	0,73	2,48	6.706,03	0,00	0,00
10 Edición y artes gráficas	11,74	4,88	0,75	2,16	17,80	4,26	19,98	5.041,80	0,00	0,00
11 Coquerías, refino y combustibles nucleares	0,50	0,48	0,47	2,01	0,51	0,48	0,49	769,15	0,00	0,00
12 Industrias químicas	1,82	0,92	0,86	1,37	1,56	1,03	1,11	1,46	0,00	0,73
13 Industria del caucho y materias plásticas	3,14	1,61	0,60	1,05	3,99	1,41	5,34	7.874,05	0,00	0,00
14 Otros productos minerales no metálicos	0,52	0,50	0,66	0,93	0,57	0,48	0,59	1.443,81	0,00	0,00
15 Metalurgia	0,80	0,62	0,33	2,44	0,29	0,54	0,85	860,85	0,00	0,00
16 Productos metálicos (ex. maq. y equipos)	4,87	1,85	0,92	4,08	13,45	2,78	4,80	975,35	0,00	0,00
17 Maquinaria y equipo mecánico	5,97	1,35	1,91	9,31	5,06	2,24	4,34	195,51	0,00	0,00
18 Máquinas de oficina y equipos informáticos	77,85	40,31	32,97	160,04	232,50	40,90	118,77	0,00	0,00	0,00
19 Fabricación de maquinaria y materiales eléctricos	10,24	4,07	1,17	12,10	27,23	6,66	9,91	3.193,54	0,70	0,00
20 Material electrónico	42,94	13,97	122,10	14,60	66,12	22,87	55,52	7.307,39	0,00	0,00
21 Instrumentos médico-quirúrgicos y de precisión	9,87	4,92	46,80	6,67	30,37	7,83	15,74	0,00	0,00	0,00
22 Vehículos de motor y remolques	7,80	3,20	1,44	12,49	15,73	3,38	8,85	2.340,28	0,00	0,00
23 Otro material de transporte	4,78	2,18	3,94	4,83	13,20	3,22	5,67	1.593,70	0,00	0,00
24 Muebles y otras industrias manufactureras	7,24	3,55	1,07	14,77	18,57	4,28	19,53	38.577,36	0,00	0,00
25 Reciclaje	0,51	0,24	0,93	1,42	0,69	0,35	0,54	365,83	0,00	0,00
26 Producción y distribución de energía	0,53	0,43	0,43	0,40	0,54	0,39	0,43	0,00	0,00	0,00
27 Captación, potabilización y distribución de agua	4,21	1,34	5,83	9,18	2,86	1,87	3,22	0,00	0,00	0,00
28 Construcción	18,82	6,06	1,15	19,03	23,86	14,48	14,88	3.075,86	0,00	0,00
29 Servicios al comercio, vehículos y reparación	5,32	29,07	1,82	122,49	32,58	7,24	39,16	0,00	0,00	0,00
30 Hostelería	14,45	81,35	1.621,35	1.285,14	46,45	18,97	670,79	0,00	0,00	0,00
31 Transporte por ferrocarril	5,42	0,59	1,18	39,52	0,91	1,15	1,41	15,36	0,00	0,00
32 Transporte por carretera	8,50	0,47	0,49	1,02	0,46	0,49	0,47	0,48	0,00	0,00
33 Transporte marítimo	0,46	0,46	0,52	1,35	0,78	0,48	0,53	1,95	0,00	0,00
34 Transporte aéreo y espacial	2,99	0,82	1,98	22,06	0,88	0,84	0,91	0,00	0,00	0,00
35 Actividades anexas a los transportes	36,83	494,55	11,74	443,67	703,35	80,56	508,95	0,00	0,00	0,00
36 Comunicaciones	53,65	195,86	1.264,88	1.049,12	201,31	57,19	253,83	0,00	0,00	0,00
37 Intermediación financiera	3,34	10,03	89,83	82,08	7,31	6,04	16,81	0,00	0,00	0,00
38 Inmobiliarias y servicios empresariales	4,43	16,47	172,67	128,97	13,66	4,62	25,28	0,00	0,00	0,00
39 Administración pública	37,26	124,87	1.323,35	909,99	92,00	42,16	251,87	0,00	0,00	0,00
40 Educación	1,08	1,53	7,60	5,44	1,45	1,19	2,21	0,00	0,00	0,00
41 Sanidad y servicios sociales	5,73	23,27	262,61	164,25	12,86	6,03	1,25	0,00	0,00	0,00
42 Otras actividades sociales y servicios	1,53	1,98	1,14	0,84	3,19	1,63	0,89	1,24	0,00	0,00
43 Hogares que emplean personal doméstico	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabla 2.C.6 . Coeficientes directos de emisión por output doméstico (Kg/1.000 euros)*

	<i>Sectores productivos</i>	SOx (t)	NOx (t)	COVNM (t)	CH ₄ (t)	CO (t)	CO ₂ (kt)
1	Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca	0,097	3,745	25,116	38,946	2,672	0,225
2	Extracción de productos energéticos	97,104	12,076	0,591	83,365	0,673	4,781
3	Extracción de otros minerales	0,002	0,140	0,020	0,057	0,045	0,010
4	Industrias de alimentación, bebidas y tabaco	0,043	0,273	0,239	0,094	0,059	0,067
5	Industrias textiles	0,045	0,292	0,711	0,084	0,064	0,073
6	Industria de la confección y la peletería	0,009	0,059	0,007	0,009	0,013	0,015
7	Industrias del cuero y del calzado	0,019	0,125	7,396	0,465	0,028	0,035
8	Industria de la madera y el corcho	0,060	0,367	0,195	0,058	0,077	0,051
9	Industrias del papel	0,118	0,744	0,158	0,247	0,158	0,208
10	Edición y artes gráficas	0,006	0,048	1,966	0,103	0,012	0,015
11	Coquerías, refino y combustibles nucleares	7,553	2,279	1,635	0,166	0,296	0,994
12	Industrias químicas	0,174	1,082	1,409	0,332	0,223	0,206
13	Industria del caucho y materias plásticas	0,032	0,203	1,854	0,317	0,044	0,060
14	Otros productos minerales no metálicos	2,203	4,871	0,791	0,303	3,017	2,088
15	Metalurgia	0,144	0,527	1,750	0,077	6,055	0,160
16	Productos metálicos (ex. maq. y equipos)	0,018	0,140	0,540	0,030	0,033	0,024
17	Maquinaria y equipo mecánico	0,012	0,255	0,176	0,012	0,077	0,028
18	Máquinas de oficina y equipos informáticos	0,000	0,002	0,003	0,000	0,000	0,000
19	Fabricación de maquinaria y materiales eléctricos	0,015	0,102	0,718	0,014	0,023	0,018
20	Material electrónico	0,002	0,017	0,002	0,010	0,004	0,003
21	Instrumentos médico-quirúrgicos y de precisión	0,007	0,043	0,005	0,022	0,009	0,007
22	Vehículos de motor y remolques	0,012	0,095	0,662	0,013	0,022	0,025
23	Otro material de transporte	0,022	0,163	0,100	0,033	0,038	0,023
24	Muebles y otras industrias manufactureras	0,017	0,113	1,646	0,023	0,025	0,023
25	Reciclaje	0,199	1,238	0,152	0,191	0,264	0,174
26	Producción y distribución de energía	1,482	1,175	0,972	4,543	0,218	1,162
27	Captación, potabilización y distribución de agua	0,044	0,263	0,032	0,042	0,055	0,078
28	Construcción	0,007	0,056	0,607	0,007	0,013	0,008
29	Servicios al comercio, vehículos y reparación	0,015	0,007	0,142	0,002	0,009	0,008
30	Hostelería	0,007	0,003	0,000	0,001	0,004	0,004
31	Transporte por ferrocarril	0,029	1,648	0,193	0,007	0,445	0,118
32	Transporte por carretera	0,021	4,638	1,837	0,102	10,248	0,842
33	Transporte marítimo	16,684	22,689	1,034	0,050	0,652	1,022
34	Transporte aéreo y espacial	0,202	2,214	0,173	0,006	1,450	0,624
35	Actividades anexas a los transportes	0,002	0,001	0,017	0,000	0,001	0,001
36	Comunicaciones	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001
37	Intermediación financiera	0,006	0,003	0,000	0,001	0,003	0,002
38	Inmobiliarias y servicios empresariales	0,006	0,003	0,000	0,001	0,004	0,003
39	Administración pública	0,002	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001
40	Educación	0,283	0,127	0,017	0,033	0,173	0,113
41	Sanidad y servicios sociales	0,010	0,004	0,001	0,001	0,006	0,006
42	Otras actividades sociales y servicios	0,098	0,121	0,624	11,187	0,064	0,057
43	Hogares que emplean personal doméstico	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

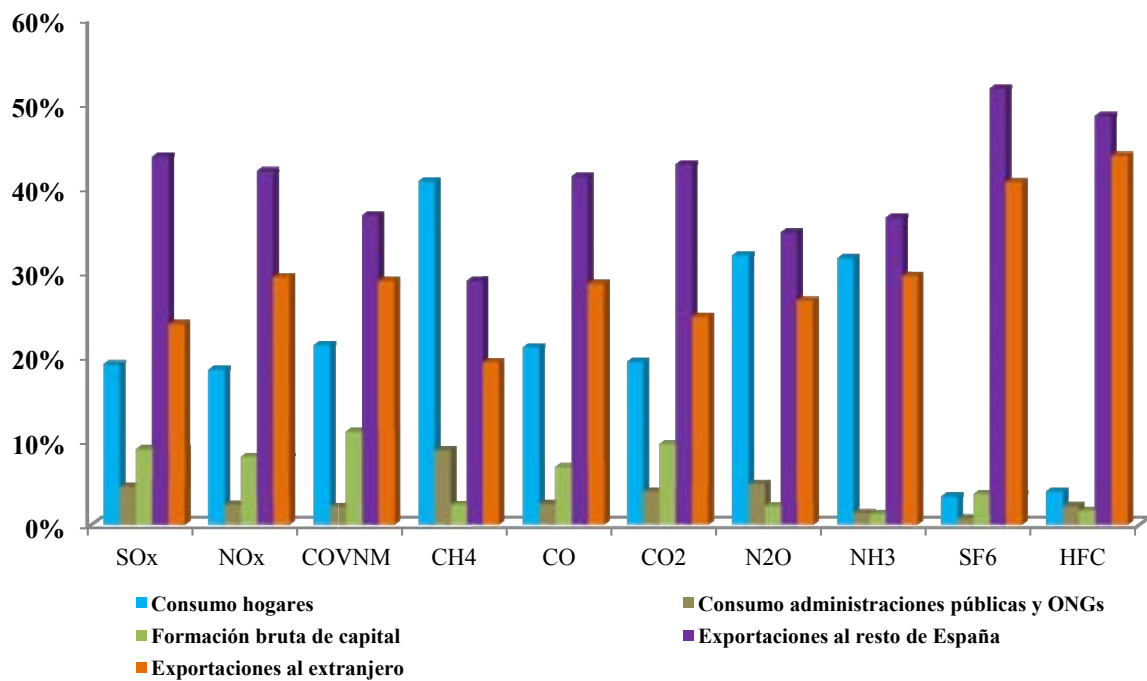
*t/1.000 euros para el CO₂

Tabla 2.C.7. Emisiones atmosféricas por tipo de demanda final

Contaminantes	Consumo* hogares	Consumo admin. públicas y ONGs	Formación bruta de capital	Exportaciones al resto de España	Exportaciones al extranjero	Total
SO _x (t)	11182,9	2641,7	5251,8	25667,3	14012,8	58756,5
NO _x (t)	25786,2	3255,4	11222,4	58936,2	41207,0	140407,3
COVNM (t)	53212,9	5177,4	27554,4	91808,9	72379,7	250133,2
CH ₄ (t)	128477,1	27728,8	7285,5	91242,7	60615,7	315349,7
CO(t)	29797,6	3424,1	9646,4	58567,4	40522,8	141958,4
CO ₂ (kt)	7415,5	1489,2	3655,7	16418,4	9449,1	38427,8
N ₂ O(t)	2517,4	375,0	168,3	2731,0	2094,0	7885,7
NH ₃ (t)	17065,2	717,9	660,7	19669,2	15926,3	54039,3
SF ₆ (t)	70,6	15,3	76,6	1101,9	864,7	2129,1
HFC(t)	1262,2	702,4	520,3	15685,1	14160,0	32330,0

*No incluye las emisiones propias de los hogares

Gráfico 2.C.1. Distribución de las emisiones atmosféricas por tipo de demanda final (en %)



2.D. Resultados y análisis de los indicadores ambientales

Tabla 2.D.1. Emisiones directas de los indicadores ambientales

Sectores productivos		Efecto invernadero		Potencial acidificador		Precursores de ozono	
		(kt CO ₂ eq.)	%	(t SO ₂ eq.)	%	(t COVNM eq.)	%
1	Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca	5865,9	12,3%	3411,4	42,3%	119876,4	27,2%
2	Extracción de productos energéticos	205,1	0,4%	102,9	1,3%	517,0	0,1%
3	Extracción de otros minerales	6,3	0,0%	1,8	0,0%	111,8	0,0%
4	Industrias de alimentación, bebidas y tabaco	1325,4	2,8%	139,7	1,7%	11115,7	2,5%
5	Industrias textiles	362,3	0,8%	37,3	0,5%	5178,8	1,2%
6	Industria de la confección y la peletería	34,6	0,1%	3,5	0,0%	179,1	0,0%
7	Industrias del cuero y del calzado	20,0	0,0%	1,5	0,0%	3363,3	0,8%
8	Industria de la madera y el corcho	83,7	0,2%	15,7	0,2%	1038,3	0,2%
9	Industrias del papel	787,9	1,7%	73,2	0,9%	4002,0	0,9%
10	Edición y artes gráficas	85,1	0,2%	6,1	0,1%	10311,4	2,3%
11	Coquerías, refino y combustibles nucleares	2977,0	6,3%	846,4	10,5%	13191,1	3,0%
12	Industrias químicas	3650,1	7,7%	513,0	6,4%	46340,2	10,5%
13	Industria del caucho y materias plásticas	367,6	0,8%	29,6	0,4%	11536,3	2,6%
14	Otros productos minerales no metálicos	9732,3	20,5%	808,2	10,0%	32702,6	7,4%
15	Metalurgia	559,9	1,2%	54,7	0,7%	10495,2	2,4%
16	Productos metálicos (ex. maq. y equipos)	215,8	0,5%	31,1	0,4%	6166,9	1,4%
17	Maquinaria y equipo mecánico	202,1	0,4%	42,5	0,5%	3558,4	0,8%
18	Máquinas de oficina y equipos informáticos	0,1	0,0%	0,0	0,0%	0,8	0,0%
19	Fabricación de maquinaria y materiales eléctricos	142,8	0,3%	13,4	0,2%	4230,1	1,0%
20	Material electrónico	6,4	0,0%	0,9	0,0%	49,9	0,0%
21	Instrumentos médico-quirúrgicos y de precisión	8,7	0,0%	1,3	0,0%	67,8	0,0%
22	Vehículos de motor y remolques	378,0	0,8%	36,2	0,4%	11571,2	2,6%
23	Otro material de transporte	33,4	0,1%	5,8	0,1%	418,8	0,1%
24	Muebles y otras industrias manufactureras	76,7	0,2%	9,9	0,1%	5912,6	1,3%
25	Reciclaje	235,2	0,5%	43,3	0,5%	2214,4	0,5%
26	Producción y distribución de energía	6794,5	14,3%	386,2	4,8%	13400,6	3,0%
27	Captación, potabilización y distribución de agua	84,7	0,2%	7,6	0,1%	383,6	0,1%
28	Construcción	310,1	0,7%	54,8	0,7%	25702,8	5,8%
29	Servicios al comercio, vehículos y reparación	298,2	0,6%	23,0	0,3%	5856,3	1,3%
30	Hostelería	79,2	0,2%	6,0	0,1%	98,3	0,0%
31	Transporte por ferrocarril	43,9	0,1%	13,5	0,2%	828,6	0,2%
32	Transporte por carretera	6831,2	14,4%	829,3	10,3%	67922,3	15,4%
33	Transporte marítimo	225,2	0,5%	221,6	2,7%	6287,0	1,4%
34	Transporte aéreo y espacial	1048,4	2,2%	90,5	1,1%	5044,0	1,1%
35	Actividades anexas a los transportes	7,7	0,0%	0,6	0,0%	132,0	0,0%
36	Comunicaciones	3,4	0,0%	0,2	0,0%	3,8	0,0%
37	Intermediación financiera	19,8	0,0%	2,7	0,0%	43,8	0,0%
38	Inmobiliarias y servicios empresariales	171,2	0,4%	12,0	0,1%	196,9	0,0%
39	Administración pública	9,7	0,0%	0,8	0,0%	12,6	0,0%
40	Educación	799,8	1,7%	81,4	1,0%	1341,1	0,3%
41	Sanidad y servicios sociales	135,0	0,3%	4,8	0,1%	79,1	0,0%
42	Otras actividades sociales y servicios	3325,9	7,0%	103,2	1,3%	9977,5	2,3%
43	Hogares que emplean personal doméstico	0,0	0,0%	0,0	0,0%	0,0	0,0%
TOTAL		47550,1	100%	8067,3	100%	441460,4	100%

Tabla 2.D.2. Emisiones totales, directas e indirectas, de los indicadores ambientales

Sectores productivos		Efecto invernadero		Potencial acidificador		Precusores de ozono	
		(kt CO ₂ eq.)	%	(t SO ₂ eq.)	%	(t COVNM eq.)	%
1	Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca	2134,3	4,5%	1185,8	14,7%	41941,3	9,5%
2	Extracción de productos energéticos	0,8	0,0%	0,4	0,0%	2,0	0,0%
3	Extracción de otros minerales	26,5	0,1%	3,9	0,0%	183,6	0,0%
4	Industrias de alimentación, bebidas y tabaco	5344,3	11,2%	1877,2	23,3%	74951,7	17,0%
5	Industrias textiles	651,7	1,4%	113,6	1,4%	7763,6	1,8%
6	Industria de la confección y la peletería	226,3	0,5%	37,2	0,5%	2327,6	0,5%
7	Industrias del cuero y del calzado	67,4	0,1%	13,6	0,2%	3786,7	0,9%
8	Industria de la madera y el corcho	130,1	0,3%	43,9	0,5%	1834,0	0,4%
9	Industrias del papel	594,0	1,2%	70,4	0,9%	3685,8	0,8%
10	Edición y artes gráficas	344,3	0,7%	39,7	0,5%	9050,5	2,1%
11	Coquerías, refino y combustibles nucleares	1430,3	3,0%	417,1	5,2%	6264,0	1,4%
12	Industrias químicas	3791,7	8,0%	567,2	7,0%	41379,6	9,4%
13	Industria del caucho y materias plásticas	513,1	1,1%	62,1	0,8%	8386,0	1,9%
14	Otros productos minerales no metálicos	4721,6	9,9%	414,4	5,1%	17084,8	3,9%
15	Metalurgia	315,4	0,7%	37,2	0,5%	4020,1	0,9%
16	Productos metálicos (ex. maq. y equipos)	610,0	1,3%	74,9	0,9%	7439,5	1,7%
17	Maquinaria y equipo mecánico	470,2	1,0%	72,1	0,9%	5748,4	1,3%
18	Máquinas de oficina y equipos informáticos	3,1	0,0%	0,4	0,0%	30,7	0,0%
19	Fabricación de maquinaria y materiales eléctricos	658,1	1,4%	70,8	0,9%	7080,8	1,6%
20	Material electrónico	144,3	0,3%	16,9	0,2%	1263,6	0,3%
21	Instrumentos médico-quirúrgicos y de precisión	68,6	0,1%	8,6	0,1%	615,3	0,1%
22	Vehículos de motor y remolques	1326,2	2,8%	149,8	1,9%	20252,7	4,6%
23	Otro material de transporte	110,0	0,2%	15,9	0,2%	1221,1	0,3%
24	Muebles y otras industrias manufactureras	353,6	0,7%	53,5	0,7%	7604,2	1,7%
25	Reciclaje	88,5	0,2%	12,8	0,2%	689,9	0,2%
26	Producción y distribución de energía	2664,3	5,6%	193,0	2,4%	5767,0	1,3%
27	Captación, potabilización y distribución de agua	166,2	0,3%	14,6	0,2%	681,2	0,2%
28	Construcción	4516,7	9,5%	457,2	5,7%	43446,6	9,8%
29	Servicios al comercio, vehículos y reparación	2361,1	5,0%	274,8	3,4%	20323,3	4,6%
30	Hostelería	2165,9	4,6%	528,0	6,5%	21329,8	4,8%
31	Transporte por ferrocarril	52,5	0,1%	9,6	0,1%	536,2	0,1%
32	Transporte por carretera	3334,7	7,0%	431,7	5,4%	32184,8	7,3%
33	Transporte marítimo	109,4	0,2%	101,7	1,3%	2906,4	0,7%
34	Transporte aéreo y espacial	890,1	1,9%	97,9	1,2%	4492,8	1,0%
35	Actividades anexas a los transportes	648,3	1,4%	86,8	1,1%	5915,4	1,3%
36	Comunicaciones	209,3	0,4%	21,5	0,3%	1124,8	0,3%
37	Intermediación financiera	133,4	0,3%	14,4	0,2%	744,0	0,2%
38	Inmobiliarias y servicios empresariales	895,6	1,9%	94,3	1,2%	5959,2	1,3%
39	Administración pública	456,7	1,0%	53,8	0,7%	2883,6	0,7%
40	Educación	973,4	2,0%	102,0	1,3%	2770,9	0,6%
41	Sanidad y servicios sociales	566,7	1,2%	68,2	0,8%	3457,6	0,8%
42	Otras actividades sociales y servicios	3281,6	6,9%	158,2	2,0%	12329,3	2,8%
43	Hogares que emplean personal doméstico	0,0	0,0%	0,0	0,0%	0,0	0,0%
TOTAL		47550,1	100%	8067,3	100%	441460,4	100%

Tabla 2.D.3. Coeficientes directos de emisión por indicador ambiental (Kg/1.000 euros)*

<i>Sectores productivos</i>		Efecto invernadero	Potencial acidificador	Precusores de ozono
1	Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca	1,494	0,869	30,524
2	Extracción de productos energéticos	6,572	3,297	16,565
3	Extracción de otros minerales	0,011	0,003	0,197
4	Industrias de alimentación, bebidas y tabaco	0,069	0,007	0,580
5	Industrias textiles	0,075	0,008	1,076
6	Industria de la confección y la peletería	0,016	0,002	0,081
7	Industrias del cuero y del calzado	0,045	0,003	7,558
8	Industria de la madera y el corcho	0,053	0,010	0,652
9	Industrias del papel	0,214	0,020	1,087
10	Edición y artes gráficas	0,017	0,001	2,027
11	Coquerías, refino y combustibles nucleares	1,004	0,286	4,451
12	Industrias químicas	0,217	0,031	2,758
13	Industria del caucho y materias plásticas	0,067	0,005	2,111
14	Otros productos minerales no metálicos	2,104	0,175	7,070
15	Metalurgia	0,163	0,016	3,059
16	Productos metálicos (ex. maq. y equipos)	0,025	0,004	0,714
17	Maquinaria y equipo mecánico	0,028	0,006	0,496
18	Máquinas de oficina y equipos informáticos	0,000	0,000	0,005
19	Fabricación de maquinaria y materiales eléctricos	0,029	0,003	0,845
20	Material electrónico	0,003	0,000	0,024
21	Instrumentos médico-quirúrgicos y de precisión	0,008	0,001	0,059
22	Vehículos de motor y remolques	0,025	0,002	0,780
23	Otro material de transporte	0,024	0,004	0,304
24	Muebles y otras industrias manufactureras	0,023	0,003	1,786
25	Reciclaje	0,180	0,033	1,695
26	Producción y distribución de energía	1,264	0,072	2,493
27	Captación, potabilización y distribución de agua	0,079	0,007	0,359
28	Construcción	0,008	0,001	0,677
29	Servicios al comercio, vehículos y reparación	0,008	0,001	0,151
30	Hostelería	0,004	0,000	0,005
31	Transporte por ferrocarril	0,119	0,037	2,253
32	Transporte por carretera	0,867	0,105	8,624
33	Transporte marítimo	1,031	1,015	28,787
34	Transporte aéreo y espacial	0,631	0,054	3,034
35	Actividades anexas a los transportes	0,001	0,000	0,018
36	Comunicaciones	0,001	0,000	0,001
37	Intermediación financiera	0,002	0,000	0,004
38	Inmobiliarias y servicios empresariales	0,003	0,000	0,004
39	Administración pública	0,001	0,000	0,002
40	Educación	0,114	0,012	0,191
41	Sanidad y servicios sociales	0,011	0,000	0,007
42	Otras actividades sociales y servicios	0,312	0,010	0,935
43	Hogares que emplean personal doméstico	0,000	0,000	0,000

*/1.000 euros para el efecto invernadero

Tabla 2.D.4. Indicadores ambientales por tipo de contaminante

Contaminantes	Efecto invernadero (kt CO ₂ eq.)	Potencial acidificador (t SO ₂ eq.)	Precusores de ozono (t COVNM eq.)
SOx	0,0	1836,1	0,0
NOx	0,0	3052,3	171296,8
COVNM	0,0	0,0	250133,2
CH ₄	6622,3	0,0	4414,9
CO	0,0	0,0	15615,4
CO ₂	38427,8	0,0	0,0
N ₂ O	2444,6	0,0	0,0
NH ₃	0,0	3178,8	0,0
SF ₆	50,9	0,0	0,0
HFC	4,5	0,0	0,0
TOTAL	47550,1	8067,3	441460,4

Gráfico 2.D.1. Contribución de cada contaminante al indicador ambiental correspondiente (en %)

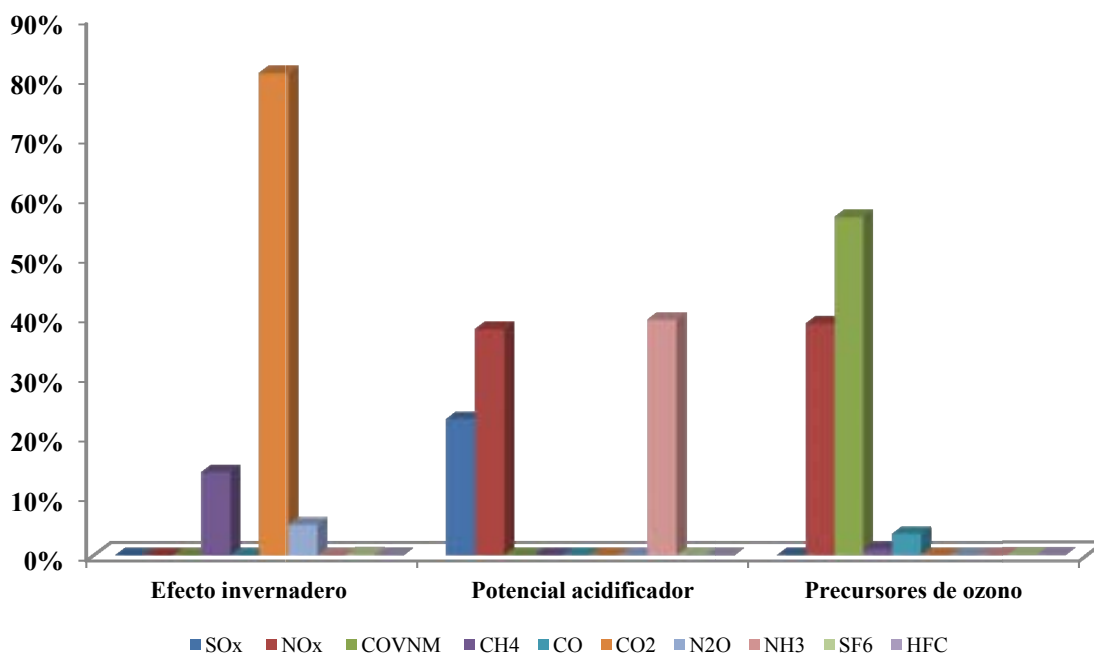
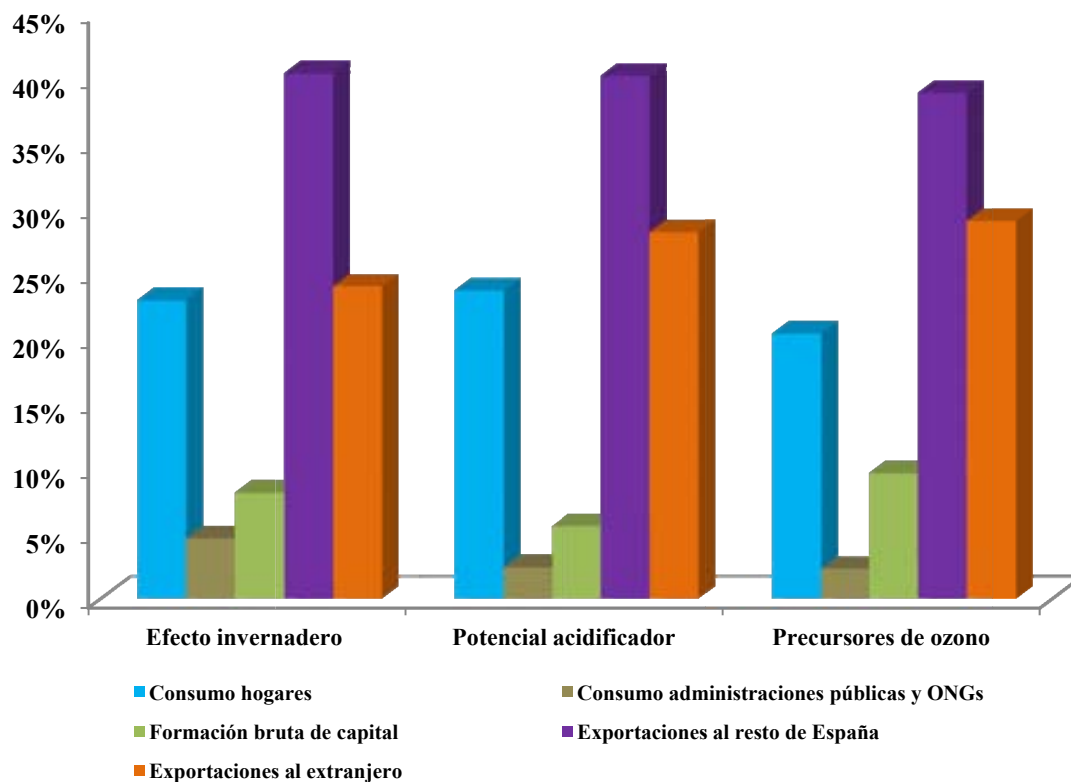


Tabla 2.D.5. Indicador ambiental por tipo de demanda final

Indicador ambiental	Consumo hogares	Consumo administraciones públicas y ONGs	Formación bruta de capital	Exportaciones al resto de España	Exportaciones al extranjero	TOTAL
Efecto invernadero (kt CO ₂ eq.)	10895,7	2188,2	3862,8	19209,6	11393,8	47550,1
Potencial acidificador (t SO ₂ eq.)	1913,9	195,6	447,0	3240,3	2270,5	8067,3
Precursores de ozono (t COVNM eq.)	89748,4	9913,9	42408,8	171430,9	127958,3	441460,4

Gráfico 2.D.2. Distribución de los indicadores ambientales por tipo de demanda final (en %)



3 Análisis input-output del metano asociado al subsistema agroalimentario de Cataluña: un planteamiento alternativo

3.1 Introducción

El metano (CH₄) es un contaminante atmosférico con una gran potencial de efecto invernadero¹. Si bien las emisiones de este gas son cuantitativamente inferiores al CO₂, su mayor potencial y su larga vida útil en la atmósfera hace que varios autores indiquen la necesidad de integrarlos en los estudios entre la economía y el medio ambiente, especialmente en los análisis del impacto del consumo (Subak, 1995; Walsh et al. 2009). En los últimos años ha aumentado de forma significativa los análisis en esta línea (Datta et al. 2009; Luo y Dai, 2009; Cheng et al. 2011; Luo et al. 2011; Karakurt et al. 2012), con una relevante presencia del análisis input-output como base metodológica (Chen y Chen, 2010; Chen et al. 2010; Serrano y Dietzenbacher, 2010; Zhang y Chen, 2010).

En el presente capítulo se analizan las emisiones de metano generadas por las ramas productivas agroalimentarias en Cataluña, actividad donde se concentra gran parte de la emisión originada por la actividad humana. Con el fin de calibrar la importancia del impacto de este gas en Cataluña, conviene considerar que las emisiones

¹Su *potencial de calentamiento de la tierra* es de 21 unidades de CO₂ equivalente por unidad de CH₄ (Ver Capítulo 2).

de CH₄ en esta comunidad en el 2005 representaron el 17,3 % de las emisiones totales de España, un porcentaje nada despreciable. Por otra parte, los efectos inducidos por las industrias de alimentación suponen un considerable efecto de arrastre, especialmente sobre la agricultura, tal como se muestra en este estudio. Para hacerse una idea de esto, cabe destacar que la emisión total, directa e indirecta, atribuible al sector de las “Industrias de alimentación, bebidas y tabaco” en Cataluña supone el 21,8% del total y la “Agricultura, ganadería y pesca” el 18,8 %, lo que significa que el 40,6 % de las emisiones de metano que genera el sistema productivo en Cataluña tiene como destino satisfacer la demanda final de ambos sectores. Este es un factor determinante en el hecho de que estas actividades sean claves en la evaluación del efecto invernadero estimado en el Capítulo 2.

En consecuencia, parece razonable analizar con cierto rigor metodológico el papel que estos dos sectores juegan, en términos de emisión de metano, en el conjunto de la economía catalana. Asimismo, en relación con el resto de sectores, se mostraran los factores más relevantes que explican las emisiones asociadas a estas actividades. Podrá advertirse como los resultados de este análisis proporcionan información relevante para el diseño de políticas ambientales en relación a la mitigación de este tipo de contaminación atmosférica. Nos ocupamos de ello aplicando el concepto de subsistema input-output que se detalla en el apartado de metodología.

En ciertos casos, existen sectores productivos con suficiente entidad contaminante como para ser analizados de forma individual dentro de todo el sistema económico. Este es el caso del presente trabajo, en el cual interesa mostrar la relevancia de las ramas productivas agroalimentarias en toda su complejidad, sin descuidar sus relaciones con el conjunto del sistema productivo. Dentro del análisis input-output, la técnica de los subsistemas planteada por Sraffa (1960), permite analizar la estructura productiva particular de cada una de las industrias que conforman el sistema económico sin desvincularlo del resto de sectores. En el presente trabajo se construye un subsistema que integra el sector de “Agricultura, ganadería y pesca” y la “Industria de alimentación, bebidas y tabaco” al que se denominará subsistema agroalimentario.

El concepto de los subsistemas es sencillo, pero con un potencial explicativo muy relevante. Tal y como se expresa en las tablas input-output, si se considera un sistema económico en el que cada sector produce una mercancía distinta, un subsistema agrupará las actividades de todas las ramas productivas necesarias, directa e

indirectamente, para satisfacer la demanda final de un producto determinado. Todo el proceso de producción de esta mercancía se expresará *verticalmente integrado* e incorporará todas las relaciones intersectoriales dadas por el sistema económico. Por lo tanto, cada subsistema recogerá los efectos de arrastre inducidos sobre el resto de sectores. Es evidente el interés que esta técnica de análisis tiene no sólo para el estudio de los impactos medioambientales de las distintas industrias, sino en muchos otros campos tanto teóricos como aplicados.

Diversos autores han trabajado teóricamente el planteamiento inicial de Sraffa (ver, por ejemplo, Pasinetti (1977); Siniscalco (1982); Deprez (1990)). En este sentido, la integración vertical ha sido aplicada al análisis de estructuras productivas, así como al estudio de las relaciones entre distintas variables económicas y el sistema económico como un todo (ver G. Rampa y L. Rampa (1982); Pasinetti (1988); Heimler (1991); Gregory y Russo (2004); Montesor y Marzetti (2008); Bielsa y Rosa Duarte (2011)). No obstante, no es hasta Alcántara (1995) donde se desarrolla el instrumento de los subsistemas desde una perspectiva medioambiental. En el trabajo citado se lleva a cabo la construcción de subsistemas generadores de contaminación de forma ampliamente desagregada, esto permite analizar las interconexiones contaminantes que tienen lugar en un sistema productivo con el fin de obtener la demanda final de un sector cualquiera.

La desagregación de la actividad productiva en subsistemas tiene interés en tanto en cuanto las decisiones de política económica - ambiental no pueden ser ajenas a las múltiples relaciones intersectoriales que vinculan a cualquier industria con el resto del sistema productivo. Por otro lado, la técnica relaja gran parte de las limitaciones que presentaba el enfoque convencional de los sectores clave y aumenta el potencial explicativo de la clasificación basada en esta propuesta metodológica. Un trabajo relevante en esta línea es Sánchez-Chóliz and Duarte (2003) que complementa y amplía la propuesta realizada por Alcántara (1995). Se trata de una aplicación de la metodología desarrollada en Pasinetti (1977) a la contaminación del agua por la actividad económica en la región española de Aragón. Los autores obtienen cinco índices de medición correspondiente a cada rama productiva y a cada tipo de contaminación. Estos índices representan una significativa mejora respecto a los tradicionales desarrollados en Rasmussen (1956), solucionando algunas de sus

deficiencias. Los autores comparan metodológicamente ambos enfoques y demuestran dicha mejora.

Otros trabajos han utilizado la técnica de los subsistemas en el estudio del impacto ambiental de un sector, o grupo de sectores, en relación con el resto del sistema económico. Es el caso de Alcántara and Padilla (2009), donde los autores proponen una técnica alternativa para la construcción de subsistemas pero sin descomponer la matriz Inversa de Leontief, a diferencia del procedimiento del presente estudio. Seguidamente se aplica la metodología al análisis de las emisiones de CO₂ relacionadas con el conjunto de ramas productivas que conforman el sector servicios. En otro trabajo, Butnar and Llop (2011), se analiza, a través de una descomposición estructural, los cambios estructurales en las emisiones de CO₂ asociadas al subsistema de servicios de la economía española. En cualquier caso, es una metodología poco trabajada, especialmente en los estudios que integran los aspectos medioambientales y económicos. A pesar de esto, en los próximos apartados tratará de demostrarse su potencial analítico y la utilidad de la información obtenida para la evaluación de los impactos sobre la naturaleza.

3.2 Planteamiento metodológico

Como se ha señalado al principio de este capítulo, no siempre estamos interesados en el análisis de los impactos medioambientales de todo el sistema económico, concretamente para este capítulo en la emisión de metano. Pueden existir sectores productivos con la suficiente entidad como para ser analizados por sí mismos. No obstante, nos interesa ver la importancia de una rama productiva o un conjunto de ramas en toda su complejidad: esto es, atendiendo a sus relaciones con el conjunto del sistema productivo. En el marco del análisis input-output, el estudio de un sector particular sin desvincularlo del resto del sistema es posible realizarlo tratando a dicho sector o grupo de ramas productivas como un subsistema que genera un único output final, el del propio sector.

A continuación se expone el proceso de construcción de un subsistema a partir del conocido modelo abierto de *Leontief*. Se mostrará también como, partiendo del desarrollo de la inversa por partes de una matriz, es posible descomponer la Inversa de

Leontief obteniendo una gran cantidad de información relevante sobre el comportamiento particular de una rama productiva, o un agregado de ellas, en relación al conjunto del sistema productivo.

3.2.1 El proceso de construcción de subsistemas económicos

Es bien sabido que con la información que proporcionan las tablas input-output de una determinada economía podemos expresar su sistema productivo como $\mathbf{x} = \mathbf{Ax} + \mathbf{y}$. Como se explicó en el Capítulo 2, esta ecuación constituye un sistema de n ecuaciones cuya solución viene dada por $\mathbf{x} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}\mathbf{y}$, donde $(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \equiv \mathbf{L}$ indica la matriz inversa de *Leontief*.

Como es obvio, al expresar $\hat{\mathbf{y}}$ como una matriz diagonal, este producto determina un conjunto de vectores $\mathbf{x}^{(i)}$ que expresan la cantidad de output que todos los sectores han de realizar para la obtención de la demanda final del sector i -ésimo; esto es, la producción sectorial verticalmente integrada para cada uno de los sectores.

Supóngase que existe un interés en analizar un subconjunto S de ramas productivas que conforman nuestro subsistema de tal manera que $i, j \in S$. Similarmente, R es el conjunto de ramas productivas que no pertenecen a S . Esto es, si $i, j \notin S \rightarrow i, j \in R$.

Ahora, $\begin{bmatrix} \mathbf{y}^S \\ \mathbf{0} \end{bmatrix}$ es el vector de demandas finales de las ramas productivas que pertenecen al conjunto S , en el que, por tanto, el conjunto de demandas finales de las ramas productivas que pertenecen al conjunto R son nulas o cero. Teniendo en cuenta esto, el modelo de *Leontief* puede ser ahora expresado en forma particionada como sigue:

$$\begin{pmatrix} \mathbf{A}_{SS} & \mathbf{A}_{SR} \\ \mathbf{A}_{RS} & \mathbf{A}_{RR} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{x}_S^S \\ \mathbf{x}_R^S \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \mathbf{y}^S \\ \mathbf{0} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{x}_S^S \\ \mathbf{x}_R^S \end{pmatrix} \quad (3.1)$$

donde la matriz \mathbf{A} ($n \times n$) de coeficientes técnicos queda desagregada entre el subconjunto S que forma el subsistema y el resto de sectores. De manera que:

\mathbf{A}_{SS} : representa los coeficientes técnicos relativos a las ramas pertenecientes al subsistema objeto de análisis; esto es, las necesidades de inputs procedentes de las

ramas constitutivas del subsistema necesarias por unidad de producto de estas mismas ramas.

A_{SR} : coeficientes técnicos que expresan las necesidades de inputs procedentes de las ramas constitutivas del subsistema necesarias por unidad de producto de las ramas productivas que no pertenecen al subsistema.

A_{RS} : coeficientes técnicos que expresan las necesidades de inputs procedentes de las ramas productivas no pertenecientes al subsistema necesarias por unidad de producto de las ramas productivas que pertenecen al subsistema.

A_{RR} : representa los coeficientes técnicos relativos a las ramas no pertenecientes al subsistema objeto de análisis. Esto es, las necesidades de inputs, procedentes de las ramas que no constituyen el subsistema, por unidad de producto de estas mismas ramas.

El vector $\begin{bmatrix} \mathbf{x}_S^S \\ \mathbf{x}_R^S \end{bmatrix}$ expresa en forma particionada la producción verticalmente integrada necesaria para la obtención de la demanda final del subconjunto de ramas productivas del subsistema S . Donde, \mathbf{x}_R^S es la producción de los sectores del subconjunto R para satisfacer la demanda final de S y \mathbf{x}_S^S es la producción del subsistema para proveer su propia demanda final. Nótese que (3.1) es la expresión formal desde la perspectiva input-output de un subsistema en el sentido de Sraffa. Y lo que es más significativo, éste se muestra en relación con el conjunto de sus interacciones con el resto de la economía.

Si expresamos la inversa de Leontief en forma particionada, la solución (3.1) vendría dada por:

$$\begin{pmatrix} \mathbf{L}_{SS} & \mathbf{L}_{SR} \\ \mathbf{L}_{RS} & \mathbf{L}_{RR} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{y}^S \\ \mathbf{0} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{x}_S^S \\ \mathbf{x}_R^S \end{pmatrix} \quad (3.2)$$

Con el fin de clarificar las múltiples interrelaciones que se esconden en la expresión (3.2), dicha expresión se podría escribir como sigue:

$$\left[\begin{pmatrix} \mathbf{L}_{SS} & \mathbf{L}_{SR} \\ \mathbf{L}_{RS} & \mathbf{L}_{RR} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \mathbf{I} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{I} \end{pmatrix} \right] \begin{pmatrix} \mathbf{y}^S \\ \mathbf{0} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \mathbf{y}^S \\ \mathbf{0} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{x}_S^S \\ \mathbf{x}_R^S \end{pmatrix} \quad (3.3)$$

De manera que la solución al sistema (3.1) dada en (3.2) podría ser reescrita en forma de sistema de ecuaciones:

$$\begin{aligned} (\mathbf{L}_{SS} - \mathbf{I})\mathbf{y}^S + \mathbf{y}^S &= \mathbf{x}_S^S \\ \mathbf{L}_{RS}\mathbf{y}^S &= \mathbf{x}_R^S \end{aligned} \quad (3.4)$$

La técnica de los subsistemas desarrollada hasta el momento permite, cuanto menos, separar la producción directa e indirectamente necesaria para obtener la demanda final del mismo en tres elementos explicativos, a saber:

- 1) La producción final de las ramas del subsistema que viene dada por el vector \mathbf{y}^S
- 2) La producción de las ramas del propio subsistema necesarias para satisfacer la demanda final del mismo y que vendría dada por la expresión $(\mathbf{L}_{SS} - \mathbf{I})\mathbf{y}^S$
- 3) La producción que el resto de ramas productivas no pertenecientes al subsistema tendrían que realizar para atender las necesidades del subsistema viene dada por $\mathbf{L}_{RS}\mathbf{y}^S$, esto es, la producción indirecta que el subsistema induce al resto de sectores productivos de la economía y que incorpora a su producción.

Como se verá a continuación, aún puede perfilarse una descomposición más amplia de la producción, aunque se hará vinculando la misma a la emisión de contaminantes atmosféricos. El lector notará que la técnica analítica desarrollada es generalizable al estudio de cualquier variable inequívocamente relacionada con los niveles productivos de la economía.

3.2.2 Subsistemas y generación de contaminantes

En lo que sigue se aplicará la metodología anterior al análisis de los subsistemas como generadores de contaminación. Esta técnica permitirá la descomposición del vector de contaminación directa e indirectamente generada por un sector o conjunto de ramas productivas constitutivas de un subsistema con el fin de obtener su demanda final. Esta descomposición constituye distintos componentes explicativos que perfilan los procesos e interacciones que permiten mostrar los entresijos de la emisión.

Sea $\mathbf{e}^{S'}$ un vector fila ($1 \times s$) de coeficientes directos de emisión, cuyo elemento característico e_i expresa la cantidad de contaminación, en nuestro caso CH_4 , por unidad producida por cada subsector i perteneciente al subsistema ($\text{kg}/\text{€}$). Y, similarmente, $\mathbf{e}^{R'}$ un vector fila ($1 \times r$) de coeficientes directos de contaminación por los diferentes subsectores no pertenecientes al subsistema. Distinguiendo entre ambos coeficientes, puede expresarse el vector de contaminación en forma de matriz por bloques:

$$\begin{pmatrix} \mathbf{e}^{S'} & 0 \\ 0 & \mathbf{e}^{R'} \end{pmatrix} \quad (3.5)$$

Ahora, puede expresarse el sistema de ecuaciones (3.4) en términos de contaminación generada por la producción como sigue:

$$\begin{aligned} \mathbf{e}^{S'}(\mathbf{L}_{SS} - I)\mathbf{y}^S + \mathbf{e}^{S'}\mathbf{y}^S &= \mathbf{e}^{S'}\mathbf{x}_S^S \\ \mathbf{e}^{R'}\mathbf{L}_{RS}\mathbf{y}^S &= \mathbf{e}^{R'}\mathbf{x}_R^S \end{aligned} \quad (3.6)$$

Nótese que cada elemento de la expresión (3.6) es ahora un escalar. Si sumamos las dos igualdades tendríamos:

$$\mathbf{e}^{S'}(\mathbf{L}_{SS} - I)\mathbf{y}^S + \mathbf{e}^{R'}\mathbf{L}_{RS}\mathbf{y}^S + \mathbf{e}^{S'}\mathbf{y}^S = \mathbf{e}^{S'}\mathbf{x}_S^S + \mathbf{e}^{R'}\mathbf{x}_R^S = \mathbf{e}'\mathbf{x}^S \quad (3.7)$$

Como puede observarse, la emisión total asociada al subsistema, tanto de forma directa en su proceso productivo, como indirecta, incorporada en los inputs productivos utilizados de otros sectores, queda descompuesta en los distintos elementos que conforman la expresión (3.7). Aunque esta descomposición no deja de ser interesante, conviene notar que el primer sumando de la parte izquierda esconde información relevante que la expresión no pone de manifiesto. En efecto, esta expresión muestra la emisión total generada por las distintas ramas pertenecientes al subsistema con el fin de hacer posible los inputs del propio subsistema que se utilizan en la obtención de su demanda final. Sin embargo, este total tiene, al menos, dos componentes, 1) los inputs del propio subsistema que son incorporados en la demanda final y 2) aquellos que han sido utilizados por el resto de ramas en la producción de inputs para el subsistema. Como veremos a continuación, la determinación de estos dos elementos no es compleja si tenemos en cuenta la inversión por partes de una matriz.

A partir de (3.6), teniendo en cuenta la expresión para el cálculo de la inversa por partes de una matriz cuadrada $\mathbf{L}_{SS} = (\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS})^{-1}(\mathbf{I} + \mathbf{A}_{SR}\mathbf{L}_{RS})$ y realizando algunas operaciones, el sistema de ecuaciones puede describirse como:

$$\begin{aligned} \mathbf{e}^{S'}[(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS})^{-1} - \mathbf{I}]\mathbf{y}^S + \mathbf{e}^{S'}(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}\mathbf{A}_{SR}\mathbf{L}_{RS}\mathbf{y}^S + \mathbf{e}^{S'}\mathbf{y}^S &= \mathbf{e}^{S'}\mathbf{x}_S^S \\ \mathbf{e}^{R'}\mathbf{L}_{RS}\mathbf{y}^S &= \mathbf{e}^{R'}\mathbf{x}_R^S \end{aligned} \quad (3.8)$$

Por lo tanto, la contaminación generada por el proceso productivo de un subsistema puede descomponerse en los efectos explicativos que se presentan a continuación. Nótese que si expresamos la demanda final como una matriz diagonal $\hat{\mathbf{y}}^S$, podemos determinar la responsabilidad particular de cada una de las ramas productivas que componen el subsistema en la magnitud total de cada efecto. Bastará con sumar los elementos de cada columna i de la matriz resultante de cada efecto.

3.2.2.1 Efecto propio neto

El primer sumando de la izquierda de la primera ecuación de (3.8) expresa la emisión total debida a la naturaleza productiva del propio subsistema como un todo. Este componente, que podríamos llamar efecto propio, puede descomponerse en tres efectos distintos que se producen dentro del subsistema (ver apéndice 3.A). Esta descomposición añade un mayor poder explicativo y profundidad de análisis al planteamiento realizado en Navarro and Alcántara (2010). El primero de estos tres efectos se corresponde con la contaminación asociada a los inputs propios que cada sector de S necesita para satisfacer su propia demanda final y viene dado por:

$$PN = \mathbf{e}^{S'}\mathbf{A}_{SS}^D[(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS})^{-1}]\hat{\mathbf{y}}^S \quad (3.9)$$

donde la matriz \mathbf{A}_{SS}^D ($s \times s$) se obtiene operando una descomposición de la matriz de coeficientes técnicos del subsistema \mathbf{A}_{SS} , tal que $\mathbf{A}_{SS} = \mathbf{A}_{SS}^D + \mathbf{A}_{SS}^0$. La matriz \mathbf{A}_{SS}^D ($S \times S$) contiene la diagonal principal de \mathbf{A}_{SS} , mientras el resto de sus elementos son ceros. La matriz \mathbf{A}_{SS}^0 ($s \times s$) contiene el resto de elementos de \mathbf{A}_{SS} y ceros en la diagonal principal. De la misma manera se procederá para los dos efectos siguientes con la matriz $[(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS})^{-1}] = [(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS})^{-1}]^D + [(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS})^{-1}]^0$

3.2.2.2 Efecto spillover interno

El segundo efecto incorporado en el primer sumando se corresponde con un efecto *spillover* entre los sectores que forman el subsistema. Esto es, la emisión asociada a la producción requerida por un determinado sector perteneciente a S de otros sectores del subsistema.

$$SPI = \mathbf{e}^{S'} \mathbf{A}_{SS}^0 [(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS})^{-1}]^0 \hat{\mathbf{y}}^S \quad (3.10)$$

3.2.2.3 Efecto feed-back interno

El tercer efecto se corresponde con un *feed-back* interno entre los sectores del subsistema. Este efecto expresa la contaminación asociada a la producción de inputs producidos por cada sector del subsistema utilizados por el conjunto de sectores pertenecientes al mismo y que finalmente sirven para satisfacer la demanda final de cada sector de S . La consideración de este efecto tiene una destacada relevancia, puesto que nos permite captar la capacidad de retroalimentación dentro del subsistema que tiene cada uno de los sectores que lo componen. Así mismo, permite una comparación directa con el *feed-back* externo, con el objetivo de evaluar las relaciones internas al subsistema frente a las establecidas con el resto de sectores fuera de éste. Nótese que no se incluyen las relaciones de cada sector con el mismo ya incluidas en el efecto propio.

$$FBI = \mathbf{e}^{S'} \mathbf{A}_{SS}^0 [(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS})^{-1}]^D \hat{\mathbf{y}}^S \quad (3.11)$$

3.2.2.4 Efecto feed-back externo

Puede denominarse efecto *feed-back* externo al segundo sumando a la izquierda de la primera ecuación. Este componente recoge la contaminación asociada a la producción de inputs producidos por el subsistema, utilizados por el conjunto de sectores no pertenecientes a éste y que finalmente sirven para satisfacer la demanda final de los sectores de S .

$$FBE = \mathbf{e}^{S'} (\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS})^{-1} \mathbf{A}_{SR} \mathbf{L}_{RS} \hat{\mathbf{y}}^S \quad (3.12)$$

3.2.2.5 Efecto escala

El tercer sumando constituye el efecto escala o efecto demanda final y representa la emisión directamente relacionada con la demanda final del subsistema. Este efecto

dependerá de la escala de la demanda final y de la cantidad de contaminación generada directamente.

$$ES = \mathbf{e}^{S'} \hat{\mathbf{y}}^S \quad (3.13)$$

3.2.2.6 Efecto spillover externo

La segunda ecuación recoge la cantidad de contaminación generada por el resto de sectores en la producción de los inputs que han sido vendidos al subsistema objeto de análisis. Puede llamarse a este montante efecto *spillover*. Nótese que este efecto es un *backward linkage* (efecto de arrastre) puro.

$$SPE = \mathbf{e}^{R'} \mathbf{L}_{RS} \hat{\mathbf{y}}^S \quad (3.14)$$

La contaminación total, directa e indirecta, asociada a la producción del subsistema viene dada por:

$$E^S = PN + SPI + FBI + FBE + ES + SPE \quad (3.15)$$

Por otro lado, puede ser de utilidad captar aquella contaminación generada directamente por el subsistema pero incorporada en los outputs vendidos a otras ramas productivas no pertenecientes al mismo. A partir de la ecuación (3.3), considerando ahora el vector de demanda final para los sectores no pertenecientes al subsistema $\begin{bmatrix} 0 \\ \mathbf{y}^R \end{bmatrix}$:

$$\left[\begin{pmatrix} \mathbf{L}_{SS} & \mathbf{L}_{SR} \\ \mathbf{L}_{RS} & \mathbf{L}_{RR} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \mathbf{I} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{I} \end{pmatrix} \right] \begin{pmatrix} \mathbf{0} \\ \mathbf{y}^R \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \mathbf{0} \\ \mathbf{y}^R \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{x}_R^R \\ \mathbf{x}_S^R \end{pmatrix} \quad (3.16)$$

La emisión generada en el subsistema para satisfacer la demanda final del resto sectores viene dada por la expresión:

$$\mathbf{e}^{S'} \mathbf{L}_{SR} \hat{\mathbf{y}}^R \quad (3.17)$$

3.3 Descripción de los datos utilizados

Atendiendo a la información obtenida en la estimación de la contabilidad de emisiones atmosféricas para Cataluña presentadas en el Capítulo 2, la emisión total de metano en el 2005 generada por los distintos sectores productivos ascendió a unas 315.349 toneladas. En cuanto a la información sobre el resto de España, el Instituto Nacional de Estadística (INE) publica las cuentas ambientales de distintos tipos de contaminantes para el total de España, entre ellos el metano (INE, 2011). Descontando a éstas las estimadas en este trabajo para Cataluña, se obtienen las correspondientes al resto de España necesarias para la parte del análisis comparativo de este estudio.

Este proceso ha requerido adaptar la clasificación sectorial de las cuentas ambientales catalanas estimadas (43 sectores) a la proporcionada por el INE, con un nivel menor de desagregación (29 sectores). No obstante, tanto el impacto del mismo subsistema como el peso de las relaciones con el resto de la economía, en términos de CH₄, se concentran en sectores que no se han visto afectados por dicha agregación, excepto en algún caso que se explica más adelante. En cualquier caso, por motivos prácticos los resultados serán presentados a 18 sectores. La correspondencia entre la clasificación sectorial utilizada en las cuentas del aire y ésta se presenta en la Tabla 3.B.1.

El sector primario correspondiente a las actividades² de agricultura, ganadería, silvicultura y pesca que se presenta de forma agregada en las cuentas ambientales para Cataluña, si se considera de forma agregada, puede causar algún error que debe valorarse. El procedimiento más rigurosos sería aquel que permitiera desagregara detalladamente las actividades en las que se concentra las emisiones de CH₄, relacionadas principalmente con la ganadería del porcino y el vacuno.

Las tablas input-output no ofrecen este nivel de desagregación, por lo que se requeriría de otras fuentes estadísticas. El arduo trabajo que conlleva la desagregación de un sector es sobradamente conocido en el campo del input-output y es probable que la separación de las actividades de la agricultura de las actividades ganaderas no aportase grandes cambios al análisis del impacto del subsistema agroalimentario, dado la similitud de ambas ramas en las relaciones con el resto de sectores productivos. En

² Códigos TIOC 01, 02 y 03 respectivamente.

cualquier caso no debe descartarse la evaluación de esta opción para futuras investigaciones.

Sí es posible y deseable separar las actividades de pesca y selvicultura y explotación forestal. Especialmente en el caso de la segunda se ha encontrado algún error importante debido a las relaciones que mantiene con el sector de las industrias de la madera y el papel. De todas formas la importancia de ambas actividades en el impacto total del metano no alcanza el 0,05% del total de sectores. Por este motivo, aunque se han considerado por separado en el proceso de cálculo, sus resultados se presentan integrados dentro del sector primario de la agricultura y ganadería.

3.4 Aplicación y resultados

3.4.1 Una visión general de las emisiones de metano y las relaciones intersectoriales

Con el objetivo de establecer una visión general de la situación de los distintos sectores en cuanto a las emisiones de metano se ha elaborado la Tabla 3.1 (datos ya presentados en el Capítulo 2 a 43 sectores).

La emisión total, directa e indirecta, generada para satisfacer la demanda final de los sectores que forman el subsistema, “Agricultura, ganadería y pesca” (sector 1) e “Industria de alimentación, bebidas y tabaco” (sector 3), supuso el 40,6% de la emisión generada por el total de las ramas productivas, con un mayor peso del sector 3 cuya explicación se expondrá más adelante. En este sentido, vemos la importancia de estas actividades en la emisión de este importante Gas de efecto invernadero y la relevancia de las relaciones intersectoriales entre ambas, lo que justifica el interés que suscita el análisis de estas dos actividades en forma de un subsistema integrado y el estudio los entresijos de estas relaciones³.

De esta manera puede llegarse a conclusiones sobre su impacto en términos de metano, las causas de estos impactos y, por tanto, obtener información que nos permita ayudar a orientar determinadas políticas ambientales en el futuro.

³ Un ejemplo que evidencia este hecho es el llamado modelo de ganadero industrial de Cataluña, rasgo más distintivo de la industrialización del sector primario en la economía catalana.

Tabla 3.1. Emisiones directas y totales de CH₄ generadas en Cataluña por el total de sectores (t)

<i>Sectores productivos</i>	Emisión directa de CH ₄	% emisión directa economía	Emisión total de CH ₄	% Emisión total economía
1- Agricultura, ganadería y pesca	152950,6	48,5%	59178,7	18,8%
2- Minería, coquerías, refinado y combustibles nucleares	3125,3	1,0%	1937,7	0,6%
3- Industria de alimentación, bebidas y tabaco	1806,2	0,6%	68874,6	21,8%
4- Industria textil, peletería y cuero	632,0	0,2%	1580,5	0,5%
5- Industria del papel, madera y artes gráficas	1522,8	0,5%	4558,7	1,4%
6- Industria química	5582,2	1,8%	7988,8	2,5%
7- Otras industrias no metálicas	3130,3	1,0%	3416,6	1,1%
8- Metalurgia	262,6	0,1%	558,5	0,2%
9- Productos metálicos	260,0	0,1%	608,8	0,2%
10- Industria eléctrica, electrónica y maquinaria	197,6	0,1%	1232,6	0,4%
11- Industria del transporte	233,5	0,1%	1340,1	0,4%
12- Otras industrias	325,0	0,1%	966,2	0,3%
13- Producción y distribución de energía	24461,0	7,8%	10738,3	3,4%
14- Construcción	264,0	0,1%	1983,1	0,6%
15- Hostelería	17,1	0,0%	22555,8	7,2%
16- Transporte	830,8	0,3%	1977,2	0,6%
17- Servicios empresariales	107,9	0,0%	6220,6	2,0%
18- Sector público y otros servicios sociales	119640,7	37,9%	119632,8	37,9%
TOTAL	315349,7	100,0%	315349,7	100,0%

No obstante, estos sectores muestran diferencias relevantes en cuanto a sus relaciones intersectoriales y la generación directa de metano. Respecto a la “Agricultura, ganadería y pesca”, la emisión directa de CH₄ supone casi la mitad –el 48,5%– de la total generada por la economía. Si se compara este porcentaje con el 18,8% que supone el sector verticalmente integrado, se observa como esta rama productiva produce en buena parte para el resto de sectores. Esta desviación se debe principalmente a la necesidad que tienen otras ramas productivas de productos procedentes del sector agrario, mostrando así los importantes *backward linkage* existentes en el sistema productivo sobre este sector.

En cambio el sector de la “Industria de alimentación, bebidas y tabaco” destaca por el sentido inverso de sus interrelaciones sectoriales. Si se compara el peso de su emisión total, directa más indirecta, –21,8%– con la generada directamente –el 0,6%–, se observa la importancia de los *backward linkage* en términos de emisión de metano en la demanda final de este sector. Tanto es así, que los efectos indirectos componen prácticamente la totalidad de la responsabilidad final de esta rama productiva.

El hecho que la emisión directa asociada a la producción del subsistema en conjunto -49,1%- sea superior a la asociada a su demanda final -40,6%-, pone de manifiesto una propensión mayor a servir como input a otros sectores en relación a la satisfacción directa de su demanda final.

Desde la óptica del poder de arrastre de otras ramas productivas, también merece la pena destacar la “Hostelería”. Es conocida la relevancia que tienen en la estructura de inputs de este sector las compras realizadas a los sectores que forman el subsistema agroalimentario. Este aspecto queda plasmado en el peso su emisión total, directa más indirecta, -un 7%- , teniendo una importancia irrelevante en cuanto a su emisión directa.

Un sector importante en cuanto a la emisión directa asociada a su producción, es el sector de la “Producción y distribución de energía”. Sin embargo, tras la integración vertical, las emisiones directas de esta rama productiva están repartidas entre los distintos sectores de la economía catalana a los que este sector vende inputs. En este proceso, la emisión total correspondiente a la demanda final de este sector queda reducida a algo más de la mitad. De hecho, una gran parte de la mayor emisión total respecto a la directa de sectores como los “Servicios empresariales” viene explicado por la incorporación de inputs (energía eléctrica) en su proceso productivo procedentes del sector en cuestión.

Por último, es necesario destacar la importancia que la rama productiva de “Actividades sociales y otros servicios” tiene sobre la emisión de metano total generada en la economía. Ésta se concentra en su práctica totalidad en la actividad de saneamiento público, llegando a representar el 33,5% de la emisión total. Como se verá, este sector no tiene una relación relevante con el subsistema que se estudia aquí.

En el siguiente apartado, se emplea la metodología desarrollada en la sección previa para analizar la importancia de los diferentes factores que caracterizan las emisiones causadas por las diferentes ramas productivas del subsistema.

3.4.2 Análisis del subsistema agroalimentario catalán

En la Tabla 3.2 se muestra el resultado conjunto de los distintos efectos que determinan las relaciones del subsistema sobre el conjunto del sistema productivo. Así, la emisión total se descompone en seis efectos relacionados con el funcionamiento

interno del sector en relación a sus vínculos intersectoriales con el resto del sistema económico. Por un lado, el efecto *spillover* interno representa, con el 48,8% de la emisión total generada por el subsistema, el efecto explicativo más importante del mismo. El peso de este efecto se concentra en la “Industria de alimentación, bebidas y tabaco”, expresando de esta manera la importancia de los *backward linkage* de esta rama productiva sobre la “Agricultura, ganadería y pesca”.

Tabla 3.2. Descomposición de las emisiones de metano del subsistema agroalimentario de Cataluña (t)

<i>EFFECTOS</i>	Rama agricultura y ganadería	% sobre total S	Rama industria alimenticia	% sobre total S	Efecto total subsistema	% sobre total S	% sobre total economía
Propio neto	2591,3	2,0%	3047,8	2,4%	5639,1	4,4%	1,7%
<i>Spillover</i> interno	22,9	0,0%	62432,5	48,8%	62455,4	48,8%	19,8%
<i>Feed-back</i> interno	1081,3	0,8%	25,4	0,0%	1106,6	0,9%	0,3%
<i>Feed-back</i> externo	11,7	0,0%	217,6	0,2%	229,3	0,2%	0,1%
Escala	55232,4	43,1%	1295,1	1,0%	56527,5	44,1%	17,9%
<i>Spillover</i> externo	239,2	0,2%	1856,3	1,4%	2095,5	1,6%	0,7%
Emisión total CH4	59178,7		68874,6		128053,3		40,6%
% sobre subsistema agregado		46,21%		53,79%		100%	

Por otro lado, el denominado efecto escala explica el 44,1% de la emisión total del subsistema. En este caso, el peso de este efecto se concentra exclusivamente en el sector de la “Agricultura, ganadería y pesca”. Esto no es extraño, puesto que, a parte de la información que refleja Tabla 3.1 en cuanto a las relaciones intersectoriales, más del 36% del output final de este sector tiene como destino directo la demanda final. En consecuencia, el volumen de la demanda final de este sector explica la mayor parte de su responsabilidad dentro del subsistema y, por lo tanto, en la economía.

La suma de estos dos efectos explica, con un 19,8% y un 17,9% respectivamente, el destacado peso del subsistema agroalimentario en el total de la economía en términos de emisiones de metano. Habría que añadir el efecto propio neto como el tercer efecto en cuanto a importancia en la generación de CH₄.

Nótese que la suma de los efectos *feed-back* externo y *spillover* externo no alcanza el 2% del metano total asociado al subsistema. Esto hace que no sea de interés empírico profundizar en su estudio, ya que en el caso de que su relevancia fuera mayor,

la metodología permitiría revelar sobre qué sectores externos al subsistema se concentra el peso de estas relaciones.

Aunque no tiene demasiada relevancia en la emisión total, es interesante destacar el efecto *feed-back* interno por lo que revela sobre el funcionamiento interno del subsistema. Este dato indica que la “Agricultura, ganadería y pesca” vende productos a la “Industria de alimentación, bebidas y tabaco” que utiliza en su producción de outputs que finalmente vende a la primera. Algo que no sucede en sentido contrario, mostrando así parte del carácter interno del subsistema. Esto pone de manifiesto la profundidad de análisis que la metodología desarrollada permite, demostrando la utilidad del planteamiento presentado.

La distribución porcentual del peso de la emisión asociada al subsistema es realmente interesante. Ésta refleja una limitada vinculación, desde la perspectiva del análisis que nos ocupa, del subsistema con el resto de ramas productivas, dada la baja magnitud de los efectos externos. Esto es, no se puede explicar su impacto de acuerdo a su potencial de arrastre del resto de sectores del sistema económico. Por lo tanto, puede afirmarse que prácticamente la totalidad del metano, directa e indirectamente, emitido por el subsistema agroalimentario se genera en su interior, de acuerdo con las relaciones intersectoriales de las ramas productivas que lo forman. La consecuencia inmediata de esta constatación es la necesidad de centrar las políticas ambientales en el propio sector, antes que en políticas de demanda más encaminadas a ramas productivas con un alto efecto *spillover*.

Para un análisis más completo, la Tabla 3.3 muestra la estimación del subsistema agroalimentario correspondiente al resto de España (RE) como una región. El objetivo es realizar un análisis comparativo entre ambas regiones y captar posibles patrones diferenciadores entre Cataluña y el RE, en términos de emisiones de metano, a tener en cuenta en la formalización de políticas ambientales.

La comparación de la Tabla 3.2 y la Tabla 3.3 pone de manifiesto algunas diferencias sustanciales entre ambos subsistemas en relación al conjunto de la economía. Los resultados muestran una leve diferencia en el peso del subsistema agroalimentario del RE sobre el total de la economía (43,3%) respecto al catalán. Si bien este hecho podría indicar el mayor peso de estas actividades en la estructura productiva del RE, debido especialmente a las actividades agrícolas, la leve magnitud de la diferencia hace que no pueda extraerse una conclusión clara en este sentido.

Tabla 3.3. Descomposición de las emisiones de metano del subsistema agroalimentario del resto de España (t)

<i>EFECTOS</i>	Rama agricultura y ganadería	% sobre total S	Rama industria alimenticia	% sobre total S	Efecto total subsistema	% sobre total S	% sobre total economía
Propio neto	15737,7	2,55%	11739,3	1,90%	27477,0	4,45%	2,06%
<i>Spillover</i> interno	188,2	0,03%	233141,4	37,78%	233329,6	37,81%	17,51%
<i>Feed-back</i> interno	11281,5	1,83%	130,5	0,02%	11412,0	1,85%	0,86%
<i>Feed-back</i> externo	1114,4	0,18%	4458,3	0,72%	5572,7	0,90%	0,42%
Escala	324806,6	52,64%	3758,3	0,61%	328564,9	53,25%	24,65%
<i>Spillover</i> externo	2349,4	0,38%	8374,3	1,36%	10723,7	1,74%	0,80%
Emisión total CH4	355477,7		261602,2		617079,9		43,30%
% sobre subsistema agregado		57,61%		42,39%		100%	

Sin embargo, sí que existe una diferencia clara entre ambas regiones en la composición de los efectos explicativos internos al subsistema. Al contrario que en el subsistema catalán, el estimado para el RE viene explicado de forma más significativa por el efecto escala de la “Agricultura, ganadería y pesca”, por delante del efecto *spillover* interno de la “Industria de alimentación, bebidas y tabaco”. Dos son las causas principales que explican este hecho. Primero, el mayor peso que las actividades agrícolas primarias tienen dentro del subsistema del RE respecto a su homólogo catalán⁴. Y segundo, el hecho que en la región del RE están integradas regiones con una alta especialización agrícola, tales como Andalucía y Castilla-La Mancha, con un mayor porcentaje de su producción destinado directamente a la demanda final.

3.4.3 Emisiones inducidas del resto de sectores sobre el subsistema agroalimentario

Se ha comentado al comienzo de esta sección que las emisiones asociadas a la demanda final del subsistema agroalimentario son menores que las emitidas directamente en su proceso productivo. Esto pone de manifiesto el hecho de que el subsistema se ve inducido por la demanda final del resto de sectores de la economía.

⁴ En el RE el output total doméstico de la “Agricultura, ganadería y pesca” supone el 34% del output del subsistema, mientras que en el caso de Cataluña, este porcentaje no alcanza el 18% (INE, 2010)

Aunque su estudio queda fuera del análisis del impacto asociado al subsistema agroalimentario, el rol que juega con el resto de la economía hace que sea interesante señalar en qué sectores se concentran los efectos de arrastre sobre su producción.

La Tabla 3.4 muestra el destino de las emisiones de metano generadas de forma directa en la actividad de cada uno de los subsectores que forman el subsistema agroalimentario. Los resultados indican que de las 28.799 toneladas de CH₄ generadas por el subsistema, emitidas prácticamente en su totalidad por la “Agricultura, ganadería y pesca”, un 76% tienen como destino el sector de la “Hostelería”, en consonancia con lo expuesto al inicio de esta sección. De hecho, la práctica totalidad de estas emisiones (92%) se concentran en los sectores de servicios.

Tabla 3.4. Emisiones generadas por el subsistema agroalimentario para el resto de la economía (t)

<i>Sectores productivos</i>	Emisiones para el resto de la economía			
	Rama agricultura y ganadería	Rama industria alimenticia	Total S	% sobre total
2- Minería, coquerías, refino y combustibles nucleares	6,7	0,0	6,7	0%
4- Industria textil, peletería y cuero	400,1	3,3	403,4	1%
5- Industria del papel, madera y artes gráficas	184,0	1,8	185,8	1%
6-Industria química	814,9	10,3	825,2	3%
7-Otras industrias no metálicas	215,2	0,6	215,8	1%
8-Metalurgia	54,3	0,1	54,4	0%
9-Productos metálicos	86,3	0,2	86,6	0%
10- Industria eléctrica, electrónica y maquinaria	227,8	0,7	228,4	1%
11-Industria del transporte	122,6	0,5	123,1	0%
12-Otras industrias	138,1	0,3	138,4	0%
13-Producción y distribución de energía	21,6	0,2	21,8	0%
14-Construcción	182,4	0,7	183,1	1%
15-Hostelería	21540,0	236,8	21776,8	76%
16-Transporte	166,6	0,8	167,3	1%
17- Servicios empresariales	1358,5	4,1	1362,6	5%
18- Sector público y otros servicios sociales	2999,3	20,2	3019,5	10%
TOTAL	28518,4	280,6	28799,0	100%

3.5 Conclusiones

El análisis de subsistemas input-output se presenta como una herramienta verdaderamente útil en el estudio de la estructura productiva de cada sector de acuerdo a las relaciones intersectoriales con el resto de ramas productivas que componen la economía. Mediante esta técnica se ha analizado los sectores de la “Agricultura, ganadería y pesca” y la “Industria de alimentación, bebidas y tabaco” de la economía catalana como un subsistema integrado en relación a su impacto en términos de contaminación de gas metano. La metodología presentada permite la descomposición del subsistema en seis efectos explicativos en función de los vínculos intersectoriales existentes con el resto de sectores económicos, dentro y fuera del subsistema considerado. Este planteamiento mejora claramente el potencial explicativo de esta técnica en los estudios de impactos ambientales frente a trabajos desarrollos anteriores. Su aplicación aporta interesantes resultados al análisis integrado entre el sistema económico y el medio ambiente.

Del análisis realizado destaca, en primer lugar, el importante peso que tiene el subsistema agroalimentario construido. Según la estimación realizada, la emisión de metano total generada, directa e indirectamente, por las actividades que componen dicho subsistema asciende a 128.053 toneladas, un 40,6% de la emisión generada por el total de las ramas productivas de la economía catalana.

En segundo lugar, cabe señalar la necesidad considerar los distintos comportamientos intersectoriales que presentan las dos ramas productivas que forman el subsistema construido, los cuales tienen un carácter distinto en relación a los efectos estimados. Respecto a la “Agricultura, ganadería y pesca”, el efecto escala, correspondiente al volumen de su demanda final, supone prácticamente la totalidad de la emisión asociada a esta actividad dentro del subsistema, representando sobre dicho sector el 43,1%.

En cuanto a la “Industria de alimentación, bebidas y tabaco”, destaca el efecto *spillover* interno con un 48,8% sobre la emisión de metano asociada al subsistema. Este efecto está relacionado directamente con el elevado poder de arrastre que esta actividad tiene sobre el sector de la “Agricultura, ganadería y pesca” para la elaboración de su demanda final. Al estar ambas actividades integradas en un mismo subsistema, este impacto se considera un efecto interno.

Los resultados muestran una relevancia inferior al 2% en el conjunto de efectos que explican el impacto asociado al subsistema de acuerdo a las relaciones con el resto de sectores de la economía. En consecuencia, la responsabilidad del subsistema agroalimentario viene explicada, prácticamente en su totalidad, por los efectos que se producen en su interior de acuerdo a las emisiones de las actividades que lo forman.

Esta información encuadra claramente la implementación de políticas que tengan como objetivo limitar las emisiones de estos gases de efecto invernadero. Si bien en ciertas actividades de servicios deberían considerarse su responsabilidad última como demandantes de inputs con un alto impacto ambiental incorporado, en este caso deben dirigirse directamente a las ramas productivas que forman el subsistema agroalimentario estudiado. La razón es que los efectos de arrastre sobre el resto de la economía son prácticamente nulos en cuanto a este tipo de emisiones.

3.6 Bibliografía

- Alcántara, V. (1995). *Economía y contaminación atmosférica: hacia un nuevo enfoque desde el análisis input-output*. Tesis doctoral. Barcelona: 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*, 68(3), pp.905–914.
- 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*, 35(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*, 70(11), pp.2012–2019.
- 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*, 15(11), pp.3647–3732.
- Chen, Z.M.; Chen, G.Q.; Zhou, J.B.; Jianga, M.M.; Chen, B. (2010). “Ecological input–output modeling for embodied resources and emissions in Chinese economy 2005”. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 15(7), pp.1942–1965.
- Cheng, Y.-P., Wang, L. y Zhang, X.-L. (2011). “Environmental impact of coal mine methane emissions and responding strategies in China”. *International Journal of*
- Datta, A.; Nayaka, D.R.; Sinhababua, D.P.; Adhya, T.K. (2009). “Methane and nitrous oxide emissions from an integrated rainfed rice–fish farming system of Eastern India”. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 129(1–3), pp.228–237.
- Deprez, J. (1990). “Vertical integration and the problem of fixed capital”. *Journal of Postkeynesian Economics*, 13, pp.47–64.
- Gregory, M. y Russo, G. (2004). *The Employment Impact of Differences in Demand and Production*. AIAS, Amsterdam Institute for Advanced Labour Studies. Disponible en: <http://ideas.repec.org/p/aia/dempat/wp10.html> [Accedido abril 22, 2012].
- Heimler, A. (1991). “Linkages and Vertical Integration in the Chinese Economy”. *The Review of Economics and Statistics*, 73(2), pp.261–67.

- INE (2010). *Contabilidad Regional de España. Serie 2000-2008*. Madrid: Instituto Nacional de Estadística. Disponible en: <http://www.ine.es> [Accedido junio 20, 2011].
- INE (2011). *Cuentas satélite sobre emisiones atmosféricas. Serie 1995-2008*. Madrid: Instituto Nacional de Estadística. Disponible en: <http://www.ine.es> [Accedido junio 20, 2011].
- Karakurt, I.; Aydin, G.; Aydiner, K. (2012). “Sources and mitigation of methane emissions by sectors: A critical review”. *Renewable Energy*, 39(1), pp.40–48.
- Luo, D. y Dai, Y. (2009). “Economic evaluation of coalbed methane production in China”. *Energy Policy*, 37(10), pp.3883–3889.
- Luo, D.; Dai, Y.; Xia, L. (2011). “Economic evaluation based policy analysis for coalbed methane industry in China”. *Energy*, 36(1), pp.360–368.
- Montresor, S. y Marzetti, G.V. (2008). “The deindustrialisation/tertiarisation hypothesis reconsidered: a subsystem application to the OECD7”. *Cambridge Journal of Economics*, 35, pp.401–421.
- Navarro, F. y Alcántara, V. (2010). “Las emisiones de metano (CH₄) en el subsistema agroalimentario catalán: un análisis input-output alternativo”. *Economía Agraria y Recursos Naturales*, 10(2), pp.25–39.
- 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*, 12(1), pp.125–134.
- Rampa, G. y Rampa, L. (1982). “Sulmutamento tecnologico nell’economia italiana, 1959-1975: un’analisi input-output”. *Ricerche Economiche*, 4, 303–341 XXXVI.
- Rasmussen, P.N. (1956). *Studies in inter-sectoral relations*. Amsterdam: E. Harck.
- 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*, 27(3), pp.433–448.
- Serrano, M. y Dietzenbacher, E. (2010). “Responsibility and trade emission balances: An evaluation of approaches”. *Ecological Economics*, 69(11), pp.2224–2232.
- Siniscalco, D. (1982). “Il sistema produttivo: analisi per industrie e sottosistemi.” *Ricerche Economiche*, 4, 475–488 XXXVI.
- Sraffa, P. (1960). *Production of commodities by means of commodities: prelude to a critique of economic theory*. Cambridge University Press, CUP Archive.

- Subak, S. (1995). "Methane embodied in the international trade of commodities: Implications for global emissions". *Global Environmental Change*, 5(5), pp.433–446.
- Walsh, C.; O'Regan, B.; Moles, R. (2009). "Incorporating methane into ecological footprint analysis: A case study of Ireland". *Ecological Economics*, 68(7), pp.1952–1962.
- Zhang, B. y Chen, G.Q. (2010)." Methane emissions by Chinese economy: Inventory and embodiment analysis". *Energy Policy*, 38(8), pp.4304–4316.

Apéndice

3.A. Descomposición del efecto propio

Partiendo del primer sumando de la primera ecuación de la expresión (3.8), el efecto propio viene dado por:

$$\mathbf{e}^{S'}[(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS})^{-1} - \mathbf{I}]\hat{\mathbf{y}}^S \quad (3.A.1)$$

donde $[(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS})^{-1} - \mathbf{I}]$ puede expresarse⁵ como $\mathbf{A}_{SS}(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS})^{-1}$ y utilizando $\mathbf{A}_{SS} = \mathbf{A}_{SS}^D + \mathbf{A}_{SS}^0$, la descomposición de este efecto recogido en las expresiones (3.9) y (3.10) se puede escribir de la siguiente manera:

$$\mathbf{e}^{S'}[(\mathbf{A}_{SS}^D + \mathbf{A}_{SS}^0)(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS})^{-1}]\hat{\mathbf{y}}^S = \mathbf{e}^{S'}\mathbf{A}_{SS}^D[(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS})^{-1}]\hat{\mathbf{y}}^S + \mathbf{e}^{S'}\mathbf{A}_{SS}^0[(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS})^{-1}]\hat{\mathbf{y}}^S \quad (3.A.2)$$

donde considerando por separado en el segundo sumando $[(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS})^{-1}] = [(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS})^{-1}]^D + [(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS})^{-1}]^0$, éste puede descomponerse en:

$$\mathbf{e}^{S'}\mathbf{A}_{SS}^0[(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS})^{-1}]\hat{\mathbf{y}}^S = \mathbf{e}^{S'}\mathbf{A}_{SS}^0[(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS})^{-1}]^D\hat{\mathbf{y}}^S + \mathbf{e}^{S'}\mathbf{A}_{SS}^0[(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS})^{-1}]^0\hat{\mathbf{y}}^S \quad (3.A.3)$$

Así, el efecto propio inicial queda descompuesto en tres efectos, a saber:

$$\begin{aligned} &\mathbf{e}^{S'}[(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS})^{-1} - \mathbf{I}]\hat{\mathbf{y}}^S = \\ &\mathbf{e}^{S'}\mathbf{A}_{SS}^D[(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS})^{-1}]\hat{\mathbf{y}}^S + \mathbf{e}^{S'}\mathbf{A}_{SS}^0[(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS})^{-1}]^D\hat{\mathbf{y}}^S + \mathbf{e}^{S'}\mathbf{A}_{SS}^0[(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS})^{-1}]^0\hat{\mathbf{y}}^S \end{aligned} \quad (3.A.4)$$

donde cada sumando son el efecto propio neto, el *feed-back* interno y *spillover* interno, respectivamente.

⁵ Operando: $(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS})^{-1} - \mathbf{I} = (\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS})^{-1} - (\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS})(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS})^{-1} = (\mathbf{I} - [\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS}])(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS})^{-1} = \mathbf{A}_{SS}(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{SS})^{-1}$

3.B. Correspondencia cuentas satélite con clasificación a 18 sectores

Tabla 3.B.1. Correspondencia clasificación a 18 sectores

Clasificación a 18 sectores		Clasificación a 43 sectores	
1	Agricultura, ganadería y pesca	Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca	1
2	Minería, coquerías, refino y combustibles nucleares	Extracción de productos energéticos	2
		Extracción de otros minerales	3
		Coquerías, refino y combustibles nucleares	11
3	Industria de alimentación, bebidas y tabaco	Industrias de alimentación, bebidas i tabaco	4
4	Industria textil, peletería y cuero	Industrias textiles	5
		Industria de la confección y la peletería	6
		Industrias del cuero y del calzado	7
5	Industria del papel, madera y artes gráficas	Industria de la madera y el corcho	8
		Industrias del papel	9
		Edición y artes gráficas	10
6	Industria química	Industrias químicas	12
7	Otras industrias no metálicas	Industria del caucho y materias plásticas	13
		Otros productos minerales no metálicos	14
8	Metalurgia	Metalurgia	15
9	Productos metálicos	Productos metálicos (ex. maq. i equipos)	16
10	Industria eléctrica, electrónica y maquinaria	Maquinaria y equipo mecánico	17
		Máquinas de oficina y equipos informáticos	18
		Fabricación de maquinaria y materiales eléctricos	19
		Material electrónico	20
		Instrumentos médico-quirúrgicos y de precisión	21
11	Industria del transporte	Vehículos de motor y remolques	22
		Otro material de transporte	23
12	Otras industrias	Muebles y otras industrias manufactureras	24
		Reciclaje	25
13	Producción y distribución de energía	Producción y distribución de energía	26
		Captación, potabilización y distribución de agua	27
14	Construcción	Construcción	28
15	Hostelería	Hostelería	30
16	Transporte	Transporte Marítimo	31
		Transporte por Ferrocarril	32
		Transporte aéreo y espacial	33
		Transporte por carretera	34
		Actividades anexas a los transportes	35
		Comunicaciones	36
17	Servicios empresariales	Intermediación financiera	37
		Servicios al comercio, vehículos y reparación	29
		Inmobiliarias y servicios empresariales	38
18	Sector público y otros servicios sociales	Administración pública	39
		Educación	40
		Sanidad y servicios sociales	41
		Otras actividades sociales y servicios	42
		Hogares que emplean personal doméstico	43

4 Construcción de un modelo Multi-Regional Input-Output (MRIO) medioambiental para Cataluña y el resto de España: Estudio del balance en CO₂ incorporado en el comercio

4.1 Introducción

El proceso de globalización económica experimentado en los últimos treinta años ha configurado una nueva división internacional del trabajo y de la producción que ha despertado gran interés en el estudio de sus efectos socioeconómicos y medioambientales. En este sentido, una extensa literatura trata de explicar las motivaciones de la localización empresarial y, en general, de la producción. La teoría convencional explica como cada país aprovecha sus ventajas competitivas basadas en gran parte en los precios del trabajo, del capital y de las materias primas. En primera instancia, este marco teórico sugiere que los países desarrollados concentren la mayor parte de la producción de alto valor añadido más intensiva en capital, mientras que la producción de bienes y servicios más intensiva en trabajo y con menor valor añadido se realiza principalmente en los países en desarrollo. Sin embargo, la mayor parte de la demanda efectiva de la producción global continua estando localizada en los países desarrollados (Muradian y Alier, 2001) .

Esta situación tiene importantes consecuencias para el medio ambiente en general y en concreto, para la contaminación atmosférica debido, por un lado, a las diferencias entre países en cuanto a la presión ambiental de sus modelos de producción, regularización medioambiental y eficiencia económica en el uso de inputs que determinan el grado de impacto atmosférico de cada uno de ellos. La dinámica general ha sido un aumento en la intensidad del impacto sobre la naturaleza en aquellos países

donde ha ido localizándose la producción. Y por otro lado, este proceso ha aumentado la distancia geográfica entre la producción de outputs y su consumo, con la consecuente escalada del comercio internacional altamente dependiente de los recursos fósiles para el transporte de esta producción. En este sentido, según diversos autores, el aumento de la competitividad internacional promovida por el libre comercio fomentará una menor protección medioambiental¹ y, por lo tanto, se convierte, junto con los costes laborales, en una estrategia utilizada por los países para conseguir una ventaja competitiva y atraer un capital muy concentrado en unos pocos países (Daly, 1993; Ekins et al. 1994).

Este asunto se sitúa en el centro del debate sobre las relaciones entre el comercio y el medio ambiente iniciado por David Ricardo con la “teoría de las ventajas comparativas del comercio”, donde trata sobre las bondades, perjuicios y conflictos generados por el libre comercio. Un debate reemprendido en los años setenta y que ha tenido un gran interés científico en las últimas décadas. Gran parte de la literatura que considera que el aumento del comercio internacional tiene efectos positivos para el medio ambiente se basa sustancialmente en dos premisas. En primer lugar, aquellas economías que aumentan sus exportaciones tienen un mayor índice de crecimiento económico. De forma complementaria, en segundo lugar, la relación entre ingreso per cápita y deterioro medioambiental tienen la forma de una U invertida, establecida por la conocida como la hipótesis de la “curva medioambiental de Kuznets”(EKC) (Kuznets, 1955). Esta proposición sugiere que a partir de cierto nivel de PIB per cápita disminuye la presión medioambiental, en términos de utilización de recursos naturales, inputs y contaminación (Stern, 1998).

La posición contraria en el debate ha venido principalmente de la disciplina de la economía ecológica. Como se ha iniciado en el párrafo anterior, los argumentos contrarios consideran que el crecimiento del comercio internacional ha provocado una mayor presión medioambiental. En primer lugar, parece que la evidencia empírica soporta la tesis de la relación positiva entre exportaciones y crecimiento económico, no obstante, no está tan clara la dirección de causalidad entre ambas variables, especialmente en los países del Sur (Edwards, 1993). En segundo lugar, la hipótesis de la EKC no recoge muchas variables de presión medioambiental en su U invertida ni tiene en cuenta la posibilidad de que el proceso económico que genera dicho

¹ Al igual que sucede con los salarios y las condiciones de trabajo en general.

crecimiento haya ocasionado una degradación medioambiental irreversible, siendo “demasiado tarde para ser verde” (Muradian y Alier, 2001). Otro aspecto crítico con la EKC es que la deslocalización de la producción de los países desarrollados conlleva una deslocalización de gran parte del impacto medioambiental asociado al proceso de producción. No obstante, estos países concentran la mayor parte del consumo mundial y externalizan los problemas a otras regiones, de manera que enfocando la responsabilidad en la demanda final la hipótesis de EKC quedaría radicalmente modificada.

En la última década ha aumentado el debate y el interés científico entorno a las implicaciones de este escenario en la contaminación atmosférica, especialmente alrededor del Protocolo de Kyoto y su base metodológica en el cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero de las que cada país es responsable (Wiedmann et al. 2007). Acorde con la política climática actual, Kyoto evalúa la responsabilidad medioambiental de cada país de acuerdo a las emisiones generadas por la producción doméstica, es decir, la generada dentro del territorio para la demanda final tanto doméstica como exterior. No obstante, si se desea llegar a un acuerdo a nivel internacional eficaz en la lucha contra el cambio climático, son múltiples los estudios que inciden en la necesidad de considerar, en la evaluación de la responsabilidad de cada país, el impacto asociado al consumo doméstico más que a la producción interior (Wyckoff y Roop, 1994; Suh, 2006; Peters y Hertwich, 2008).

Esta perspectiva conlleva tener en cuenta las emisiones incorporadas en las importaciones que tienen como destino, directa o indirectamente, la demanda final doméstica y descontar las incorporadas en las exportaciones. Este enfoque basado en el consumo refleja el papel central que le corresponde a la demanda como motor de la producción de bienes y servicios, y abre una vía para nuevas políticas y actividades encaminadas a minimizar las emisiones de gases de efecto invernadero en la cadena de suministro. De esta manera, la responsabilidad de un país puede definirse bajo estos dos enfoques: el del productor y el del consumidor (Munksgaard y Pedersen, 2001; Proops et al. 1993)². Las discusiones entorno a la consideración de un enfoque u otro, o una situación intermedia, han despertado gran interés, incluso en la elaboración de las

²Algunos autores han propuesto criterios intermedios de responsabilidad compartida, pero normalmente dentro del espacio de estos dos principios contables (Lenzen et al. ,2007;Rodrigues y Domingos, 2008).

distintas cuentas de emisiones atmosféricas nacionales que son realizadas en su totalidad bajo el principio del productor (Peters, 2008).

Son numerosos los trabajos que integran el comercio internacional en el análisis de la responsabilidad de cada país, comparando las emisiones incorporadas en las importaciones y en las exportaciones de cada uno de ellos. Resultado de esta comparación estiman el balance en emisiones incorporadas entre las distintas regiones y el impacto del consumo doméstico. Mediante este balance se llega a la llamada huella de carbono, entendida, para este caso, como la cantidad total, directa e indirecta, de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) asociadas a la demanda final de una actividad, es decir, necesarias para la producción de una determinada cantidad de bienes y servicios³. Cuando se trata de países se asocia a la huella de carbono de cada uno, esto es, la cantidad de emisiones GEI asociadas a su demanda final doméstica.

Especialmente en la última década, el marco metodológico más utilizado por los principales investigadores en este campo ha sido el análisis input-output. Varios trabajos bibliográficos demuestran que esta metodología contribuye de forma decisiva al estudio de las emisiones asociadas al comercio y al consumo final de una región (Wiedmann, 2009b; Minx et al. 2009). Este capítulo tratará de mostrar parte de las potencialidades de este marco analítico.

Una parte relevante de la investigación en esta línea se sirve de los modelos input-output singulares o uni-regionales. Usualmente, estos análisis asumen que los productos importados son producidos con la misma tecnología que la doméstica, aunque veremos en este capítulo como estos modelos permiten romper, hasta cierto punto, con este supuesto. Si bien es cierto que los modelos uni-regionales presentan algunos inconvenientes de tipo metodológico para este campo de estudio, la multitud de trabajos publicados que utilizan estos modelos reflejan el potencial y la validez de su análisis (véase por ejemplo, Wyckoff y Roop (1994); Sánchez-Chóliz y Duarte (2004); Mäenpää y Siikavirta (2007); Ipek Tunc et al. (2007); Munksgaard et al. (2000)).

La respuesta metodológica a estas limitaciones ha sido el empleo de los modelos multi-regionales input-output (MRIO), donde pueden distinguirse distintas regiones y el comercio exterior se presenta internalizado en la matriz de demanda

³ Ya se comentó en la introducción que dicha definición genera cierta discusión y que en este trabajo se adopta la más adecuada para el objetivo del mismo.

intermedia. Los avances metodológicos y, sobre todo, la disponibilidad de información, han hecho que en la última década se haya intensificado notablemente el uso de esta metodología en el análisis de los impactos medioambientales asociados al comercio y al consumo de una región (véase por ejemplo, Murata et al. (1998); Ahmad y Wyckoff (2003); Nijdam et al. (2005); Lenzen et al. (2004); Peters y Hertwich (2008); Peters y Hertwich (2009))⁴.

Vale la pena destacar alguno de estos trabajos como, por ejemplo, el de Lenzen et al. (2004), en el que el autor estima las emisiones incorporadas en el comercio entre Dinamarca, Alemania, Noruega y Suecia, asignando la responsabilidad de dicha emisión de acuerdo con la demanda final de cada país. El comercio energético entre estas regiones (excepto Alemania) es muy relevante y soporta importantes fluctuaciones anuales. Tanto es así, que en el año base elegido por el Protocolo de Kyoto, Dinamarca importó una enorme cantidad de electricidad de Noruega, por lo que las emisiones consideradas para este país en ese año están sustancialmente subestimadas. Concretamente para el caso de España, encontramos el trabajo de Serrano y Dietzenbacher (2010) en el que los autores evalúan distintas aproximaciones metodológicas para estimar el balance en emisiones incorporadas al comercio de España.

La modelización interregional input-output (IRIO) del clásico modelo de Leontief, que extiende el análisis input-output al ámbito interregional, fue propuesta por Isard (1951) y elaborado más tarde en Isard (1960). En realidad, el modelo MRIO descrito en Chenery (1953) y Moses (1955) es una aproximación al IRIO cuya diferencia radica en la forma de cómo se estima el comercio interregional y los coeficientes técnicos regionales (Miller y Blair, 2009). Entre las ventajas analíticas que proporciona esta metodología, destaca la capacidad de integrar en un mismo análisis múltiples estructuras económicas regionales con sus correspondientes tecnologías y capturar, a través de los vínculos comerciales interregionales, los efectos sectoriales de la demanda final de una región en el resto de regiones consideradas. Esto hace que gran parte de los investigadores en este campo lo consideren el método más apropiado para la

⁴ Para una revisión más completa de la literatura de ambos modelos véase (Wiedmann et al. 2007; Wiedmann, 2009a)

asignación del uso de recursos o impactos medioambientales al consumo (Ahmad y Wyckoff, 2003; Peters y Hertwich, 2006a; Wiedmann, 2009a).

El objetivo de este estudio es analizar el impacto, en emisiones de CO₂, de la demanda final de Cataluña en relación a los vínculos interregionales con el resto de España y el resto del mundo. La importancia de esta región en el total de la economía española, con importantes relaciones comerciales con el resto del estado, así como las relevantes diferencias en términos de impacto atmosférico, hacen que este estudio interregional tenga relevante interés. Para este propósito, el trabajo trata de contribuir a este marco teórico y práctico a través de la construcción de un modelo multi-regional input-output, para estas regiones, extendido al medio ambiente y con sectores verticalmente integrados. Previamente, se realizará un análisis input-output uni-regional para Cataluña con el objetivo de comprobar la capacidad de este modelo y realizar un trabajo comparativo con el MRIO⁵. En este sentido, tratará de demostrarse también la validez de los modelos uni-regionales comentada arriba. Debido a la carencia de información, el proceso de construcción presenta algunos problemas, especialmente en cuanto a la región del resto del mundo y el comercio interregional entre Cataluña y el resto de España. Para superar estos problemas ha sido necesario asumir ciertos supuestos y realizar determinadas estimaciones comúnmente utilizadas en la literatura.

La aplicación de la técnica de la integración vertical a los MRIO aporta una mejora metodológica en el análisis de los vínculos interregionales desde una perspectiva de la responsabilidad última de la demanda final de cada sector en cada territorio. Así, el modelo amplía su capacidad de captar los *feedbacks* y *spillovers* de cada sector más allá de los límites marcados por la economía doméstica. En este sentido, permite observar los balances en emisiones bajo un enfoque distinto al usual, analizando la importancia de cada sector de acuerdo a su demanda final.

La revisión de la literatura muestra como este tipo de análisis se ha centrado principalmente en las relaciones internacionales, prestando menos atención al comercio interregional dentro de las economías de cada país. Aunque existen excepciones como

⁵ Distintos estudios han comparado aplicaciones bajo ambos modelos analizando la intensidad en contaminación y uso energético, demostrando la diferencia sustancial entre uno y otro en cuanto a los resultados obtenidos, la estimación de multiplicadores y los factores incorporados en el comercio. En esta línea destaca los trabajos de Proops et al. (1993), Lenzen et al. (2004) y Peters and Hertwich (2006a), entre otros.

el trabajo de McGregor et al. (2008), donde los autores estiman el balance interregional de emisiones de CO₂ entre Escocia y el resto del Reino Unido. Dos regiones con importantes relaciones comerciales pero que, a diferencia de Cataluña y el resto de España, la intensidad de emisión de cada una de las estructuras productivas no difiere de manera tan considerable. Además, debido a la falta de información, los autores integran el comercio con el resto del mundo como un sector más y no como una región, lo que les imposibilita realizar un análisis del impacto externo de cada región. En cualquier caso, es un trabajo acorde con la política regional del Reino Unido, en la que gran parte de las políticas de sostenibilidad regional están descentralizadas en los gobiernos regionales competentes.

Los gobiernos regionales, en coordinación con los gobiernos centrales, tienen un papel clave a la hora de desarrollar políticas efectivas en la reducción de las emisiones. Por ejemplo, cabría esperar que las decisiones de una planificación económica nacional integraran factores de impacto ambiental de cada región y, en consecuencia, debieran estar coordinadas con los gobiernos regionales. Es necesario que un análisis desagregado regionalmente acompañe a una política coordinada entre el gobierno regional y nacional, y ayude a definirla en términos de responsabilidad y financiación interterritorial. En este sentido, sería necesario ampliar este estudio incorporando el máximo número de regiones con gobiernos autónomos, aunque por ahora la ausencia de la información apropiada lo imposibilita en gran medida.

En cualquier caso, tiene interés científico la construcción de este modelo MRIO medioambiental enfocado en la región de Cataluña, tanto en términos de política regional como por la importancia de la economía catalana en el conjunto de España. Las particularidades de la economía catalana, principalmente en cuanto al mix energético, y las importantes relaciones comerciales con el resto de España y el exterior, arrojan relevantes resultados con sendas implicaciones para el análisis. Y, por lo tanto, la importancia de incorporar el nivel interregional en los estudios de los impactos medioambientales incorporados en el comercio.

4.2 Metodología

Como se ha avanzado en la introducción, la propuesta metodológica para este capítulo es, en primer lugar, el desarrollo de un modelo input-output uni-regional apto para el estudio de las emisiones asociadas al comercio exterior de Cataluña. Tratará de demostrarse que estos modelos permiten la incorporación de información sobre otras regiones y superar, aunque con ciertas limitaciones, parte del “supuesto de misma tecnología”. En segundo lugar, se construye un modelo multi-regional input-output (MRIO)⁶ extendido al medio ambiente que permita superar algunos de los problemas del análisis uni-regional.

El objetivo es un estudio integrado del impacto en términos de emisiones asociado al comercio entre Cataluña y el resto de España endogenizando el comercio con el resto del mundo como una tercera región. Esto permite mejorar la estimación y el análisis del balance interregional y global de Cataluña. De esta manera, se observará la importancia del comercio interregional en la responsabilidad de la demanda final de una región, especialmente cuando los coeficientes de emisión son tan distintos.

4.3 Análisis input-output uni-regional

4.3.1 Emisiones generadas por la producción doméstica

En este apartado se presenta un desarrollo metodológico del análisis input-output para una economía singular que permita estimar las emisiones de contaminantes atmosféricos asociados a la demanda final de Cataluña en relación al comercio internacional. Los modelos input-output singulares o uni-regionales permiten un primer análisis interno de la economía en relación con el comercio exterior.

El punto de partida es el clásico modelo input-output caracterizado por la ecuación:

$$\mathbf{x} = \mathbf{Ax} + \mathbf{y} \quad (4.1)$$

⁶ Ver Miller y Blair (2009) para un amplio desarrollo metodológico del análisis MRIO.

Recuérdese que \mathbf{x} es el vector ($nx1$) de outputs totales de cada rama productiva, \mathbf{y} ($nx1$) es la demanda final de cada industria y \mathbf{A} es la matriz (nxn) de coeficientes técnicos a_{ij} o matriz tecnológica.

Ahora, si c^d es la cantidad de emisión emitida directamente por la actividad productiva catalana, se define $\mathbf{e}^d = \{e_j^d\} = \frac{c_j^d}{x_j}$ como el vector ($nx1$) de coeficientes directos de emisión o cantidad de emisión por output total de cada rama productiva (kg/€). De forma que es sencillo observar que:

$$c^d = \mathbf{e}^{d'} \mathbf{x} = \mathbf{e}^{d'} \mathbf{L} \mathbf{y} = \mathbf{s}^d \mathbf{y} \quad (4.2)$$

donde $\mathbf{s}^d = \mathbf{e}^{d'} \mathbf{L}$ es el vector ($1xn$) de valores de emisión doméstica cuyos elementos $s_j^d = e_1^d l_{1j} + \dots + e_n^d l_{nj}$ nos indican la emisión doméstica total, directa e indirecta, generada para obtener una unidad de demanda final del sector j (Sanchez-Chóliz y Duarte, 2004). Esta expresión muestra los conocidos multiplicadores input-output en términos de emisiones o multiplicadores de emisión (Miller y Blair, 2009).

En este punto, expresando la demanda final como matriz diagonal:

$$\mathbf{f}^d = \mathbf{s}^d \hat{\mathbf{y}} \quad (4.3)$$

se obtiene, a través de los elementos de $\mathbf{f}^d = \{f_j^d\}$, las emisiones totales, directas e indirectas, generadas en el interior de la región asociadas a la demanda final de cada sector. De este modo, se evalúa la responsabilidad asociada a la demanda final doméstica de cada sector sobre las emisiones generadas en el proceso productivo de la economía catalana, es decir, las emisiones asignadas a esta región bajo el principio contable del productor.

4.3.2 Emisiones asociadas al comercio exterior y responsabilidad de la demanda final doméstica

No obstante, es sobradamente conocido el hecho de que una gran parte de la demanda final e intermedia (inputs) se corresponde con productos importados del exterior y que incorporan cierta cantidad de emisiones de acuerdo a su ciclo de vida de producción. Consecuentemente, éstas incrementan la contaminación efectiva asociada a la demanda final doméstica. Si se desea estimar la responsabilidad de una determinada región bajo

el principio contable del consumidor, estos impactos deben contabilizarse. Asimismo, deben descontarse las emisiones producidas en el interior incorporadas en los bienes y servicios exportados.

Nótese que el vector columna ($nx1$) de demanda final \mathbf{y} de las tablas input-output totales incorporan tanto las importaciones que tienen como destino directo la demanda final interior (\mathbf{y}^m) como la parte de la producción doméstica que se exporta (\mathbf{z}). Así, la demanda final puede descomponerse como $\mathbf{y} = \mathbf{y}^i + \mathbf{z} = \mathbf{y}^d + \mathbf{y}^m + \mathbf{z}$, siendo \mathbf{y}^i el vector de demanda interna total e \mathbf{y}^d la demanda interior de la producción doméstica.

A su vez, bajo este análisis, la tecnología de la economía viene dada por la matriz \mathbf{A} , que incluye las importaciones realizadas por las distintas ramas productivas, es decir, por la demanda intermedia. De esta manera, si \mathbf{A}^d y \mathbf{A}^m son las matrices de coeficientes técnicos de inputs doméstico e importados, respectivamente, la matriz tecnológica puede separarse tal que $\mathbf{A} = \mathbf{A}^d + \mathbf{A}^m$.

Como consecuencia, si \mathbf{x}^d es la producción doméstica total y \mathbf{x}^m el total de importaciones, el modelo puede presentarse en la forma:

$$\begin{aligned} \mathbf{x}^d + \mathbf{x}^m &= \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{y} \\ &= (\mathbf{A}^d + \mathbf{A}^m)\mathbf{x} + \mathbf{y} \\ &= \mathbf{A}^d\mathbf{x} + \mathbf{y}^d + \mathbf{z} + \mathbf{A}^m\mathbf{x} + \mathbf{y}^m \end{aligned} \quad (4.4)$$

donde las importaciones totales equivalen a:

$$\mathbf{x}^m = \mathbf{A}^m\mathbf{x} + \mathbf{y}^m = \mathbf{A}^m\mathbf{L}\mathbf{y} + \mathbf{y}^m \quad (4.5)$$

De la misma manera que se ha estimado el coeficiente de emisión doméstico total, directo más indirecto, para la elaboración de una unidad de demanda final de cada sector, es deseable que para cada lugar de origen de cada bien importado se disponga de dicha información para la correcta valoración del impacto del consumo de cada producto. Para su estimación, como se ha mostrado anteriormente, se requiere conocer los datos correspondientes a los coeficientes unitarios de emisión directa por sector y la tecnología de cada economía exportadora.

Desafortunadamente, habitualmente en este tipo de modelos no se dispone de esta información y suele salvarse esta limitación adoptando el supuesto de misma

tecnología para los productos importados (Munksgaard et al. 2000; Sánchez-Chóliz y Duarte, 2004; Mäenpää y Siikavirta, 2007; Ipek Tunc et al. 2007). La consideración de este supuesto debe de tenerse en cuenta en el estudio de los resultados obtenidos, ya que puede provocar sesgos en la estimación de las emisiones incorporadas en el comercio (Lenzen et al. 2004). En la comparación que se realizará en este capítulo con el modelo MRIO construido, podrá valorarse la importancia de incorporar una región adicional con una intensidad de emisión muy distinta y con importantes relaciones interregionales en términos de comercio. No obstante, una vez incorporadas estas precauciones, este tipo de análisis aportan interesantes resultados a este tipo de estudios, como así lo demuestran los diferentes trabajos publicados (véase una amplia revisión en Wiedmann et al. (2007) y Wiedmann (2009a)).

Arriba hemos definido \mathbf{s}^d como los valores de emisión total de la actividad productiva de Cataluña, por lo que la emisión generada fuera para obtener los productos importados será:

$$c^m = \mathbf{s}^d \mathbf{x}^m = \mathbf{s}^d \mathbf{A}^m \mathbf{L} \mathbf{y} + \mathbf{s}^d \mathbf{y}^m = \mathbf{s}^m \mathbf{y} + \mathbf{s}^d \mathbf{y}^m \quad (4.6)$$

donde $\mathbf{s}^m = \mathbf{s}^d \mathbf{A}^m \mathbf{L}$ es un vector $(1 \times n)$ cuyos elementos indican las emisiones incorporadas en los input importados para obtener una unidad de demanda final de cada sector. Así, del total de las importaciones, el primer término de la expresión (4.6) corresponde a inputs industriales y el segundo a productos consumidos directamente por la demanda final.

En este punto, tal y como hacen los autores en Sánchez-Chóliz y Duarte (2004), la emisión total generada, tanto dentro (c^d) como fuera (c^m), correspondiente a la demanda final total de la economía catalana viene determinada por:

$$c^t = c^d + c^m = \mathbf{s}^d \mathbf{y} + \mathbf{s}^m \mathbf{y} + \mathbf{s}^d \mathbf{y}^m = \mathbf{s}^t \mathbf{y} + \mathbf{s}^d \mathbf{y}^m \quad (4.7)$$

con

$$\mathbf{s}^t = \mathbf{s}^d + \mathbf{s}^m = \mathbf{e}^{d'} \mathbf{L} + \mathbf{e}^{d'} \mathbf{L} \mathbf{A}^m \mathbf{L} = \mathbf{e}^t \mathbf{L} \quad (4.8)$$

donde $\mathbf{e}^t = \mathbf{e}^{d'} + \mathbf{e}^{d'} \mathbf{L} \mathbf{A}^m$ son los coeficientes de emisión total generada, dentro y fuera de la región, en el proceso de producción del output final de la economía catalana. Lógicamente, los elementos de \mathbf{e}^t serán mayores o iguales (en el caso que un sector no

realice importaciones) a \mathbf{e}^d . La comparación de estos dos coeficientes permite clasificar los distintos sectores de acuerdo al peso de los inputs importados en la emisión directa asociada a su producción.

Para obtener las emisiones totales asociadas a la demanda final de Cataluña, queda por descontar aquellas incorporadas en las exportaciones. Recordando que $\mathbf{y} = \mathbf{y}^i + \mathbf{z}$, a partir de la expresión (4.7):

$$\mathbf{c}^t = \mathbf{s}^d(\mathbf{y}^i + \mathbf{z}) + \mathbf{s}^m(\mathbf{y}^i + \mathbf{z}) + \mathbf{s}^d\mathbf{y}^m \quad (4.9)$$

pueden extraerse las emisiones asociadas a las exportaciones $\mathbf{s}^t\mathbf{z} = \mathbf{s}^d\mathbf{z} + \mathbf{s}^m\mathbf{z}$, donde $\mathbf{s}^d\mathbf{z}$ indica la emisión doméstica incorporada en la exportaciones y $\mathbf{s}^m\mathbf{z}$ las emisiones incorporadas en las importaciones que han sido utilizadas como inputs en la producción del output finalmente exportado por la economía catalana.

Restando a (4.9) la totalidad de las emisiones incorporadas en las exportaciones, $\mathbf{s}^t\mathbf{z}$, se obtiene:

$$\mathbf{h}^t = \mathbf{s}^d\mathbf{y}^i + \mathbf{s}^m\mathbf{y}^i + \mathbf{s}^d\mathbf{y}^m \quad (4.10)$$

esto es, la cantidad total de emisiones asociada a la demanda final de Cataluña, lo que coincide con el criterio de asignación de responsabilidad del principio del consumidor.

Si en la expresión (4.10) se expresan los vectores de demanda final como matriz diagonal, se obtienen los resultados con sectores verticalmente integrados tal que:

$$\mathbf{h} = \mathbf{s}^d\hat{\mathbf{y}}^i + \mathbf{s}^m\hat{\mathbf{y}}^i + \mathbf{s}^d\hat{\mathbf{y}}^m \quad (4.11)$$

donde ahora \mathbf{h} es un vector ($1 \times n$) cuyos elementos indican las emisiones totales, directas e indirectas, generadas dentro y fuera de la región asociadas a la demanda final de cada sector. La ecuación (4.11) también puede expresarse de la siguiente manera:

$$\mathbf{h} = \mathbf{f}^d + \mathbf{f}^m - \mathbf{s}^t\hat{\mathbf{z}} \quad (4.12)$$

donde $\mathbf{f}^m = \mathbf{s}^d\mathbf{A}^m\mathbf{L}\hat{\mathbf{y}} + \mathbf{s}^d\hat{\mathbf{y}}^m$ representa las emisiones totales, directas e indirectas, generadas fuera de la región asociadas a la demanda final de cada sector.

4.3.3 Balance neto para Cataluña en emisiones incorporadas

Ahora se está en disposición de obtener el balance neto de Cataluña con el exterior en términos de emisión incorporada en el comercio. Su estimación es la diferencia entre las emisiones incorporadas en las importaciones y las incorporadas en las exportaciones, tal como⁷:

$$\mathbf{b} = \mathbf{s}^t \hat{\mathbf{z}} - \mathbf{f}^m = \mathbf{s}^d \hat{\mathbf{z}} + \mathbf{s}^m \hat{\mathbf{z}} - \mathbf{s}^m \hat{\mathbf{y}} - \mathbf{s}^d \hat{\mathbf{y}}^m \quad (4.13)$$

Así, si el balance neto es positivo indicará que la carga de emisión total incorporada en las exportaciones es superior a la soportada en las importaciones. Nótese, por otro lado, que el balance neto coincide con la diferencia entre el principio contable del productor y del consumidor, representado a través de la expresión (4.2) y (4.12) respectivamente.

Como se ha señalado arriba, el análisis propuesto asume el supuesto de misma tecnología e intensidad de emisión para las importaciones del exterior, alejándose así de la estimación efectiva del impacto de la demanda final de Cataluña. Sin embargo, se comprobará como la utilidad del análisis empírico va más allá de este objetivo. Por ejemplo, puede ser de utilidad si se desea conocer el impacto en emisión que supondría producir domésticamente los bienes y servicios, o cierto volumen de éstos, consumidos por la demanda final catalana. En otras palabras, lo que la economía se ahorra, en términos de impacto, importando estos productos y no produciéndolos en el interior.

Cabe señalar que el análisis input-output uni-regional también permite incorporar información de las economías de origen de las importaciones, mejorando sustancialmente la estimación anterior⁸. Es sencillo comprobar que en el caso de tener esta información, el modelo puede adaptarse sin muchas complicaciones. Por ejemplo,

⁷ Merece la pena destacar la aportación metodológica del trabajo de Sánchez-Chóliz y Duarte (2004) en el cálculo del balance comercial de la polución incorporada, añadiendo al proceso de estimación aquella emisión importada y exportada después. Así:

$$\begin{aligned} \mathbf{b} &= \mathbf{s}^t \mathbf{z} - \mathbf{c}^m = \mathbf{s}^d \mathbf{z} + \mathbf{s}^m \mathbf{z} - \mathbf{s}^m \mathbf{y} - \mathbf{s}^d \mathbf{y}^m = \mathbf{s}^d [\mathbf{z} - \mathbf{A}^m (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} (\mathbf{y} - \mathbf{z}) - \mathbf{y}^m] \\ &= \mathbf{e}^{d'} (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} [\mathbf{z} - \mathbf{A}^m (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} (\mathbf{y} - \mathbf{z}) - \mathbf{y}^m] \end{aligned}$$

difiere en este sentido de la expresión usualmente utilizada con anterioridad a este trabajo:

$$\mathbf{b} = \mathbf{s}^d (\mathbf{y} - \mathbf{x}^m) = \mathbf{e}^{d'} (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} [\mathbf{z} - \mathbf{A}^m (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \mathbf{y} - \mathbf{y}^m]$$

⁸ Contrariamente a lo que algunos autores señalan (Wiedmann, 2009a).

si se dispone de la información del resto del estado español, puede distinguirse entre las importaciones de la región del resto de España (RE) y del resto del mundo (RM), $\mathbf{A}^m = \mathbf{A}^{m,RE} + \mathbf{A}^{m,RM}$ e $\mathbf{y}^m = \mathbf{y}^{m,RE} + \mathbf{y}^{m,RM}$. Así, la emisión incorporada en las importaciones para la demanda final de Cataluña es ahora:

$$c^m = c^{m,RE} + c^{m,RM} = \mathbf{s}^{RE} \mathbf{A}^{m,RE} \mathbf{L} \mathbf{y} + \mathbf{s}^{RE} \mathbf{y}^{m,RE} + \mathbf{s}^{RM} \mathbf{A}^{m,RM} \mathbf{L} \mathbf{y} + \mathbf{s}^{RM} \mathbf{y}^{m,RM} \quad (4.14)$$

donde $\mathbf{s}^q = \mathbf{e}^{q'} (\mathbf{I} - \mathbf{A}^q)^{-1}$ con ($q=RE, RM$), es el vector (1xn) de valores de emisión de cada región exportadora. De esta manera, se incorpora la tecnología de la economía del RE y solo se adopta la asunción de misma tecnología para las importaciones del RM.

Así, el balance neto de Cataluña con el exterior vendrá dado por:

$$\mathbf{b} = \mathbf{s}^d \mathbf{z} + \mathbf{s}^{RE} \mathbf{A}^{m,RE} \mathbf{L} \mathbf{z} + \mathbf{s}^{RM} \mathbf{A}^{m,RM} \mathbf{L} \mathbf{z} - (c^{m,RE} + c^{m,RM}) \quad (4.15)$$

Es evidente la mejora obtenida con esta expresión en la estimación del balance neto y, en consecuencia, en la aproximación de la carga de emisión correspondiente a la demanda final catalana de acuerdo al principio del consumidor. Y no solo esto, sino que considerando que las exportaciones pueden desagregarse de acuerdo a su destino $\mathbf{z} = \mathbf{z}^{RE} + \mathbf{z}^{RM}$, a partir de (4.15) puede estimarse el balance entre Cataluña y una de las dos regiones por separado, por ejemplo con el RE:

$$b_{C,RE} = \mathbf{s}^d \mathbf{z} + \mathbf{s}^{RE} \mathbf{A}^{m,RE} \mathbf{L} \mathbf{z}^{RE} - c^{m,RE} \quad (4.16)$$

Se demuestra así la capacidad de estos modelos en la estimación del balance neto en contaminación. No obstante, deben considerarse ciertos aspectos que limitan su poder explicativo. La expresión (4.16) no recoge las relaciones intersectoriales entre las distintas regiones consideradas en la estimación, en este caso RE y RM, y que pueden llegar a ser muy importantes. Es decir, una parte destacable de las importaciones del RE que realiza Cataluña incorporan inputs adquiridos del RM que tienen una intensidad de contaminación distinta a la del RE. Estas cadenas de relaciones interregionales configuran un mix de contaminación incorporada en la importaciones de Cataluña que no puede recogerse con esta metodología (Lenzen et al. 2004).

En esta línea, los análisis input-output uni-regionales no permiten captar los efectos *feedbacks* interregionales, es decir, los cambios en el output de una región causados por la demanda intermedia de otra provocados a su vez por cambios en la

demanda de la primera región. Así como los efectos indirectos que la demanda de una región puede tener sobre el output de otra a través de las relaciones comerciales directas con una tercera región (Miller y Blair, 2009).

Además, la aplicación empírica de este modelo se realiza en todo momento bajo la perspectiva de la región para la que se estiman los resultados, por lo que se requiere un análisis paralelo si se desea estudiar otra región. Es necesario destacar también que en el caso de disponer de datos sobre otras regiones y tratar de incorporarlas al análisis empírico, la operativa de cálculo se hace cada vez más costosa y menos eficiente. Se requiere por lo tanto una metodología que permita superar estos problemas y aumente la potencialidad del análisis teórico y empírico. Con este objetivo se propone en el siguiente apartado un análisis multi-regional input-output (MRIO).

4.4 Análisis multi-regional input-output (MRIO)

4.4.1 La estructura básica del MRIO

El modelo abierto de Leontief expresado en el apartado anterior puede considerarse de forma particionada incluyendo diferentes regiones, con sus respectivas interrelaciones comerciales, a través de un modelo MRIO. En este trabajo el modelo estará formado por tres regiones (Cataluña será la región 1, el resto de España la 2 y el resto del mundo la 3).

Así la ecuación (4.1) puede expresarse como sigue:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{x}_1 \\ \mathbf{x}_2 \\ \mathbf{x}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{A}_{11} & \mathbf{A}_{12} & \mathbf{A}_{13} \\ \mathbf{A}_{21} & \mathbf{A}_{22} & \mathbf{A}_{23} \\ \mathbf{A}_{31} & \mathbf{A}_{32} & \mathbf{A}_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{x}_1 \\ \mathbf{x}_2 \\ \mathbf{x}_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{y}_{11} + \mathbf{y}_{12} + \mathbf{y}_{13} \\ \mathbf{y}_{21} + \mathbf{y}_{22} + \mathbf{y}_{23} \\ \mathbf{y}_{31} + \mathbf{y}_{32} + \mathbf{y}_{33} \end{bmatrix} \quad (4.17)$$

Ahora la matriz \mathbf{A} inicial se ha transformado en una matriz $(3n \times 3n)$ de coeficientes técnicos interregionales (\mathbf{A}^*). Cada matriz \mathbf{A}_{rr} ($n \times n$) que forma la diagonal principal indica los coeficientes técnicos domésticos de la región r , es decir, los

coeficientes de inputs intrarregionales⁹. Las matrices \mathbf{A}_{rs} fuera de la diagonal indican los coeficientes de la región s de inputs importados de r , en otras palabras, los coeficientes de inputs interregionales. De esta manera, cada elemento característico a_{rs}^{ij} de la matriz \mathbf{A}^* expresa la cantidad de output del sector i producido en r y consumido como input por el sector j de la región s . Y al ser un coeficiente técnico, por unidad de output del sector j en s . Análogamente, \mathbf{y}_{rr} representa la demanda final doméstica de r e \mathbf{y}_{rs} las importaciones provenientes de la región r consumidos por la demanda final de s . El output final de cada región viene dado por los vectores \mathbf{x}_r ($n \times 1$) donde cada elemento \mathbf{x}_r^i indica el output total doméstico del sector i en la región r .

Nótese que de la suma de los elementos de las matrices que forman cada columna de \mathbf{A}^* , tal que $\sum_{s=1} \mathbf{A}_{1s} = \mathbf{A}_1^T$, resultaría la matriz de coeficientes totales de la ecuación (4.17) y por lo tanto la tecnología de cada región.

El análisis MRIO es una extensión del modelo uni-regional a través de la internalización del comercio con otras regiones en la matriz tecnológica. De esta forma, pasa de ser una variable exógena a estar integrada de forma endógena en el modelo. Así, a partir del modelo uni-regional, el output doméstico de la región 1 viene determinado por la diferencia entre el output total y el valor de las importaciones:

$$\mathbf{x}_1 = \mathbf{A}_1 \mathbf{x}_1 + \mathbf{y}_1 + \mathbf{x}_{12}^m + \mathbf{x}_{13}^m - \mathbf{x}_{21}^m - \mathbf{x}_{31}^m \quad (4.18)$$

donde \mathbf{A}_1 es la matriz tecnológica de la región 1, \mathbf{y}_1 es la demanda total (incluyendo las importaciones consumidas directamente) y \mathbf{x}_{rs}^m son las importaciones totales de la región s procedentes de r . Por definición $\mathbf{x}_{rs}^m = \mathbf{A}_{rs} \mathbf{x}_s + \mathbf{y}_{rs}$, de manera que substituyendo en la expresión (4.18) se obtiene:

$$\mathbf{x}_1 = (\mathbf{A}_1 - \mathbf{A}_{21} - \mathbf{A}_{31}) \mathbf{x}_1 + \mathbf{A}_{21} \mathbf{x}_2 + \mathbf{A}_{31} \mathbf{x}_3 + \mathbf{y}_{11} + \mathbf{y}_{12} + \mathbf{y}_{13} \quad (4.19)$$

donde $\mathbf{A}_1 - \mathbf{A}_{21} - \mathbf{A}_{31} = \mathbf{A}^d = \mathbf{A}_{11}$ expresa la matriz de coeficientes técnicos domésticos de (4.17). La expresión en forma matricial de la ecuación (4.19) está integrada en la expresión (4.17) del modelo MRIO, de manera que supone un sistema de ecuaciones tal que la producción doméstica de cada región es:

⁹ Se corresponde a los requerimientos interindustriales de la producción doméstica, suele expresarse también como \mathbf{A}_r^d . Véase Peters and Hertwich (2006b) para una explicación teórica sobre la preferencia del uso de la matriz doméstica respecto a la total.

$$\mathbf{x}_r = \mathbf{A}_{rr}\mathbf{x}_r + \mathbf{y}_{rr} + \sum_{s \neq r} (\mathbf{A}_{rs}\mathbf{x}_s + \mathbf{y}_{rs}) \quad (4.20)$$

donde el último sumando son las exportaciones totales de r al resto de regiones. En consecuencia, el output de cada región dependerá del output del resto de regiones, captando así los vínculos interregionales y abriendo un escenario de posibilidades de análisis frente al modelo uni-regional. En el Apéndice 4.A se realiza una comparación entre ambos modelos en cuanto a su capacidad analítica.

La solución al modelo MRIO, igual que con el modelo abierto de Leontief, puede formularse en forma particionada como sigue:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{x}_1 \\ \mathbf{x}_2 \\ \mathbf{x}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{L}_{11} & \mathbf{L}_{12} & \mathbf{L}_{13} \\ \mathbf{L}_{21} & \mathbf{L}_{22} & \mathbf{L}_{23} \\ \mathbf{L}_{31} & \mathbf{L}_{32} & \mathbf{L}_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{y}_{11} + \mathbf{y}_{12} + \mathbf{y}_{13} \\ \mathbf{y}_{21} + \mathbf{y}_{22} + \mathbf{y}_{23} \\ \mathbf{y}_{31} + \mathbf{y}_{32} + \mathbf{y}_{33} \end{bmatrix} \quad (4.21)$$

donde la matriz \mathbf{L}^* ($3n \times 3n$) es la inversa de Leontief interregional cuyo elemento característico l_{rs}^{ij} indica la cantidad de output del sector i producido en la región r y que es requerido, directa e indirectamente, por el sector j en s para satisfacer una unidad de su demanda final. Esta matriz permite captar la magnitud de los vínculos inter- e intrarregionales entre los sectores de las distintas regiones de acuerdo a su demanda final (Miller y Blair, 2009).

4.4.2 Generación de emisiones por cada región

Se define \mathbf{e}_r ($n \times 1$) como el vector de coeficientes de emisión de CO_2 por output de la región r , cuyo elemento característico e_r^i indica la cantidad de CO_2 emitido por unidad de output del sector i en la región r . Ahora, pueden estimarse las emisiones asociadas a la producción de cada región de esta manera:

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} \mathbf{F}_1 \\ \mathbf{F}_2 \\ \mathbf{F}_3 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \hat{\mathbf{e}}_1 & 0 & 0 \\ 0 & \hat{\mathbf{e}}_2 & 0 \\ 0 & 0 & \hat{\mathbf{e}}_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{L}_{11} & \mathbf{L}_{12} & \mathbf{L}_{13} \\ \mathbf{L}_{21} & \mathbf{L}_{22} & \mathbf{L}_{23} \\ \mathbf{L}_{31} & \mathbf{L}_{32} & \mathbf{L}_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{y}_{11} + \mathbf{y}_{12} + \mathbf{y}_{13} \\ \mathbf{y}_{21} + \mathbf{y}_{22} + \mathbf{y}_{23} \\ \mathbf{y}_{31} + \mathbf{y}_{32} + \mathbf{y}_{33} \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} \mathbf{P}_{11} & \mathbf{P}_{12} & \mathbf{P}_{13} \\ \mathbf{P}_{21} & \mathbf{P}_{22} & \mathbf{P}_{23} \\ \mathbf{P}_{31} & \mathbf{P}_{32} & \mathbf{P}_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{y}_{11} + \mathbf{y}_{12} + \mathbf{y}_{13} \\ \mathbf{y}_{21} + \mathbf{y}_{22} + \mathbf{y}_{23} \\ \mathbf{y}_{31} + \mathbf{y}_{32} + \mathbf{y}_{33} \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (4.22)$$

donde $\hat{\cdot}$ expresa la diagonalización de un vector y cada elemento de \mathbf{F}^* , f_r^i , indica la cantidad de emisiones generadas en la producción del output de i en la región r . Cada submatriz \mathbf{P}_{rs} de tamaño $(n \times n)$, perteneciente a \mathbf{P}^* , representa la cantidad de contaminación atmosférica por unidad de output generada por la región r para la demanda final de la región s . Además, los valores se encuentran desagregados por rama productiva, de manera que cada elemento de la mencionada submatriz, tal como p_{ij}^{rs} , muestra la cantidad de emisión unitaria generada por el sector i en la región r para la demanda final de output del sector j en la región s .

Esta matriz es sumamente importante a nivel interpretativo y práctico, puesto que como se indica en Alcántara (1995) es un operador lineal que convierte cualquier incremento de demanda final en un vector de emisiones contaminantes. Si se premultiplica cada submatriz \mathbf{P}_{rs} por un vector fila unitario de dimensión $(1 \times n)$, tal como $\mathbf{p}'_{rs} = \mathbf{u}'\mathbf{P}_{rs}$, se obtendrá un vector fila $(1 \times n)$ que mostrará las emisiones unitarias totales, directas e indirectas, generadas en la región r y requeridas por cada sector de la región s para producir una unidad de output consumido finalmente en la misma región s . Es decir, \mathbf{p}'_{rs} expresa el efecto multiplicador de la demanda final de cada sector en la región s sobre las emisiones totales generadas en la región r . Recordando a Pasinetti (1977), puede advertirse que la matriz \mathbf{P}^* muestra los “*coeficientes inter- e intraregionales verticalmente integrados*” que estiman los efectos sectoriales de cambios exógenos en la demanda final de un determinado territorio sobre, en el caso del modelo presentado aquí, la contaminación generada en cada región. La matriz \mathbf{P}^* permitirá más adelante la obtención de los sectores verticalmente integrados en el marco del análisis MRIO, lo que ofrece un avance metodológico de suma importancia.

4.4.3 Supuestos para el comercio con el resto del mundo

Una de las limitaciones que presentan los análisis MRIO es la enorme cantidad de datos que requiere su construcción y que en gran parte no están disponibles. En el caso más ambicioso, si se deseara estimar el impacto global efectivo de la demanda final de una región, por ejemplo en cuanto a generación de emisiones atmosféricas, se requeriría la construcción de una MRIO mundial (Turner et al. 2007).

En este sentido, el estudio de los impactos incorporados en el comercio entre Cataluña y el resto de España (RE) no debe obviar la importancia de incluir las

relaciones comerciales de ambas regiones con el exterior. Cabe considerar el hecho de que gran parte de las importaciones procedentes del resto del mundo que tienen como destino la demanda final de Cataluña pasan antes por el RE como inputs. Lo mismo sucede en sentido inverso. En principio, un modelo birregional input-output sencillo para estas dos regiones conllevaría considerar de forma exógena las relaciones comerciales con el resto del mundo (RM), situando las exportaciones en la demanda final, y obviando las importaciones procedentes del exterior. Sin embargo, en este estudio es deseable considerarlas de forma endógena al modelo, puesto que de lo contrario mermaría en exceso la rigurosidad del trabajo (Lenzen et al. 2004). Multitud de trabajos aportan distintas posibilidades de salvar esta problemática (véase por ejemplo, Ahmad and Wyckoff (2003); Lenzen et al. (2004); Peters and Hertwich (2006a); McGregor et al. (2008)). Al mismo tiempo, todos coinciden en que es imprescindible tener en cuenta en la interpretación de los resultados el uso de las distintas alternativas. Para este trabajo se ha optado por cerrar el modelo respecto al comercio con el RM incorporándolo como una tercera región (expresión 4.17) y asumiendo ciertos supuestos para la viabilidad del análisis.

Para solucionar el problema de la falta de información, un supuesto utilizado con frecuencia en la literatura es el de “economía pequeña”. Esta asunción se usa para el caso de regiones relativamente pequeñas respecto a otra región, donde los productos importados por la economía grande procedentes de las pequeñas son insignificantes respecto a su output total (Serrano y Dietzenbacher, 2010). En nuestro trabajo, esto significaría asumir que $\mathbf{A}_{13} = \mathbf{A}_{23} = \mathbf{0}$. Esto relajaría notablemente la necesidad de información tal y como señalan Serrano and Dietzenbacher (2010)

Sin embargo, la adopción de este supuesto puede comportar errores significativos en la estimación del balance respecto al RM con sectores verticalmente integrados. Los errores provienen de considerar, si no se explicita lo contrario, que todas las exportaciones sectoriales tienen como destino directo la demanda final del RM. En consecuencia, se hace imprescindible una aclaración sobre el tratamiento de la distribución de las exportaciones al RM. En caso contrario, el uso de este supuesto no resulta válido para este propósito. Efectivamente, al no considerar las relaciones intersectoriales que se producen en el RM respecto a las importaciones de inputs intermedios procedentes de ambas regiones españolas, se configuraría una demanda final con una estructura muy sesgada. Al final del apartado correspondiente a la

metodología se muestra la incidencia de este supuesto en el balance con sectores verticalmente integrados.

Por este motivo, para este trabajo se ha descartado el supuesto de “economía pequeña” y se ha optado por aproximar el output total y la demanda final del RM a través de la información disponible en la base de datos del Eurostat y la OCDE (Eurostat, 2012; OECD, 2012). Entre ambas fuentes de datos puede disponerse de las tablas input-output de los 27 miembros de la Unión Europea y un amplio conjunto de países: todos los miembros de la OCDE y algunos no pertenecientes a esta institución. El conjunto de países seleccionados suponen el 91% del PIB total del mundo y casi un 89% del comercio exterior español (Cuadro 4.C.2). Esta información se ha utilizado para distribuir las exportaciones al RM entre la demanda intermedia y final. Para una mejor estimación de esta estructura, esta distribución se ha ponderado por el peso de cada país en las exportaciones de Cataluña y el RE.

Este laborioso trabajo de estimación permite solucionar con notable éxito los problemas causados por la hipótesis de “economía pequeña” en el estudio de los balances con sectores verticalmente integrados.

Un segundo supuesto es el de asumir que los productos importados del RM son producidos con la misma tecnología e incorporan los mismos coeficientes de emisión de CO₂ que la economía doméstica. Es un supuesto ya introducido en el modelo uniregional anterior y muy común también en los modelos MRIO aplicados (Lenzen et al. 2004; McGregor et al. 2008; Andrew et al. 2009). Debido a que las dos regiones centrales del análisis componen la economía española, se asume que las importaciones procedentes del RM están producidas de acuerdo a la tecnología (A_{33}) y emisiones de CO₂ de la economía española. De esta manera no distorsionamos el análisis comparativo entre ambas regiones. Además, de acuerdo al trabajo de Andrew et al (2009), la consideración del supuesto de “misma tecnología” para la economía española subestima únicamente en un 1% la estimación del impacto final de la demanda final de España¹⁰. Consecuentemente, es razonable considerar este supuesto para las importaciones de Cataluña en la estimación del impacto en CO₂ de su demanda final.

¹⁰ Se utiliza para este fin la base de datos GTAP (Global Trade Analysis Project) versión 6, para el año 2001 y para 87 países.

4.4.4 Aplicación de la integración vertical a los MRIO

En esta sección se presenta un avance metodológico a los análisis multi-regionales a través de la consideración de cada sector verticalmente integrado o como un subsistema que genera un único output final. Tal y como se indicó en el Capítulo 3, este es un útil que permite, bajo ciertas condiciones, analizar la estructura productiva particular de cada una de las industrias que conforman el sistema económico, sin desvincularlo del resto de sectores. Considerándolo en un marco interregional, el modelo amplía el análisis más allá de las fronteras de cada región. Es decir, integrando en cada subsistema las relaciones intersectoriales existentes con otras regiones, y que se generan con el fin de obtener la demanda final de un sector cualquiera en una región determinada.

La aplicación de este enfoque al modelo presentado arriba va a permitir cuantificar el impacto, en términos de emisiones atmosféricas, de la demanda final de un determinado sector de una región en relación al resto de ramas productivas de cada una de las regiones consideradas. De esta manera, será posible un análisis más detallado de los vínculos interregionales entre los diversos sectores productivos y del balance en CO₂ incorporado en el comercio. Y, en consecuencia, una mejora en la estimación e interpretación de la responsabilidad en la contaminación de cada sector en cada región de acuerdo a su demanda final y a la localización de ésta.

A partir de la expresión (4.17), se desagrega horizontalmente la demanda final de cada región de acuerdo a su destino territorial y se expresan en forma diagonal los vectores de demanda final resultantes, tal que:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{F}_{11} & \mathbf{F}_{12} & \mathbf{F}_{13} \\ \mathbf{F}_{21} & \mathbf{F}_{22} & \mathbf{F}_{23} \\ \mathbf{F}_{31} & \mathbf{F}_{32} & \mathbf{F}_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{P}_{11} & \mathbf{P}_{12} & \mathbf{P}_{13} \\ \mathbf{P}_{21} & \mathbf{P}_{22} & \mathbf{P}_{23} \\ \mathbf{P}_{31} & \mathbf{P}_{32} & \mathbf{P}_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\mathbf{y}}_{11} & \hat{\mathbf{y}}_{12} & \hat{\mathbf{y}}_{13} \\ \hat{\mathbf{y}}_{21} & \hat{\mathbf{y}}_{22} & \hat{\mathbf{y}}_{23} \\ \hat{\mathbf{y}}_{31} & \hat{\mathbf{y}}_{32} & \hat{\mathbf{y}}_{33} \end{bmatrix} \quad (4.23)$$

donde \mathbf{F}_{rs} es una matriz¹¹ ($n \times n$) en la que el elemento característico f_{rs}^{ij} indica las emisiones generadas, directa e indirectamente, por el sector i en la región r para satisfacer la demanda final del sector j en s . Similarmente, la suma de cada columna $f_{rs}^{(i)}$ evuelve el CO₂ emitido, directa e indirectamente, por los distintos sectores de la región r para la obtención de la demanda final del sector i en s . La integración vertical

¹¹ Nótese que $\mathbf{P}_{13} = \mathbf{P}_{23} = \mathbf{0}$, resultado de la aplicación del supuesto $\mathbf{A}_{13} = \mathbf{A}_{23} = \mathbf{0}$ explicado arriba.

permite evaluar el potencial de arrastre de cada sector en relación con el resto de ramas productivas de las distintas regiones consideradas, ya que en algún momento puede resultar interesante estudiar el impacto de un sector de forma individual. Las matrices \mathbf{F}_{rs} con $\{r \neq s\}$ son sumamente importantes puesto que, por un lado, muestran los vínculos interregionales comentados y, por otro, sirven para el cálculo del balance neto interregional en CO₂ incorporado.

Cabe distinguir entre las emisiones sectoriales totales, directas e indirectas, estimadas bajo el principio del productor en este modelo, dado por la suma de los elementos de cada fila de $\sum_{r=1}^3 \mathbf{F}_{1r}$, y las realizadas bajo el modelo uni-regional, $\mathbf{e}^{d'} \mathbf{L} \hat{\mathbf{y}}$ (expresión 4.3). En este último, gran parte de la demanda final incorpora exportaciones sin considerar si será consumido directamente por la demanda final de destino o será utilizado como input. Si el objetivo es analizar el impacto de la economía doméstica sin tener en cuenta las relaciones intersectoriales implícitas comercio exterior, el análisis uni-regional es totalmente válido. Ahora bien, si lo que se desea es integrar los *feedbacks* y *spillovers* interregionales con otras economías, es necesario el uso del análisis multi-regional.

4.4.5 Emisiones incorporadas en el comercio y responsabilidad

Tal y como se ha puesto de manifiesto en el modelo uni-regional, para estimar las emisiones de CO₂ generadas para satisfacer la demanda final de una región es necesario descontar las emisiones incorporadas en las exportaciones y sumar las incorporadas en las importaciones, restando aquellas que son importadas en primera instancia y finalmente incorporadas en las exportaciones. Dicho cálculo puede realizarse para el caso de dos regiones obteniendo el balance neto en CO₂ incorporado en el comercio entre ambas. Esto permite asignar la responsabilidad en dicho impacto de una región más allá del generado en su territorio, de acuerdo al principio contable del consumidor. En el análisis multi-regional, a partir de la ecuación (4.23):

$$\begin{aligned} \mathbf{B}_{1-r} &= \mathbf{F}_{1r} - \mathbf{F}_{r1} \\ &= \mathbf{P}_{11} \hat{\mathbf{y}}_{1r} + \mathbf{P}_{1r} \hat{\mathbf{y}}_{rr} + \mathbf{P}_{1s} \hat{\mathbf{y}}_{sr} - \mathbf{P}_{r1} \hat{\mathbf{y}}_{11} - \mathbf{P}_{rr} \hat{\mathbf{y}}_{r1} - \mathbf{P}_{rs} \hat{\mathbf{y}}_{s1} \end{aligned} \quad (4.24)$$

expresa el balance neto para la región 1 (Cataluña) respecto a la región r . El desarrollo formal del balance permite observar como el cálculo incorpora tanto el intercambio

directo entre ambas regiones $[\mathbf{P}_{11}\hat{\mathbf{y}}_{1r} + \mathbf{P}_{1r}\hat{\mathbf{y}}_{rr} - \mathbf{P}_{r1}\hat{\mathbf{y}}_{11} - \mathbf{P}_{rr}\hat{\mathbf{y}}_{r1}]$ como aquél que se sucede indirectamente mediante el comercio con la tercera región $[\mathbf{P}_{1s}\hat{\mathbf{y}}_{sr} - \mathbf{P}_{rs}\hat{\mathbf{y}}_{s1}]$. Téngase en cuenta que en la primera puede distinguirse entre las emisiones incorporadas en los productos destinados a la demanda final $[\mathbf{P}_{11}\hat{\mathbf{y}}_{1r} - \mathbf{P}_{rr}\hat{\mathbf{y}}_{r1}]$ y a la demanda intermedia¹² $[\mathbf{P}_{1r}\hat{\mathbf{y}}_{rr} - \mathbf{P}_{r1}\hat{\mathbf{y}}_{11}]$.

Nótese que \mathbf{B}_{1-r} es una matriz $(n \times n)$ donde el vector fila correspondiente a la suma de los elementos de cada columna $\mathbf{B}'_{1-r}^{(i)}$ muestra la diferencia entre la emisión de CO₂ total generada en la región 1 para satisfacer la demanda final de cada sector i en r y la total generada en r para obtener la demanda final del mismo sector en la región 1. Por lo tanto, se establece un balance en emisiones de acuerdo al impacto de la demanda final sectorial de cada región. La técnica de los subsistemas permite considerar el balance bajo este enfoque centrado en la responsabilidad del consumo final, respecto al estimado frecuentemente y que se centra en la producción¹³.

Siendo \mathbf{u} un vector columna unitario $(n \times 1)$, si $\mathbf{B}'_{1-r}^{(i)}\mathbf{u} < 0$ indicará que Cataluña incorpora mayor cantidad de CO₂ en las importaciones que en las exportaciones, en relación al comercio con r . Dicho de otro modo, Cataluña sería un responsable neto en cuanto al CO₂ incorporado en el comercio con r .

Ahora puede analizarse la importancia del sector i de una región cualquiera en relación a su impacto interregional en la obtención de su demanda final doméstica. El balance estimado no variará respecto realizado generalmente sin sectores verticalmente integrados, pero si mejorará su poder explicativo. En la misma expresión (4.24) la suma de los elementos de cada fila $\mathbf{B}_{1-r}^{(j)}$ devuelve el valor del balance sin sectores verticalmente integrados, útil en el análisis de algunos sectores con fuertes vínculos hacia delante (*forward linkages*). El resultado arroja, simplemente, la diferencia de las emisiones totales, directas e indirectas, incorporadas entre las importaciones y las exportaciones de una región respecto a otra. Sin embargo, este método no es útil para estimar las emisiones totales asociadas al consumo de un determinado producto en una región. Tan solo establece la diferencia entre el impacto incorporado entre el conjuntos de los productos comerciados sin tener en cuenta su destino final sectorial.

¹² Un análisis en profundidad en esta dirección es el que se lleva a cabo en el Capítulo 5.

¹³ En el análisis empírico se explica un ejemplo del balance sectorial en emisiones entre Cataluña y el resto del España para el sector de la química.

A partir de la ecuación (4.24), puede extenderse el cálculo incorporando el resto de regiones consideradas en el modelo, cuyo resultado vendrá dado por la expresión siguiente:

$$\mathbf{B}_1^T = \sum_{r \neq 1} (\mathbf{F}_{1r} - \mathbf{F}_{r1}) \quad (4.25)$$

Ahora, si el balance tiene signo negativo indicará que las emisiones generadas directamente por la economía catalana son menores que las asociadas a su demanda final. Dicho de otro modo, su responsabilidad de acuerdo al principio del consumidor será mayor que bajo el principio del productor.

Ahora, el total del CO₂ asignado a la demanda final de Cataluña viene dado por¹⁴:

$$\begin{aligned} \mathbf{F}_1^T &= \mathbf{F}_{11} + \mathbf{F}_{21} + \mathbf{F}_{31} \\ &= [\mathbf{P}_{11} + \mathbf{P}_{21} + \mathbf{P}_{31}] \hat{\mathbf{y}}_{11} + [\mathbf{P}_{12} + \mathbf{P}_{22} + \mathbf{P}_{32}] \hat{\mathbf{y}}_{21} + [\mathbf{P}_{13} + \mathbf{P}_{23} + \mathbf{P}_{33}] \hat{\mathbf{y}}_{31} \end{aligned} \quad (4.26)$$

de donde pueden obtenerse los resultados por sectores verticalmente integrados como sigue:

$$\mathbf{f}_1^T = \sum_{r=1} \mathbf{f}_{r1}^T \quad (4.27)$$

con $\mathbf{f}_{r1}^T = \mathbf{u}' \mathbf{F}_{r1}$, siendo \mathbf{u}' un vector fila unitario ($1 \times n$). Cada elemento $\mathbf{f}_1^{T(i)}$ expresa el total de emisiones asignadas a la demanda final del sector i de Cataluña. Así, gracias a la integración vertical, el impacto global asignado al consumo de Cataluña queda desagregado de acuerdo a la responsabilidad de la demanda final de cada rama productiva catalana. Como se ha comentado arriba, $\mathbf{f}_1^{T(i)}$ representa un subsistema correspondiente al sector i de la región r que permite el estudio de su estructura

¹⁴ Como se ha indicado al principio de este apartado, esta misma expresión puede ser obtenida restando el balance total (4.25) a la responsabilidad de Cataluña de acuerdo al principio del productor, dado por $\mathbf{F}_{11} + \mathbf{F}_{12} + \mathbf{F}_{13}$, tal que:

$$\mathbf{F}_1^T = \mathbf{F}_{11} + \mathbf{F}_{12} + \mathbf{F}_{13} - \mathbf{B}_1^T = \mathbf{F}_{11} + \mathbf{F}_{21} + \mathbf{F}_{31}$$

con

$$\mathbf{B}_1^T = -\mathbf{F}_{12} - \mathbf{F}_{13} + \mathbf{F}_{21} + \mathbf{F}_{31}$$

productiva en relación con el resto de sectores que forman las economías de las distintas regiones consideradas.

Este subsistema puede descomponerse analizando cada matriz \mathbf{F}_{r1} de la expresión (4.26) por separado. Al estar expresada con sectores verticalmente integrados, los elementos de la columna j de cada matriz \mathbf{F}_{r1} indican, de forma desagregada, el impacto de la demanda final del sector j catalán sobre cada rama productiva de la región r . Estas matrices son sumamente importantes y muestran parte del potencial analítico de la aplicación de los subsistemas en el análisis multi-regional. El objetivo es poder estudiar con más profundidad las relaciones interregionales que determinan la emisión asociada un sector cualquiera. Esto pone de manifiesto las posibilidades de esta metodología en el estudio de los impactos interregionales desde la perspectiva del consumo.

La estimación del balance con sectores verticalmente integrados expuesto en este apartado coincide con la propuesta de Serrano y Dietzenbacher (2010) donde se evalúa su equivalencia con el enfoque usualmente utilizado. Sin embargo, frente a la hipótesis de “economía pequeña” asumida en su trabajo ($\mathbf{A}_{13} = \mathbf{A}_{23} = 0$), una referencia a la distribución de las exportaciones entre la demanda intermedia y final del resto del mundo se hace imprescindible. Con este objetivo, en esta sección se ha presentado una propuesta para el tratamiento del comercio con el resto del mundo.

Así, para el caso del balance neto entre Cataluña y el RM, la ecuación (4.24) queda como sigue:

$$\mathbf{B}_{1-3} = \mathbf{F}_{13} - \mathbf{F}_{31} = \mathbf{P}_{11}\hat{\mathbf{y}}_{13} + \mathbf{P}_{12}\hat{\mathbf{y}}_{23} + \mathbf{P}_{13}\hat{\mathbf{y}}_{33} - \mathbf{P}_{31}\hat{\mathbf{y}}_{11} + \mathbf{P}_{32}\hat{\mathbf{y}}_{21} + \mathbf{P}_{33}\hat{\mathbf{y}}_{31} \quad (4.28)$$

donde $\mathbf{P}_{13}\hat{\mathbf{y}}_{33}$ determina la forma en que los distintos sectores del RM utilizan como inputs las importaciones procedentes de Cataluña para la elaboración de su demanda final. Esto permite una estimación más coherente con la metodología del balance neto respecto al RM con sectores verticalmente integrados.

4.5 Base de datos y preparación

4.5.1 Información de las tablas MRIO

La información necesaria para construir un MRIO es considerable y rara vez completamente disponible. En este sentido, a las limitaciones metodológicas derivadas de los supuestos implícitos del análisis input-output (Miller y Blair, 2009), debe añadirse la problemática de la disponibilidad de datos. Por un lado, esto requiere asumir determinados supuestos metodológicos de acuerdo a cada caso, como los formulados en la sección anterior. Por otro lado, el reto de construir un modelo MRIO pasa por la estimación de parte de la información no disponible directamente e imprescindible en el análisis, especialmente en cuanto al comercio interregional.

En el apartado 4.4.3 se ha explicado el tratamiento de la información correspondiente al RM. Para la construcción del resto del modelo MRIO se ha utilizado el marco estadístico input-output para Cataluña y el total de la economía española, publicado para el 2001 y 2005 por el Idescat (Instituto de Estadística de Cataluña) y el INE (Instituto de Estadística de España), respectivamente. La TIO española para el 2001 ha tenido que ser simetrizada siguiendo el procedimiento que se explica en el Apéndice 4.B, ya que el INE únicamente publica la TIO simétrica cada cinco años, para el resto provee de las tablas input-output de origen y destino. Toda esta información permite disponer de forma directa de las matrices \mathbf{A}_{11} , \mathbf{A}_{21} , \mathbf{A}_{33} y \mathbf{A}_{31} , así como los vectores \mathbf{y}_{11} , \mathbf{y}_{13} , \mathbf{y}_{21} e \mathbf{y}_{31} del modelo. Únicamente es necesario agregar los datos para hacerlos compatibles con la clasificación presentada en el Capítulo 2.

La principal problemática se concentra en la información correspondiente al interior del RE y al comercio interregional. Por un lado, la falta de integración metodológica entre las TIO regionales y nacional imposibilita la opción de descontar los datos de Cataluña a la total española para obtener la TIO del RE (Llano, 2004). En consecuencia, a partir de los datos disponibles, ha sido necesario estimar esta información adoptando el supuesto de misma tecnología entre la economía del resto de España y la total nacional. Por otro lado, mientras las TIOC (tablas input-output de Cataluña) proveen de las matrices de importaciones intersectoriales que realiza Cataluña, se han tenido que estimar las correspondientes al RE procedentes de Cataluña (\mathbf{A}_{12}) y el RM (\mathbf{A}_{32}). En el primer caso, se ha supuesto que las distintas ramas

productivas y la demanda final utilizan en la misma proporción el output procedente de Cataluña y del RE de acuerdo a los coeficientes de distribución de la TIO interior de España. Para el caso de las del RM, se asume que la región del RE distribuye estas importaciones de la misma forma que lo hace la economía española. El proceso de construcción completo viene explicado en el Apéndice 4.C.

4.5.2 Bases de datos-emisiones

Las cuentas satélite de contaminación atmosférica presentadas en el Capítulo 2 proveen de la información necesaria sobre las emisiones de Cataluña para el 2005. Respecto a las emisiones correspondientes al 2001 para esta misma región, se han utilizado las publicadas por el Idescat y referenciadas en dicho capítulo como una de las fuentes metodológicas que han servido para la elaboración de las del 2005 (Idescat, 2009). Como se ha señalado en el Capítulo 2, en el proceso de elaboración de las cuentas del aire para el 2005 se han incorporado cambios metodológicos siguiendo las recomendaciones del manual del Eurostat (2009). Con el objetivo de compatibilizar al máximo la información de ambos periodos, se han realizado varios ajustes en las cuentas del 2001. Estos ajustes se centran en los procesos de combustión SNAP “02 01-Plantas de combustión comercial e institucional” y “03 01-Calderas de combustión industrial”, así como en el proceso del “Transporte por carretera”. En definitiva, es en estos procesos donde se concentran las principales aportaciones metodológicas de las cuentas del 2005.

En cuanto a las emisiones correspondientes al resto de España se han obtenido restando las estimadas para Cataluña a las totales españolas publicadas por el Eurostat (Eurostat, 2011) Este organismo estima las cuentas del aire anuales a partir de la información que le suministra el INE. Esta clasificación muestra una compatibilidad directa con la elaborada en el Capítulo 2 a 43 sectores. No obstante, al igual que en el Capítulo 3, por motivos prácticos, los resultados serán presentados a 18 sectores.

4.6 Resultados y discusión

En las próximas dos secciones se presenta el análisis empírico realizado para Cataluña, el cual tiene como objetivo estudiar el impacto de esta región, en términos de emisiones, en relación al comercio con el RE y el RM. Primeramente se realiza una aplicación del modelo uni-regional para varios tipos de gases contaminantes adoptando el supuesto de “misma tecnología”, con un estudio más profundo para el caso del CO₂. En el caso de España, de acuerdo al trabajo de Andrew et al. (2009), el error en el uso de este supuesto es poco significativo, alrededor del 1%. No es así para el caso de Cataluña, tal y como se mostrará más adelante con la aplicación del modelo multi-regional. Los resultados demostrarán como la incorporación de la información de la región del resto de España, con índices de emisión muy superiores, cambia absolutamente el balance en CO₂ de Cataluña.

Aunque ya se ha explicado que los resultados obtenidos para ambos modelos deben tomarse con precaución, especialmente en cuanto a la estimación del impacto global de la demanda final catalana, se apreciará como ambas metodologías aportan gran cantidad de información válida para un estudio integrado de las relaciones entre la economía y el medio ambiente.

Con el objetivo de agilizar el análisis empírico y a causa de ciertas limitaciones en la disponibilidad de información suficientemente desagregada de algunos tipos de gases para la economía española, se limitará la aplicación del modelo MRIO al CO₂ para el año 2005, con una breve comparativa con el 2001.

4.6.1 Resultados del análisis uni-regional input-output

4.6.1.1 Una aplicación para las emisiones de CO₂, CH₄, COVNM, SO₂ y NO_x

En la Tabla 4.D.1 y Tabla 4.D.2 se presentan los resultados de la estimación del balance en emisión de distintos gases para Cataluña en el 2001 y 2005 (expresión 4.13). La primera tabla muestra como, excepto en el caso del CH₄, Cataluña mantiene en ambos periodos un superávit en emisiones incorporadas en el comercio con el exterior. Es decir, las emisiones asociadas a las exportaciones son mayores que las asociadas a las importaciones, teniendo en cuenta la asunción de “misma tecnología” utilizado para las importaciones. Esto supone que la responsabilidad de acuerdo al principio del

consumidor es menor que respecto a la del productor en estos gases, contrariamente a lo que sucede con el conjunto de la economía española (Sánchez-Chóliz y Duarte, 2004; Serrano y Dietzenbacher, 2010).

Esto podría ser interpretado como que Cataluña está soportando los costes medioambientales de otras economías para las que produce, especialmente en aquellos gases con un claro impacto local, como es el caso de los COVNM, SO₂ y los NO_x. En el análisis empírico multi-regional se atisbará como, extendiendo la información del modelo, la situación se invierte para las emisiones de CO₂. Al asumir el supuesto de “misma tecnología”, lógicamente no cabe la posibilidad de que la causa de este superávit en emisiones sea debido a factores de distinta tecnología o intensidad de emisión. Por este motivo, el factor explicativo de este escenario es el superávit monetario comercial de la economía catalana en ambos periodos (ver Tabla 4.D.3).

No obstante, la situación de superávit comercial por sí sola no garantiza un superávit en emisiones. El factor determinante es el balance por rama productiva, que hace que la situación pueda variar de un gas a otro de acuerdo a la composición sectorial de las relaciones comerciales con el exterior. Un ejemplo evidente es el caso del CH₄ (Tabla 4.D.2). El importante déficit comercial del sector agroalimentario (sectores 1 y 3), donde se concentra gran parte de estas emisiones, junto con la elevada cantidad de importaciones por parte de la “Hostelería” de esta tipología de productos, hace que Cataluña mantenga un balance en CH₄ deficitario.

La desagregación sectorial del balance en emisiones ilustra la importancia de cada sector en el impacto medioambiental dentro y fuera del territorio. Es el caso de la “Industria química” para los COVNM y los NO_x, o el “Transporte” y “Otras industrias no metálicas” para los mismos óxidos de nitrógeno.

En el periodo considerado, el balance en emisiones de COVNM y SO_x de Cataluña experimenta una disminución en su superávit en línea con la tendencia del comercio exterior y la evolución de las emisiones de estos gases por parte de la actividad económica catalana, en la que se ve reducida su emisión considerablemente¹⁵. No sucede así con el NO_x y el CO₂. En este caso, la economía catalana aumenta la cantidad incorporada en las exportaciones en relación a las importaciones.

¹⁵ Puede verse en Idescat (2009) como se redujo la emisión agregada de estos gases en los años previos al 2005.

Otro factor determinante en la distinta evolución de cada gas es el cambio en la composición del comercio exterior relacionado con cambios en la demanda interna, teniendo efectos inversos en los balances de los distintos gases, de acuerdo a la intensidad de emisión de cada sector en cada tipo de gas¹⁶. Es el caso, por ejemplo, del CH₄, cuyo aumento en el déficit en emisiones es debido principalmente al gran aumento de la demanda interna de productos agroalimentarios. De otra parte, en el caso del CO₂ es evidente la importancia del aumento del superávit comercial en la actividad del transporte y de otras industrias no metálicas, sectores con una elevada importancia en estas emisiones.

4.6.1.2 Estudio del balance en CO₂ para el 2005

En este apartado se lleva a cabo un análisis empírico más profundo del modelo uni-regional para las emisiones de CO₂, demostrando así el potencial de la metodología para este tipo de estudios. Por simplicidad y relevancia en cuanto a contaminación, se limita el análisis a este tipo de gas y al año 2005. Siguiendo el trabajo empírico realizado por los autores en Sánchez-Chóliz and Duarte (2004) para la economía española, la Tabla 4.D.4 y la Tabla 4.D.5 muestran los principales resultados del análisis para Cataluña.

Merece la pena destacar, en primer lugar, que de la emisión total asociada a la demanda final catalana (la generada en el interior más la importada) unas 58.536 kt, únicamente el 66% (38.427 kt), son generadas en el interior por la producción doméstica. El resto, 20.109 kt, son generadas en el exterior e incorporadas en las importaciones, un porcentaje muy significativo (34%). Del total asociado a las importaciones, la gran mayoría (15.945 kt) se corresponde con inputs importados por los sectores productivos domésticos. Destacan como principales importados de emisiones de CO₂ los sectores “Industria de alimentación, bebidas y tabaco”, “Otras industrias no metálicas”, “Construcción” y “Servicios empresariales”¹⁷.

En cuanto a las exportaciones, éstas incorporan un total de 27.947 kt de CO₂, lo que supone más de un 47% del total incorporado en la demanda final (58.536 kt). La mayor parte de este CO₂ corresponde a emisiones generadas por la producción

¹⁶ Pueden valorarse otros aspectos relacionados con la eficiencia, tecnología y cambio en el mix de inputs utilizado que no se incluyen en el presente estudio.

¹⁷ Cabe destacar que en el caso de incluir las emisiones de metano en el análisis la “Industria alimentación, bebidas y tabaco” tendría un peso más elevado.

doméstica (20.430 kt), mientras que el resto son emisiones incorporadas en importaciones utilizadas en la producción del output exportado. El peso de las emisiones domésticas incorporadas en las exportaciones sobre la emisión asociada a Cataluña, con un 53% (20.430 kt sobre 38.427 kt), representa un porcentaje superior al de las exportaciones sobre el total incorporado en la demanda final. Esto refleja la importancia de las emisiones generadas en el interior que tienen como destino la demanda externa. Es más, de acuerdo al análisis realizado, casi la mitad del CO₂ importado es incorporado más tarde en las exportaciones (7.517 kt sobre 15.945 kt). Una parte relevante de estas emisiones corresponden a inputs comprados en el resto del mundo utilizados para la producción de productos exportados al resto de España, vislumbrando de esta manera una parte del rol comercial de la economía catalana. Algo que puede evaluarse con la metodología desarrollada en el Capítulo 5.

A nivel sectorial, cabe destacar la “Industria química”, “Otras industrias no metálicas” y “Transporte”, como los sectores más importantes en el CO₂ incorporado en las exportaciones. Estos sectores son, junto con la “Metalurgia”, los que presentan una ratio CO₂ exportado entre importado mayor. Esta ratio indica la mayor o menor propensión a incorporar emisiones en la exportación respecto a lo incorporado en la importación. Lógicamente, son sectores que aportan un superávit al balance total en emisiones de Cataluña. En cambio, sectores con una ratio por debajo de 1, suponen un déficit en CO₂. Es el caso, principalmente, de la “Construcción” con una ratio de 0, un resultado plausible con la idiosincrasia de este sector, donde la demanda interna es el destino exclusivo de su producción.

Tal y como se ha comentado con anterioridad, Cataluña mantiene un superávit en el balance en emisiones estimado para el 2005 que asciende a unas 7.838 kt y que representa un 20% sobre la emisión doméstica (38.427 kt) y un 13% sobre la total incorporada (58.536 kt). No obstante, de acuerdo a la línea argumental de Sánchez-Chóliz and Duarte (2004) para el caso de España, el hecho de que la demanda interna catalana requiera una emisión neta en el exterior de 12.591 kt ([5]-[8] en Tabla 4.D.4) hace que una política orientada a un proceso de sustitución de exportaciones por producción doméstica causaría un incremento sustancial de la emisión doméstica. Lo que ayuda a entender los efectos de la demanda final catalana en cuanto a su impacto medioambiental en el exterior.

Por último, y con el objetivo de poder comparar con el análisis multi-regional, las dos últimas columnas de la Tabla 4.D.5 ofrecen la desagregación sectorial de las emisiones asociadas a la demanda final doméstica de Cataluña, la cual nos indica la responsabilidad de cada sector de acuerdo al principio del consumidor. En ella puede apreciarse el destacado peso del sector de la “Construcción”, seguido del “Sector público y otros servicios sociales”, los “Servicios empresariales” y la “Industria de alimentación, bebidas y tabaco”. Los resultados son plausibles con el enorme aumento de la demanda interna catalana en la primera mitad de la década pasada.

En el trabajo empírico que sigue se comprobará como la incorporación de la información correspondiente a la economía del resto de España no solo aumenta el impacto en CO₂ estimado de la demanda final catalana, sino que modifica la distribución sectorial de la responsabilidad.

4.6.2 Resultados del análisis MRIO

4.6.2.1 Un análisis general de la situación

Atendiendo a los datos disponibles, los distintos sectores productivos de la economía española emitieron un total de 294.655 kt de CO₂ en el año 2005, 38.427 kt de las cuales corresponden a las ramas productivas de la economía catalana, lo que supone el 13% . Un porcentaje muy por debajo del peso de la actividad productiva catalana en la economía española¹⁸.

En la Tabla 4.1 y Tabla 4.2 se presenta una visión general de la situación en cuanto al peso de cada sector en las emisiones tanto de Cataluña como del RE¹⁹. Pueden observarse algunos rasgos comunes en ambas regiones, acorde con la lógica de la estructura productiva en cuanto a los sectores con efectos de arrastre más importantes. Destacan en este sentido, la “Industria de alimentación, bebidas y tabaco” y prácticamente la totalidad de las ramas del sector servicios (excepto el transporte), así como un habitual en los *backward linkage* (*efectos de arrastre*), la “Construcción”. Actividades destinadas principalmente a la demanda final y con fuertes vínculos

¹⁸En el año 2005 el PIB de Cataluña representó cerca del 20% del total español y la población ocupada el 18% (INE, 2010)

¹⁹ Esta información se corresponde con la presentada en el Capítulo 2 pero con un mayor nivel de agregación sectorial (18 sectores).

inducidos sobre los sectores precedentes del proceso productivo. En este punto, en ambas regiones ya se vislumbra la importancia en la emisión total de la actividad de la construcción de acuerdo al elevado peso que ha tenido esta actividad en la economía española en la última década.

Por otra parte, pueden observarse sectores con una cantidad de emisión directa superior a la total, cuyo multiplicador de demanda será inferior a 1. Es el caso de la mayoría del sector primario, el sector la “Producción y distribución de energía” y determinadas industrias destinadas a la demanda intermedia, como por ejemplo “Otras industrias no metálicas”, donde los materiales para la construcción tienen un papel muy relevante.

Cabe poner especial atención en la rama productiva correspondiente a la “Producción y distribución de energía”, especialmente por la sustancial diferencia en la participación que las emisiones de este sector tienen sobre el total generado en una región y en otra. En el RE es responsable de forma directa del 40% del total de emisiones de CO₂, en cambio su emisión total, directa e indirecta, desciende a algo menos del 11%, atendiendo a su característica de suministrador de inputs a otras ramas. Puede observarse como el multiplicador sectorial de la emisión para esta rama productiva es uno de los más bajos.

Tabla 4.1. Emisiones de CO₂ totales generadas en Cataluña por sector (kt)

<i>Sectores productivos</i>	Emisión directa de CO ₂ (1)	% emisión directa	Emisión total de CO ₂ (2)	% emisión total	multiplicador sectorial (2)/(1)
1- Agricultura, ganadería y pesca	883,2	2,3%	416,4	1,1%	0,5
2- Minería, coquerías, refino y combustibles nucleares	3099,8	8,1%	1424,5	3,7%	0,5
3- Industria de alimentación, bebidas y tabaco	1280,0	3,3%	2896,9	7,5%	2,3
4- Industria textil, peletería y cuero	401,5	1,0%	796,1	2,1%	2,0
5- Industria del papel, madera y artes gráficas	919,6	2,4%	949,2	2,5%	1,0
6- Industria química	3467,8	9,0%	3570,3	9,3%	1,0
7- Otras industrias no metálicas	9989,6	26,0%	5132,2	13,4%	0,5
8- Metalurgia	550,4	1,4%	298,5	0,8%	0,5
9- Productos metálicos	208,8	0,5%	578,8	1,5%	2,8
10- Industria eléctrica, electrónica y maquinaria	302,9	0,8%	1244,4	3,2%	4,1
11- Industria del transporte	404,4	1,1%	1381,5	3,6%	3,4
12- Otras industrias	302,2	0,8%	398,3	1,0%	1,3
13- Producción y distribución de energía	6328,3	16,5%	2601,9	6,8%	0,4
14- Construcción	301,9	0,8%	4364,3	11,4%	14,5
15- Hostelería	78,5	0,2%	1487,3	3,9%	18,9
16- Transporte	7943,3	20,7%	5068,2	13,2%	0,6
17- Servicios empresariales	484,9	1,3%	3047,1	7,9%	6,3
18- Sector público y otros servicios sociales	1480,5	3,9%	2771,8	7,2%	1,9
TOTAL	38427,8	100,0%	38427,8	100,0%	

Tabla 4.2. Emisiones de CO₂ totales generadas en el resto de España por sector (kt)

<i>Sectores productivos</i>	Emisión directa de CO ₂ (1)	% emisión directa	Emisión total de CO ₂ (2)	% emisión total	multiplicador sectorial (2)/(1)
1- Agricultura, ganadería y pesca	10689,7	4,2%	6256,3	2,4%	0,6
2- Minería, coquerías, refino y combustibles nucleares	20272,2	7,9%	11547,9	4,5%	0,6
3- Industria de alimentación, bebidas y tabaco	4899,1	1,9%	16604,4	6,5%	3,4
4- Industria textil, peletería y cuero	1712,0	0,7%	3096,9	1,2%	1,8
5- Industria del papel, madera y artes gráficas	2993,7	1,2%	2589,1	1,0%	0,9
6- Industria química	5098,0	2,0%	8509,0	3,3%	1,7
7- Otras industrias no metálicas	43011,5	16,8%	9259,1	3,6%	0,2
8- Metalurgia	14553,4	5,7%	7432,9	2,9%	0,5
9- Productos metálicos	270,8	0,1%	2297,6	0,9%	8,5
10- Industria eléctrica, electrónica y maquinaria	428,0	0,2%	5899,9	2,3%	13,8
11- Industria del transporte	1712,5	0,7%	9694,5	3,8%	5,7
12- Otras industrias	334,5	0,1%	1637,1	0,6%	4,9
13- Producción y distribución de energía	103894,3	40,5%	27671,7	10,8%	0,3
14- Construcción	2828,6	1,1%	49340,4	19,3%	17,4
15- Hostelería	6026,8	2,4%	14381,1	5,6%	2,4
16- Transporte	33991,2	13,3%	22578,4	8,8%	0,7
17- Servicios empresariales	1008,0	0,4%	33513,6	13,1%	33,2
18- Sector público y otros servicios sociales	2503,3	1,0%	19729,1	7,7%	7,9
TOTAL	256227,5	100,0%	256227,5	100,0%	

En cambio, en el caso de Cataluña la importancia de este sector es menor, en tanto que las emisiones directas superan ligeramente el 16% y las totales representan poco más del 4%. La diferencia se explica por el distinto mix energético en la producción de energía eléctrica entre una región y otra. El mayor peso de las centrales termoeléctricas en el RE, intensivas en el uso de recursos fósiles, contrasta con la importancia de la energía nuclear como energía primaria en Cataluña. Con el objetivo de vislumbrar todavía más este hecho, en la Tabla 4.E.1 se presenta la relación de coeficientes domésticos estimados para ambas economías.

Otra diferencia muy relevante entre ambas regiones es el mayor peso de la industria en la estructura productiva catalana, lo que se traduce en una mayor responsabilidad en la emisión total de actividades como las industrias no metálicas y la química.

4.6.2.2 Balance en CO₂ incorporado

En el punto anterior se han presentado los resultados correspondientes a las emisiones generadas por la actividad económica de cada región de acuerdo al principio del productor. Esto es, responsabilizando a la actividad económica regional de su emisión directa, independientemente del destino final de su producción y sin tener en cuenta el

impacto incorporado en las importaciones. Sin embargo, esto es inconsistente con el estudio del impacto medioambiental asociado al consumo de una región de acuerdo con estimaciones como la huella ecológica o de carbono, las cuales se basan en el principio del consumidor. Para analizar la situación de Cataluña bajo este enfoque es necesario estimar las emisiones incorporadas en el comercio.

En la Tabla 4.3 se muestra de forma agregada los resultados correspondientes al balance en CO₂ para Cataluña respecto al RE y el RM. Los datos muestran como Cataluña, aun teniendo un importante superávit (monetario) comercial de bienes y servicios con el RE (Tabla 4.E.2), mantiene un déficit en términos de CO₂ incorporado de 3.163 kt. Esto implica que el CO₂ emitido en Cataluña para satisfacer la demanda del RE es menor que las emisiones generadas en el RE para producir los outputs consumidos por la demanda final de Cataluña. Este déficit es relativamente importante, para hacernos una idea, representa un 8% del total generado en Cataluña. Como se ha mencionado arriba, este resultado es consecuencia de la distinta intensidad de emisión entre ambas estructuras productivas.

En cuanto al balance con el RM, la situación de déficit comercial con el exterior y la consideración de la misma tecnología que la española a las importaciones del RM, tienen como resultado un déficit en CO₂ incorporado de 5.046 kt, que representa un 13% del total generado en Cataluña. Lo que sumado al del RE, supone un déficit global de 8.210 kt.

Tabla 4.3. Criterios de responsabilidad y balances en CO₂ incorporados para Cataluña (kt) (2005)

	<i>Responsabilidad productor</i>		<i>Responsabilidad consumidor</i>		Balance (3)=(1)-(2)
	CO ₂ generado en Cataluña soportado por:		CO ₂ soportado por Cataluña generado en:		
	kt (1)	%	kt (2)	%	
CATALUÑA	13037,1	33,9%	13037,1	28,0%	/
RESTO DE ESPAÑA	13964,6	36,3%	17128,3	36,7%	-3163,8
RESTO DEL MUNDO	11426,1	29,7%	16472,6	35,3%	-5046,5
TOTAL	38427,8	100,0%	46638,0	100,0%	-8210,3

Del total de las emisiones generadas directamente por la actividad productiva catalana, únicamente un 33,9% tienen como destino satisfacer la demanda doméstica. En cambio, las emisiones generadas para la demanda final del RE y el RM suponen el 36,3% y el 29,7% respectivamente. Este hecho muestra la importancia del comercio interregional con el resto del estado español en términos de emisiones, lo que refuerza el sentido del estudio. De hecho, el CO₂ incorporado en las importaciones procedentes del RE, con un 36,7%, representa un peso considerable en el impacto global de la demanda final catalana. Si además consideramos que las emisiones incorporadas en las importaciones procedentes del RM suponen el 35,3%; se hace evidente el hecho de que la mayor parte de la emisión de CO₂ correspondiente al consumo de Cataluña se genera fuera de sus fronteras.

En definitiva, de acuerdo al principio del consumidor, las estimaciones realizadas nos indican que Cataluña es responsable de un total de 46.638 kt de emisiones de CO₂, muy superior a lo contabilizado bajo el principio del productor. Se ha visto arriba como el comercio con el RE es clave en la magnitud de esta diferencia, puesto que ambas regiones presentan índices de emisión muy dispares. En cualquier caso, al asumir que España y el RM utilizan la misma tecnología, podríamos estar subestimando las emisiones incorporadas en las importaciones y, por lo tanto, la responsabilidad de la demanda final de Cataluña. Es evidente la importancia en este aspecto del comercio con China y el resto del sudeste asiático, cuyas importaciones tienen un peso cada vez más relevante en la economía e incorporan una cantidad muy superior de emisión por producto. No obstante, la importancia de las relaciones comerciales con economías con índices de emisión inferior a los domésticos (en el caso de España) puede compensar esta primera intuición (Peters y Hertwich, 2006a). Más adelante se tratará la rigurosidad de la estimación realizada para Cataluña en este trabajo de acuerdo a los supuestos realizados y a las investigaciones empíricas existentes para la economía española.

4.6.2.3 Resultados por rama productiva

La metodología presentada en la Sección 4.4.5 permite desagregar cada componente del balance en CO₂ incorporado por sectores verticalmente integrados. Cada elemento de este balance refleja el impacto de la demanda final de cada sector de una determinada región sobre el conjunto de sectores de otra región cualquiera. Esto conlleva que, por

ejemplo, el balance entre Cataluña y el RE correspondiente al sector 6 “Industria química” refleje la diferencia entre: las emisiones totales generadas en Cataluña para satisfacer la demanda final del RE de este sector (un total de 1.300,8 kt); y la emisión generada por el conjunto de sectores productivos en el RE para satisfacer la demanda final de la “Industria química” en Cataluña (un total de 537,1 kt). El resultado es un superávit para Cataluña en este sector de 763,7 kt en CO₂ incorporado debido, principalmente, a la alta capacidad exportadora de la industria química catalana. Los resultados son presentados en la Tabla 4.E.3.

Excepto en el caso de algunas industrias, del sector de la construcción y del transporte, en la mayoría de ramas productivas Cataluña muestra un balance deficitario respecto el RE. Cabe prestar especial atención al sector 13 “Producción y distribución de energía”, el cual supone el déficit más elevado con 2.005,8 kt de CO₂. Su impacto en el balance es aún mayor sin realizar la integración vertical, es decir, evaluando la diferencia entre la generación directa de emisiones de este sector en Cataluña para satisfacer la demanda final total del RE; y las generadas en el RE por este sector para los consumidores catalanes. El resultado es un déficit superior a las 6.227 kt de CO₂ (ver Tabla 4.E.4). Sin embargo, este es un sector con fuertes vínculos hacia adelante, por lo que tras la integración vertical una parte importante de sus emisiones directas generadas en el RE están redistribuidas, indirectamente, entre las distintas ramas productivas de Cataluña a los que este sector vende inputs (Serrano y Dietzenbacher, 2010). Concretamente, son muy relevantes las emisiones incorporadas en las importaciones que tienen como destino la demanda final catalana del sector 13, de aquí su peso en el balance. En cualquier caso, los resultados se corresponden de forma plausible con la situación energética de ambas regiones comentada al inicio de esta sección.

Una parte importante de la responsabilidad del déficit en CO₂ de Cataluña con el RE corresponde al sector 15 “Hostelería” y 18 “Sector público y otros servicios sociales”, cuya demanda final catalana tiene importantes efectos de arrastre sobre la economía, siendo así responsable de las emisiones generadas en la producción de otros sectores tanto en el interior como en el exterior de Cataluña. Estos resultados no son sorprendentes, puesto que es conocido el impacto indirecto de una economía de servicios debido especialmente al consumo de energía eléctrica e inputs industriales de diversa índole (Alcántara y Padilla, 2009). En el caso particular de la “Hostelería”,

destacan los efectos de arrastre sobre el sector agroalimentario²⁰. Para ambos sectores, son también relevantes las compras a la rama de servicios de transporte como impacto indirecto. Más adelante se analizará con detalle estos efectos a nivel interregional.

Otros dos sectores que merecen la pena destacar por su peso en el balance son el 1 “Agricultura, ganadería y pesca” y el 3 “Industria de alimentación, bebidas y tabaco”. En el caso del primero, Cataluña presenta un importante déficit comercial con el resto del Estado. Esto genera directamente el déficit catalán en CO₂ para el sector 1, e, indirectamente, una importante parte del déficit del sector 3 a través de los inputs del sector 1 que éste importa del RE para la elaboración de su demanda final en Cataluña. Al considerar el balance desde la óptica del impacto de la demanda final de cada sector en cada región, las ramas productivas con fuertes efectos de arrastre sobre la economía, como el sector 3, el 15 y el 18, adquieren una extraordinaria relevancia.

El superávit para Cataluña con el RE en algunas ramas industriales (sectores 6 y 7) indica una cierta especialización industrial con orientación al sector exterior de la economía catalana. Aunque en las últimas décadas Cataluña ha padecido un importante proceso de desindustrialización, su industria aún hoy sigue siendo una característica diferencial de su estructura productiva respecto a la del RE.

Si se analiza ahora la desagregación sectorial del balance global en CO₂ asociado al comercio de Cataluña, se observa como la composición del déficit con el RM aporta relevantes cambios respecto al balance bi-regional con el RE. Ahora, el sector 13 “Producción y distribución de energía” tiene un peso menor debido a que las importaciones del RM para satisfacer la demanda final catalana de este sector se concentran en productos correspondientes al sector 2 “Minería, coquerías, refino y combustibles nucleares”. Productos de energía primaria por transformar por las industrias locales para su uso doméstico o producción de energía eléctrica (petróleo, carbón y gas principalmente). Esto hace que este sector sea el principal causante, junto con el sector 16 “Hostelería”, del déficit existente con el RM. De hecho, tal y como se ha explicado arriba para el sector 13, si consideramos los resultados sin la integración vertical, el sector 2 adquiere una gran notoriedad en el balance global con un impacto neto de 4.702,3 kt de emisiones.

²⁰ Formado por el sector 1 “Agricultura, ganadería y pesca” y el 3 “Industria de la alimentación, bebidas y tabaco”.

Este asunto muestra la enorme dependencia energética del exterior de la economía catalana, sustentada principalmente sobre unos recursos fósiles no disponibles en el interior y que son importados del RM, puesto que el RE tampoco dispone de esta energía primaria (Ramos, 2009). No obstante, tras la integración vertical, este impacto se asigna a las distintas ramas productivas que compran inputs, directa o indirectamente, al sector 2 para la elaboración de sus demandas finales. El mismo sector 2, el 13, los sectores de servicios y la construcción son los principales proveedores finales.

En el 2005, en pleno boom inmobiliario, es lógico el relevante peso que adquiere el sector 14 “Construcción” en el balance con el RM, mientras que con el RE mantiene un superávit poco significativo. Además, se observa como los vínculos interregionales de este sector, especialmente con el RE, son muy fuertes. La actividad de la construcción es altamente deficitaria con el exterior, tanto en términos monetarios como en términos de impacto medioambiental. Es un sector cuya demanda final es íntegramente interna y que requiere de gran cantidad de inputs de otros sectores fabricados en el exterior si la economía en cuestión no dispone de estos recursos, como es el caso de la economía catalana (Bielsa y Duarte, 2011).

En la evaluación del déficit global respecto al bi-regional con el RE, el sector 10 “Industria eléctrica, electrónica y maquinaria” experimenta un aumento significativo. La principal causa es el elevado déficit comercial con el RM. En cambio, los sectores terciarios 17 “Servicios empresariales” y 18 “Sector público y otros servicios sociales”, ven disminuido su déficit debido a que la principal causa de éste es el consumo de electricidad importada del RE. En el próximo apartado se exponen las matrices de resultados que muestran estos vínculos interregionales a través de la integración vertical y que permiten visualizar con claridad este hecho.

En definitiva, se ha mostrado cuales son los sectores más importantes en cuanto a su peso en el déficit global en CO₂ para Cataluña, estrechamente relacionado con la estructura de su demanda interna, la dependencia energética exterior y la distinta intensidad de emisión entre la producción interna y las importaciones. No obstante, se advierte el caso de industrias (sectores 6 y 7) en las que existe un superávit en el balance de emisiones, fruto de una alta especialización y competitividad internacional que tiene como consecuencia un importante superávit comercial.

4.6.2.4 Impacto interregional de la demanda final de Cataluña por sector

La expresión (4.26) ofrece la posibilidad de descomponer el impacto de la demanda final de cada sector de la economía catalana de acuerdo a los efectos inducidos sobre cada sector de cada región considerada. De esta manera, se han podido estimar las emisiones generadas en el RE y en el RM para satisfacer la demanda final de cada uno de los sectores de la economía catalana, es decir, su impacto interregional. Una primera muestra de estos resultados, extraídos de la Tabla 4.E.3, se presentan por separado en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4. Emisiones de CO₂ incorporadas en la demanda final de Cataluña por origen (kt)

	GENERADAS EN:							
	CATALUÑA		RESTO DE ESPAÑA		RESTO DEL MUNDO		TOTAL	
	kt	% total Cat	kt	% total Cat	kt	% total Cat	kt	% total
Sectores productivos								
1- Agricultura, ganadería y pesca	130,2	0,28%	495,0	1,06%	428,9	0,9%	1054,1	2,3%
2- Minería, coquerías, refino y combustibles nucleares	417,1	0,89%	774,3	1,66%	1115,7	2,4%	2307,1	4,9%
3- Industria de alimentación, bebidas y tabaco	483,4	1,04%	1757,1	3,77%	1830,1	3,9%	4070,6	8,7%
4- Industria textil, peletería y cuero	35,1	0,08%	195,8	0,42%	541,8	1,2%	772,7	1,7%
5- Industria del papel, madera y artes gráficas	49,8	0,11%	150,1	0,32%	211,6	0,5%	411,5	0,9%
6- Industria química	200,8	0,43%	537,1	1,15%	1203,8	2,6%	1941,7	4,2%
7- Otras industrias no metálicas	162,6	0,35%	85,4	0,18%	196,1	0,4%	444,1	1,0%
8- Metalurgia	1,0	0,00%	0,7	0,00%	1,3	0,0%	3,1	0,0%
9- Productos metálicos	39,0	0,08%	195,2	0,42%	293,5	0,6%	527,8	1,1%
10- Industria eléctrica, electrónica y maquinaria	73,9	0,16%	365,5	0,78%	1385,8	3,0%	1825,2	3,9%
11- Industria del transporte	58,3	0,13%	350,1	0,75%	1503,1	3,2%	1911,5	4,1%
12- Otras industrias	62,5	0,13%	172,0	0,37%	346,5	0,7%	581,0	1,2%
13- Producción y distribución de energía	1208,6	2,59%	2409,8	5,17%	614,6	1,3%	4232,9	9,1%
14- Construcción	3153,9	6,76%	3796,3	8,14%	1781,7	3,8%	8731,9	18,7%
15- Hostelería	1330,3	2,85%	1806,9	3,87%	1309,1	2,8%	4446,3	9,5%
16- Transporte	1578,2	3,38%	534,1	1,15%	946,3	2,0%	3058,6	6,6%
17- Servicios empresariales	1717,0	3,68%	1881,9	4,04%	1387,3	3,0%	4986,3	10,7%
18- Sector público y otros servicios sociales	2335,4	5,01%	1621,2	3,48%	1375,2	2,9%	5331,8	11,4%
TOTAL	13037,1	27,95%	17128,3	36,73%	16472,6	35,3%	46638,0	100,0%

Nuevamente cabe destacar el peso del sector de la construcción, puesto que de las 46.638 kt de CO₂ asociadas al consumo de Cataluña más de un 18% corresponde a su demanda final. Los fuertes efectos de arrastre sobre otros sectores, dentro y fuera del territorio catalán, lo convierten en el sector cuya demanda final representa el mayor impacto en términos de emisiones de CO₂ de dicha economía. Nótese que gran parte de su impacto es generado en el exterior, especialmente en el RE, lo que hace que su peso

sea muy superior que el estimado interiormente (Tabla 4.1). De hecho, tal y como muestra la Tabla 4.4, las emisiones generadas para este sector en el resto del estado español suponen con –un 8,14%– el mayor impacto para la demanda final catalana.

La distribución sectorial de las emisiones de acuerdo al principio del consumidor (Tabla 4.4) varían significativamente respecto a la estimada bajo el principio del productor (Tabla 4.1) en aquellos sectores que son más importantes en el balance en CO₂ de Cataluña. Principalmente, sectores deficitarios en el balance como el 3, 13, 14, 17 y 18 incrementan su impacto porcentual sobre la responsabilidad total, mientras que sectores con superávit como el 6, 7 y 8 reducen el peso que representan sobre el total las emisiones asociadas a su demanda final. Este hecho muestra como los vínculos interregionales modifican el escenario final de responsabilidad de una economía y, en consecuencia, evidencia la importancia de considerar los impactos incorporados en el comercio.

En definitiva, los resultados estimados muestran la existencia de sectores con una alta dependencia de inputs del exterior, las importaciones de los cuales incorporan elevadas cantidades de CO₂. Esto hace que la mayoría de las emisiones correspondientes a su demanda final se generen en otras regiones. Un ejemplo característico lo encontramos en el sector 11 “Industria del transporte”, en el que además se produce un hecho común en la economía globalizada actual. Esto es, una gran parte de los vehículos producidos por las industrias locales son exportados mientras que existe una fuerte demanda doméstica de outputs del exterior procedentes de este mismo sector, produciéndose así un desajuste entre lo que Cataluña produce y lo que consume en esta actividad. En gran parte, la causa radica en que la especialización industrial de este sector se basa en un tipo de vehículo de gama baja, mientras que una parte muy importante de la demanda doméstica se centra en coches de gama medio-alta. En términos económicos convencionales, esto puede significar una situación eficiente, puesto que se aprovechan ciertas economías de escala y la especialización industrial como ventajas competitivas. Sin embargo, el coste medioambiental es enorme, como también lo es la dependencia de los recursos fósiles, especialmente en cuanto al transporte, para el mantenimiento de esta situación. Tanto es así que si integramos los aspectos medioambientales al análisis de dicha situación, ésta se aleja claramente de la eficiencia.

Con el objetivo de profundizar en el análisis, resulta interesante desagregar sectorialmente los impactos interregionales asociados a la demanda final de aquellos sectores con mayor efecto de arrastre (*backward linkage*) interregional. Por ejemplo, hemos visto que la actividad doméstica de la construcción consume una gran cantidad de inputs importados, lo que conlleva la generación de emisiones en el exterior asociada a su demanda final. En este punto, se pretende dar un paso más y saber sobre qué ramas productivas recae el mayor peso. Así como las posibles diferencias entre el impacto desagregado en el RE y en el RM. Lógicamente, cada sector tiene un mix de inputs utilizados distinto que lo diferencia del resto de sectores y determina las características de su impacto final. La matriz de resultados de la expresión (4.26) arroja con detalle esta información. El análisis empírico se centrará en la información correspondiente al impacto interregional de la demanda final de Cataluña sobre el RE (F_{21}) y el RM (F_{31}).

La Tabla 4.E.5 muestra las emisiones de CO₂ generadas por cada rama productiva en el RE para satisfacer la demanda final de cada sector en Cataluña. Las correspondientes al RM vienen dadas en la Tabla 4.E.6. En estos resultados se aprecian diferencias sustanciales entre una región y otra en la composición sectorial del impacto interregional del consumo de Cataluña. El mix de inputs importados no solo varía entre sectores debido a la distinta tecnología de cada uno, sino que para un mismo sector este mix puede verse modificado en función de la región de origen. Aunque este trabajo limita el comercio exterior al RE y el RM, en un análisis más amplio sería clave la especialización productiva de cada región y las distintas relaciones comerciales establecidas de acuerdo a multitud de factores como la cercanía, las relaciones institucionales, acuerdos comerciales, etc.

Ahora podemos ver de qué manera se reparte el impacto interregional asociado al sector de la construcción catalán. En el caso de las emisiones generadas en el RE, la carga se concentra principalmente en industrias suministradoras de inputs utilizados por el proceso de producción de este sector (sectores 6 y 7), entre los que cabe destacar, por su alta intensidad de emisión de CO₂, la industria cementera. En cambio, estas industrias no tienen tanto peso en los efectos de arrastre sobre el RM. Este hecho muestra las diferencias en las relaciones comerciales de este sector con ambas regiones, siendo más importantes los inputs industriales en el comercio con el RE con los que el sector de la construcción establece un alto nivel de interrelación.

Cabe citar el caso del sector 13 “Producción y distribución de energía”, para la demanda final del cual la economía catalana demanda inputs del sector equivalente del RE por un total de 2313,9 kt. Esto supone prácticamente la totalidad del impacto, en términos de CO₂, de este sector sobre el RE (2409,8 kt). En cambio, el impacto de este sector sobre el resto del mundo se concentra principalmente en el sector 2 “Mineras, coquerías, refino y combustibles nucleares”. Este hecho confirma lo comentado anteriormente en cuanto a la tipología de inputs energéticos importados de uno u otro lugar.

Algo parecido ocurre con la “Hostelería”, los “Servicios empresariales” y el “Sector público y servicios sociales”, cuyo efecto de arrastre sobre el RE viene explicado en más de una tercera parte por el impacto sobre el sector 13, debido al alto nivel de consumo energético. Respecto al RM, aunque el impacto interregional se presenta más repartido, es nuevamente en el sector 2 donde se concentra el mayor efecto de arrastre. Estos inputs producidos en el RM son importados por distintos sectores de la economía catalana para la elaboración de su demanda final. Como se ha señalado antes, es también importante el impacto del consumo de inputs procedentes de servicios de transporte y varias industrias²¹ en ambas regiones.

En definitiva, la mayor importancia de las actividades del sector 13 respecto a las del sector 2 en el impacto del consumo catalán sobre el RE, y del sector 2 respecto al sector 13 para el RM, se produce en mayor o menor medida en todas las ramas productivas. Esto es debido a la enorme cantidad de CO₂ incorporada en la importación de estos inputs y la distinta estructura comercial con una y otra región. Los datos presentados corroboran esta afirmación, ya que por un lado, la Tabla 4.E.5 muestra como de las 17.128,3 kt de CO₂ incorporadas en las importaciones procedentes del RE, 8.211,6 kt corresponden a los inputs del sector 13, mientras que las importaciones del sector 2 suponen unas 1.485,8 kt. Por otro lado, en la Tabla 4.E.6 puede observarse como los inputs procedentes del sector 2 del RM suman unas 5.672,6 kt de las 16.472,6 kt de CO₂ totales, mientras que las correspondientes al sector 13 suman 2.928,2 kt. En ambos casos es evidente que la elevada dependencia energética del exterior de la economía catalana tiene una repercusión importante en la emisión asociada a su

²¹ Tales como productos químicos y otros productos para la sanidad y servicios sociales.

demanda final, es decir, en la cantidad de emisiones que determinan el valor de su huella de carbono.

4.6.2.5 Breve análisis comparativo 2001-2005

Un análisis temporal del balance en emisiones requiere considerar un intervalo de periodos suficientemente amplio como para poder captar variaciones estructurales en las variables que determinan esta evaluación. Sería de interés, por ejemplo, el estudio de cambios en el volumen y patrones del comercio interregional, variación en los coeficientes sectoriales de emisión por una mejora en eficiencia energética o modificación en las fuentes de energía primaria, cambios tecnológicos (mix de inputs), etc. Una observación mínima de una década comprendida en periodos de cinco años es necesaria para un análisis riguroso. No obstante, es deseable incorporar los periodos intermedios que permitan captar las tendencias existentes, puesto que de un periodo a otro pueden producirse cambios sustanciales en el balance debido a causas coyunturales (Lenzen et al. 2004).

Aunque la información disponible imposibilita un estudio de este tipo, pueden observarse conjuntamente los resultados para los periodos del 2001 y 2005 con el objetivo de captar ciertos cambios de tendencia plausibles con la realidad económica²². A continuación se presenta un breve análisis en este sentido que complementa y enriquece el estudio realizado hasta el momento. En cualquier caso, debido a lo comentado anteriormente, deben tomarse estos resultados con precaución.

Los resultados presentados en la Tabla 4.5 muestran algunas diferencias relevantes respecto al balance estimado para el 2005. En primer lugar, el déficit para el 2001 en CO₂ de Cataluña, 7.803,4 kt, supone casi un 26% del total generado en el interior, relativamente superior al 2005, en el que representa un 21%. En ambos casos, la responsabilidad estimada bajo el principio del consumidor es superior a la del productor.

En segundo lugar, se observa un cambio en la composición del balance global donde el balance bi-regional con el RE representa una importancia muy superior respecto al 2005. Si bien es cierto que el supuesto de “misma tecnología” utilizado para

²² Hasta el momento la información disponible para la construcción de las cuentas ambientales para la región de Cataluña solo permite su elaboración para estos periodos.

las importaciones del RM hace que se deban tomar con cautela los resultados, este escenario indica un cambio en la composición del comercio exterior catalán. Es una tendencia plausible con lo sucedido en la última década donde las relaciones comerciales con el RE han ido perdiendo peso respecto al RM, sobre todo en cuanto a importaciones y especialmente respecto a los países de la Unión Europea y el este asiático (Oliver i Alonso, 2008).

Tabla 4.5. Criterios de responsabilidad y balances en CO₂ incorporados para Cataluña (kt) (2001)

	<i>Responsabilidad productor</i>		<i>Responsabilidad consumidor</i>		Balance (3)=(1)-(2)
	CO ₂ generado en Cataluña soportado por:		CO ₂ soportado por Cataluña generado en:		
	kt (1)	%	kt (2)	%	
CATALUÑA	10120,9	33,7%	10120,9	26,7%	/
RESTO DE ESPAÑA	10101,6	33,6%	15418,8	40,7%	-5317,3
RESTO DEL MUNDO	9815,2	32,7%	12301,3	32,5%	-2486,1
TOTAL	30037,7	100,0%	37841,1	100,0%	-7803,4

Puede profundizarse algo más en la desagregación sectorial del balance para el 2001 y observar qué diferencias deben exponerse. La Tabla 4.E.7 muestra como el menor déficit en CO₂ respecto al RE es debido, por un lado, a la disminución de las emisiones incorporadas a sectores relacionados con la energía (sectores 2 y 13). Aunque las causas de este hecho merecen un estudio complementario, es evidente que la mayor presencia del gas como fuente de energía primaria en la producción de electricidad en este periodo supone una disminución en la intensidad de emisiones de CO₂²³. Por otro lado, cabe señalar el aumento del superávit en CO₂ de Cataluña en industrias con notables niveles de emisión (sectores 6 y 7) y el sector 16 “Transporte”, como consecuencia del aumento del superávit monetario en este periodo.

Valorando el balance global, los datos manifiestan un aumento del déficit con el RM centrado en aquellas actividades que se corresponden principalmente con el

²³ Véase los Libros de la energía en España que publica anualmente el ministerio de Industria, turismo y comercio.

aumento de la demanda interna, tales como los servicios, la hostelería y el sector de la construcción. Esta tendencia es verosímil con la evolución de la demanda doméstica catalana y del resto de España en este periodo, el cual ha provocado un claro empeoramiento del equilibrio exterior de estas economías. Sin embargo, en el caso de la economía catalana, esta tendencia se ha visto en parte compensada por el aumento en el superávit en emisión de ciertas industrias como la química y la alimenticia, que pone de manifiesto una relevante especialización industrial con orientación al exterior.

Esto refleja dos tendencias claramente contrapuestas en cuanto a su incidencia en el balance en CO₂ de Cataluña. Nuevamente, el sector 11 “Industria del transporte”, aunque en términos del balance no tiene relevancia, representa un ejemplo claro de este hecho. La importancia de esta actividad queda plasmada en la relevancia de la emisión incorporada en los bienes comerciados con el exterior, de hecho es la principal industria exportadora de la economía catalana. Sin embargo, en el periodo considerado este sector ha aumentado el déficit en emisiones como consecuencia de un aumento mayor de las emisiones asociadas a las importaciones respecto al aumento de las incorporadas en las exportaciones, especialmente en los intercambios comerciales con el RM. En este caso, el impacto asociado al aumento de la demanda final doméstica es mayor al asociado a la capacidad exportadora de la economía.

4.6.3 Compendio comparativo de resultados: modelo unir-regional vs MRIO

Ahora se está en condiciones de comparar ambos modelos en cuanto a la estimación efectiva del impacto de la demanda final catalana. En el desarrollo metodológico se ha puesto de manifiesto las ventajas del modelo MRIO para este objetivo, captando los *feedbacks* interregionales que el análisis uni-regional no recoge. Al mismo tiempo, el análisis multi-regional presentado incorpora, respecto al uni-regional, la información correspondiente al RE, rompiendo así con la adopción de “misma tecnología” para el comercio entre ambas economías. Esto hace que la comparación entre ambos modelos permita simultáneamente ver el efecto de la no adopción de este supuesto. Aunque esta ruptura queda limitada al comercio con el RE, puede comprobarse como los efectos sobre el balance y la responsabilidad bajo el principio del consumidor para Cataluña es muy relevante.

Además, la aplicación de la integración vertical al modelo MRIO hace que, a diferencia del análisis uni-regional, el balance estimado se realice bajo el enfoque de los subsistemas, como ya se ha explicado. Como consecuencia, un sector situado en el exterior con fuertes efectos de arrastre sobre la economía catalana, como es la “Construcción”, hace que el peso en el balance de esta actividad disminuya en el análisis MRIO (Tabla 4.6).

Tabla 4.6. Comparación modelo uni-regional vs MRIO (2005) (kt)

	UNI-REGIONAL		MRIO		Variación	
	balance global	impacto DF	balance global	impacto DF	balance global kt	impacto DF(%)
<i>Sectores productivos</i>	(1)	(2)	(3)	(4)	(3)-(1)	(4)-(2)
1- Agricultura, ganadería y pesca	-143,3	559,7	-556,0	1054,1	-412,8	88%
2- Minería, coquerías, refino y combustibles nucleares	214,1	1210,4	-1108,3	2307,1	-1322,4	91%
3- Industria de alimentación, bebidas y tabaco	97,3	2799,6	-989,6	4070,6	-1086,9	45%
4- Industria textil, peletería y cuero	273,5	522,6	-92,1	772,7	-365,6	48%
5- Industria del papel, madera y artes gráficas	693,5	255,8	128,5	411,5	-564,9	61%
6- Industria química	2261,6	1308,7	673,9	1941,7	-1587,6	48%
7- Otras industrias no metálicas	4659,9	472,3	937,5	444,1	-3722,4	-6%
8- Metalurgia	297,8	0,7	215,2	3,1	-82,6	373%
9- Productos metálicos	333,4	245,5	-257,2	527,8	-590,5	115%
10- Industria eléctrica, electrónica y maquinaria	153,7	1090,7	-591,1	1825,2	-744,8	67%
11- Industria del transporte	100,7	1280,8	-182,1	1911,5	-282,8	49%
12- Otras industrias	28,1	370,2	-166,8	581,0	-194,9	57%
13- Producción y distribución de energía	381,9	2219,9	-2532,6	4232,9	-2914,6	91%
14- Construcción	-2685,9	7050,2	-430,8	8731,9	2255,1	24%
15- Hostelería	-945,4	2432,8	-1880,2	4446,3	-934,8	83%
16- Transporte	2999,8	2068,4	346,5	3058,6	-2653,3	48%
17- Servicios empresariales	-81,1	3128,1	-610,0	4986,3	-528,9	59%
18- Sector público y otros servicios sociales	-800,9	3572,6	-1115,2	5331,8	-314,4	49%
TOTAL	7838,8	30589,0	-8210,3	46638,0	-16049	

Así, la Tabla 4.6 muestra como, de un análisis a otro, tanto la estimación del balance como el impacto de la demanda final de Cataluña experimentan una variación decisiva. Esto pone de manifiesto al menos dos aspectos ya comentados en este capítulo. Primero, la importancia del comercio interregional ya expuesto en la introducción como argumento para la construcción del modelo aquí trabajado. Y segundo, la enorme diferencia entre la consideración de un criterio y otro para la contabilización de la responsabilidad de Cataluña en términos de CO₂. Este hecho indica que Cataluña subestima de forma considerable su impacto utilizando el supuesto de “misma tecnología”.

Recuérdese que se ha supuesto que las importaciones del RM tienen el mismo impacto que las producidas por el total de la economía española. Así, considerando que de acuerdo al trabajo de Andrew et al. (2009) la subestimación al utilizar el supuesto de “misma tecnología” para el impacto en CO₂ de la economía Española es únicamente del 1%, el modelo estimado parece una buena aproximación al modelo MRIO global construido por estos autores²⁴. Bajo este supuesto, la subestimación para Cataluña sería de un 65% (30.589 sobre 46.638), en línea con los países con una mayor subestimación que muestra el trabajo referenciado, donde existe una mayor distancia entre la intensidad de emisión doméstica y la incorporada en las importaciones. Los autores muestran, entre otros, los casos de Uruguay, Suecia, Suiza o Austria, para los que un factor común y determinante para esta situación es el uso de energías primarias en la producción de electricidad con poco impacto en emisiones de CO₂, y que coincide con el escenario mostrado para Cataluña.

Cuanto mayor es la diferencia entre los coeficientes domésticos de emisión y los de las regiones de origen, mayor es el aumento del impacto de la demanda final, con la excepción del sector “Otras industrias no metálicas”, para el que el multiplicador total del análisis multi-regional es inferior al del modelo uni-regional (Tabla 4.7)²⁵. En esta tabla se ha querido mostrar como varía el efecto multiplicador de emisión en CO₂ para algunos de los sectores más importantes para este estudio. La selección de estos sectores viene determinada por su relevancia en el balance y en el impacto total. Merece la pena destacar la actividad de producción y distribución de energía, por un lado, y por otro, los sectores de servicios, con importantes efectos de arrastre sobre la primera. Ambos han sido muy importantes en la estimación del balance global.

Los resultados ponen de manifiesto lo que se ha ido comentado hasta el momento. Las importaciones que realiza la economía catalana incorporan una intensidad de emisión muy superior a la doméstica, por lo que la incorporación de parte de esta información aumenta significativamente el impacto de la demanda interna respecto a la adopción de “misma tecnología”.

²⁴ Se utiliza para este fin la base de datos GTAP (Global Trade Analysis Project) versión 6, para el año 2001 y para 87 países.

²⁵ Son los clásicos multiplicadores input-output calculados en Lenzen et al.(2004) a nivel interregional. Éstos evalúan los efectos de arrastre sobre el resto de sectores dentro y fuera de la economía doméstica.

Tabla 4.7. Coeficientes directos y multiplicadores totales de CO₂ para los sectores catalanes más importantes del estudio (kt/€)

<i>Sectores productivos</i>	CO ₂ directo	Multiplicadores totales de CO ₂	
		UNI-REGIONAL	MRIO
Minería, coquerías, refino y combustibles nucleares	0,994	1,039	1,961
Industria de alimentación, bebidas y tabaco	0,067	0,158	0,489
Industria química	0,206	0,304	0,683
Otras industrias no metálicas	2,088	2,976	2,915
Producción y distribución de energía	1,162	1,253	1,993
Construcción	0,008	0,125	0,377
Servicios empresariales	0,003	0,019	0,078
Sector público y otros servicios sociales	0,006	0,033	0,099

4.7 Conclusiones

En este trabajo se realiza un estudio de las emisiones de CO₂ asociadas a la demanda final de Cataluña de acuerdo a las relaciones comerciales existentes con el resto de España (RE) y el resto del mundo (RM). Para este propósito, se sirve del marco metodológico input-output para el desarrollo de dos modelos hasta cierto punto complementarios como son el uni-regional y el MRIO. Ambos modelos permiten el análisis de los balances netos en CO₂ incorporado entre Cataluña y las distintas regiones, así como de los vínculos intersectoriales existentes entre ellas, sobre todo en el caso del MRIO. A su vez, principalmente el análisis multi-regional permite obtener una herramienta de análisis que apoye la atribución e implementación de políticas climáticas a nivel territorial para Cataluña dentro del marco de competencias del estado español. En este sentido, posibilita la consideración de criterios de responsabilidad basados en el principio del consumidor, no tenidos en cuenta habitualmente en las cuentas ambientales nacionales. El reto es ampliar el esquema al máximo número de regiones posible y equilibrar territorialmente la definición y aplicación de éstas y otras políticas.

A lo largo del trabajo se ha demostrado la capacidad analítica de ambos modelos poniendo de manifiesto las ventajas del análisis multi-regional frente al uni-regional, siempre y cuando se disponga de la información necesaria para la construcción del modelo. Los modelos MRIO permiten añadir al análisis una mayor cantidad de

información a través de la captación de los *feedbacks* interregionales. Además de mejorar considerablemente el proceso operacional y su potencial analítico.

Este trabajo se suma a las numerosas investigaciones que, a través del uso de modelos MRIO, demuestran su enorme validez como base metodológica para estos tipos de análisis. La aplicación de la técnica de la integración vertical o subsistemas permite mejorar y complementar el estudio de las relaciones intersectoriales entre las distintas regiones consideradas, respecto al que se realizaría con un análisis MRIO convencional. Centrándose, en última instancia, en el impacto de la demanda final regional de cada output sectorial, este avance metodológico permite dar un enfoque alternativo al balance neto entre las regiones y ampliar, más allá de las fronteras territoriales de una economía, el escenario de estudio de los vínculos intersectoriales de un sector cualquiera. Esto ha permitido analizar y comparar de forma interregional el impacto, directo e indirecto, de sectores relevantes en términos de emisiones de CO₂, como es el caso del sector de la construcción. Se ha querido incidir en que la aplicación de este enfoque requiere especificar la distribución entre la demanda intermedia y final de las exportaciones realizadas por la región a estudiar. En este trabajo se propone una estimación para la distribución de las exportaciones al RM.

Los modelos MRIO mantienen algunas de las limitaciones metodológicas intrínsecas del marco input-output, a las que deben sumarse las dificultades encontradas en la disponibilidad y tratamiento de los datos. Como consecuencia, la construcción del modelo MRIO ha requerido algunas estimaciones y asunciones importantes, especialmente la aplicación del supuesto de misma tecnología con el RM. Esto nos obliga a ser cuidadosos en el uso e interpretación de los resultados cuantitativos obtenidos. Sin embargo, la consideración de la tecnología e intensidad de emisión de la economía española para las importaciones del RM hace que los resultados bajo el principio del consumidor sean una buena aproximación. El motivo es que la información para la economía española en cuanto a la intensidad de emisión supone una buena aproximación respecto a las importaciones realizadas por el país (Andrew et al. (2009).

Además, los resultados permiten ilustrar algunos aspectos claves plausibles con el marco económico y ambiental en el que se encuentran Cataluña en relación con el RE y el RM, y muy interesantes para la discusión sobre la responsabilidad regional en las emisiones de los gases de efecto invernadero.

Del análisis multi-regional realizado, cabe destacar la importancia de los *spillovers* medioambientales arraigados al comercio entre Cataluña y las regiones consideradas. En tanto que únicamente una tercera parte del CO₂ generado directamente por la economía catalana en la producción de bienes y servicios tiene como destino la demanda final doméstica. El resto corresponde a la demanda final del RE y del RM. En la misma línea, más de un 70% de las emisiones asociadas a la demanda final de Cataluña es generado fuera de sus fronteras. En ambos casos, a nivel agregado, más de la mitad de estos *spillovers* medioambientales corresponden, directa e indirectamente, al comercio con el RE. Esto refleja la importancia de las interrelaciones entre ambas regiones dentro de la economía española y, en la línea de lo comentado en la introducción del artículo, la necesidad de integrar este factor en la implementación de políticas con objetivos de mitigación del cambio climático.

La estimación del balance neto en CO₂ incorporado para el 2005 tiene como resultado un déficit global para Cataluña. En otras palabras, su responsabilidad como “productor” es menor que como “consumidor”, por lo que externaliza al exterior gran parte de la responsabilidad asociada a su demanda final. El balance neto se presenta desagregado de acuerdo al comercio con el RE, por un lado, y con el RM, por el otro. En primer lugar, los resultados visualizan como las relaciones comerciales con el RE juegan un papel destacado en este balance neto global. Así, aún teniendo un importante superávit (monetario) comercial con el RE, Cataluña presenta un considerable déficit en CO₂ incorporado -3.163,8 kt- que supone cerca del 8% de la emisión directa total generada por su actividad productiva. El principal factor explicativo de esta situación es el distinto metabolismo energético de ambas economías. Esta diferencia radica en un mayor uso de recursos fósiles en el RE en la producción de energía eléctrica respecto a una presencia muy relevante de la nuclear como energía primaria en Cataluña. Este hecho se manifiesta en la importancia del sector de “Producción y distribución de energía”, tanto por su peso directo en el balance neto como por su importancia en la estructura productiva de otras ramas productivas, como se ha podido contemplar a través de la integración vertical aplicada a los distintos sectores.

En segundo lugar, el desequilibrio (monetario) comercial y la dependencia de energía primaria del exterior son las causas principales del importante déficit en CO₂ incorporado para Cataluña con el RM -5.046,5 kt-. En este caso, la importancia del sector de “Mineras, coquerías, refino y combustibles nucleares” refleja esta dependencia

energética y marca una sustancial diferencia respecto al análisis del balance con el RE. Así mismo, otro factor destacable es la composición sectorial de estas relaciones comerciales, donde sectores como la construcción y otras industrias demandan del exterior inputs con alta intensidad de emisión para la demanda final doméstica. El resultado final es un balance neto global de unas 8.143 kt de CO₂, lo que indica que la responsabilidad de acuerdo al principio del consumidor es un 21% mayor a la contabilizada bajo el enfoque del productor.

Sin embargo, el análisis empírico previo realizado a través del modelo uni-regional muestra como Cataluña mantiene, excepto para el metano, un superávit en el balance con el exterior en relación a los gases contaminantes más importantes. Es evidente el efecto del supuesto de “misma tecnología” considerado en este análisis. De hecho, el análisis comparativo entre ambos modelos refleja como el impacto en CO₂ de Cataluña queda subestimado en más de un 65% al aplicar dicho supuesto.

Volviendo al análisis multi-regional, el estudio sectorial del impacto en términos de CO₂ de la demanda final de la economía catalana, como una aproximación a la cantidad de emisiones que determina su huella de carbono, permite observar algunos aspectos clave. Primero, el enorme peso del sector de la construcción como consecuencia del boom inmobiliario que en el 2005 estaba en su punto álgido y, que a los desequilibrios socioeconómicos causados por un crecimiento concentrado en gran parte en este sector, hay que añadir el enorme impacto medioambiental, fuera y dentro del territorio. Segundo, la importancia del conjunto de ramas productivas de servicios en el impacto final, debido a los efectos de arrastre sobre otros sectores, refuta la idea de que una economía de servicios es necesariamente menos contaminante. Por último, la variación del impacto final de varias ramas productivas, según el criterio de responsabilidad utilizado, refleja la necesidad de integrar los vínculos interregionales asociados al comercio exterior en una amplia variedad de estudios. Como por ejemplo, en el análisis de sectores clave en términos de impacto medioambiental.

4.8 Bibliografía

- Ahmad, N. y Wyckoff, A. (2003). Carbon dioxide emissions embodied in international trade of goods. STI Working Paper DSTI/DOC Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), Paris, France (2003) 15.
- Alcántara, V. (1995). *Economía y contaminación atmosférica: hacia un nuevo enfoque desde el análisis input-output*. Tesis doctoral. Barcelona: 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*, 68(3), pp.905–914.
- Allan, G.; McGregor, P.G.; Swales, J.K.; Turner, K.R.(2004). Construction of a multi-sectoral interregional IO and SAM database for the UK. Mimeo. Strathclyde discussion papers in economics, 04-22.
- Andrew, R., Peters, G.; Lennox, J. (2009). “Approximation and regional aggregation in multi-regional input-output analysis for national carbon footprint accounting.” *Economic Systems Research*, 21(3), pp.311–335.
- 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*, 35(2), pp.317 –334.
- Chenery, H.B. (1953). *The Structure and Growth of the Italian Economy*. United States of America: Mutual Security Agency.
- Daly, H. (1993). “The perils of free trade”. *Scientific American*, 269(5), pp.24–29.
- Edwards, S. (1993). “Openness, Trade Liberalization, and Growth in Developing Countries”. *Journal of Economic Literature*, 31(3), pp.1358–93.
- Ekins, P.; Folke, C.; Costanza, R. (1994). “Trade, environment and development: the issues in perspective”. *Ecological Economics*, 9(1), pp.1–12.
- Eurostat (2011). *Air Emissions Accounts by activity*. Luxembourg. Eurostat. Disponible en: <http://ec.europa.eu/eurostat> [Accedido diciembre 2, 2010].
- Eurostat (2009). *Manual for Air Emissions Accounts*. Luxemburgo: Eurostat - Office for Official Publications of the European Communities.

- Eurostat (2012). *Supply, use and Input-output tables*. Luxembourg.: Eurostat. Disponible en: <http://ec.europa.eu/eurostat> [Accedido febrero 3, 2012].
- Idescat (2009). *El compte satèl·lit de les emissions atmosfèriques a Catalunya 2001, Barcelona: Generalitat de Catalunya*. Barcelona: Institut d'Estadística de Catalunya. Disponible en: <http://www.idescat.cat/cat/idescat/publicacions/catalog/pdfdocs/csea2001.pdf>.
- INE (2010). *Contabilidad Regional de España. Serie 2000-2008*. Madrid: Instituto Nacional de Estadística. Disponible en: <http://www.ine.es> [Accedido junio 20, 2011].
- Ipek Tunc, G., Turut-Asik, S.; Akbostanci, E. (2007). "CO₂ emissions vs. CO₂ responsibility: An input-output approach for the Turkish economy". *Energy Policy*, 35(2), pp.855–868.
- Isard, W. (1951). "Interregional and Regional Input-Output Analysis: A Model of a Space-Economy". *The Review of Economics and Statistics*, 33(4), p.318.
- Isard, W. (1960). *Methods of Regional Analysis: An Introduction to Regional Science*. New York: The MIT Press.
- Kuznets, S. (1955). "Economic Growth and Income Inequality". *The American Economic Review*, 45(1), pp.1–28.
- Lenzen, M.; Murray, J.; Sack, F.; Wiedmann, T. (2007). "Shared producer and consumer responsibility -- Theory and practice". *Ecological Economics*, 61(1), pp.27–42.
- Lenzen, M.; Pade, L.-L.; Munksgaard, J. (2004). "CO₂ Multipliers in Multi-region Input-Output Models". *Economic Systems Research*. 16, 391–412.
- Llano, C. (2004). *Economía, sectorial y espacial: el comercio interregional en el marco input-output*. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Madrid.
- Mäenpää, I. y Siikavirta, H. (2007). "Greenhouse gases embodied in the international trade and final consumption of Finland: An input-output analysis". *Energy Policy*, 35(1), pp.128–143.
- McGregor, P.G.; Swales, J.K.; Turner, K., (2008). "The CO₂ 'trade balance' between Scotland and the rest of the UK: Performing a multi-region environmental input-output analysis with limited data". *Ecological Economics*, 66(4), pp.662–673.
- Miller, R.E. y Blair, P.D. (2009). *Input-Output Analysis: Foundations and Extensions*. 2.a ed. Cambridge University Press.

- Minx, J.C.; Wiedmann, T.; Wood, R.; Peters, G.; Lenzen, M.; Owen, A.; Scott, K.; Barrett, J.; Hubacek, K.; Baiocchi, G.; Paul, A.; Dawkins, E.; Briggs, J. Guan, D.; Suh, S.; Ackerman, F. (2009). "Input-Output Analysis and Carbon Footprinting: An overview of applications". *Economic Systems Research*, 21(3), pp.187–216.
- Moses, L. (1955). "The stability of interregional trading patterns and input-output analysis". *The American Economic Review*, 45, pp.803–832.
- Munksgaard, J. y Pedersen, K.A. (2001). "CO₂ accounts for open economies: producer or consumer responsibility?". *Energy Policy*, 29(4), pp.327–334.
- Munksgaard, J., Pedersen, K.A.; Wien, M. (2000). "Impact of household consumption on CO₂ emissions". *Energy Economics*, 22(4), pp.423–440.
- Muradian, R. y Alier, J.M. (2001). "Trade and the environment: from a 'Southern' perspective". *Ecological Economics*, 36(2), pp.281–297.
- Murata, A., Kato, K.; Kurokawa, K. (1998). "Estimation of environmental impacts of the trade of industrial products: A case of Japan". *International Journal of Global Energy Issues*, 11(1), pp.139–145.
- Nijdam, D.S.; Wilting, C.H.; Goedkoop M.J.; Madsen, J.; (2005). "Environmental load from Dutch private consumption: How much damage takes place abroad?". *Journal of Industrial Ecology*, 9(1-2), pp.147–168.
- OECD (2012). *STAN Input-Output Total, Domestic and Imports*. Organisation for Economic Co-operation and Development. Disponible en: <http://www.oecd.org> [Accedido febrero 7, 2011].
- Oliver i Alonso, J. (2008). *Competitivitat exterior i especialització comercial de Catalunya, 1995-2004 canvis a la quota de mercat i tipologia del comerç intraindustrial català en els mercats de la UE-15*. Barcelona: Generalitat de Catalunya, Direcció General d'Anàlisi i Política Econòmica.
- Oosterhaven, J. (1984). "A family of square and rectangular interregional input-output tables and models". *Regional Science and Urban Economics*, 14(4), pp.565–582.
- Oosterhaven, J. y Boomsma, P. (1992). "A Double-Entry Method for the Construction of Bi-regional Input-Output Tables". *Journal of Regional Science*, 32(3), pp.269–284.
- Oosterhaven, J., Stelder, D.; Inomata, S. (2008). "Estimating International Interindustry Linkages: Non-survey Simulations of the Asian-Pacific Economy". *Economic Systems Research*, 20(4), pp.395–414.
- Pasinetti, L.L. (1977). *Contributi alla teoria della produzione congiunta*. Bologna: Il Mulino.

- Peters, G. (2008). "From production-based to consumption-based national emission inventories". *Ecological Economics*, 65(1), pp.13–23.
- Peters, G. y Hertwich, E. (2006a). "Pollution embodied in trade: The Norwegian case". *Global Environmental Change*, 16(4), pp.379–387.
- Peters, G. y Hertwich, E. (2006b). "The Importance of Imports for Household Environmental Impacts". *Journal of Industrial Ecology*, 10(3), pp.89–109.
- Peters, G. y Hertwich, E. (2008). "CO₂ Embodied in International Trade with Implications for Global Climate Policy". *Environmental Science and Technology*, 42(5), pp.1401–1407.
- Peters, G. y Hertwich, E. (2009). *The Application of Multi-regional Input-Output Analysis to Industrial Ecology*. En Suh, S. eds. *Handbook of Input-Output Economics in Industrial Ecology*. Dordrecht: Springer Netherlands, pp. 847–863. Disponible en: <http://www.springerlink.com/sci-hub.org/content/127246617m555726/> [Accedido agosto 25, 2012].
- Proops, J.; Faber, M.; Wagenhals, G. (1993). *Reducing CO₂ Emissions: A Comparative Input-Output Study for Germany and the UK*. Springer-Verlag eds. Disponible en: <http://www.goodreads.com/book/show/4999383-reducing-co2-emissions> [Accedido abril 19, 2012].
- Ramos (coord.) (2009). *Análisis del Metabolismo Energético de la Economía Catalana (AMEEC)*. Barcelona: Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible. Generalitat de Catalunya,. Disponible en: http://www15.gencat.cat/cads/AppPHP/images/stories/publicacions/informesespecials/2009/informe_complet_def.pdf.
- Rodrigues, J. y Domingos, T. (2008). "Consumer and producer environmental responsibility: Comparing two approaches". *Ecological Economics*, 66(2-3), pp.533–546.
- Sánchez-Chóliz, J. y Duarte, R. (2004). "CO₂ emissions embodied in international trade: evidence for Spain". *Energy Policy*, 32(18), pp.1999–2005.
- Serrano, M. y Dietzenbacher, E. (2010). "Responsibility and trade emission balances: An evaluation of approaches". *Ecological Economics*, 69(11), pp.2224–2232.
- Stern, D.I. (1998). "Progress on the environmental Kuznets curve?" *Environment and Development Economics*, 3(02), pp.173–196.
- Suh, S. (2006). "Are Services Better for Climate Change?" *Environmental Science and Technology*, 40(21), pp.6555–6560.
- Turner, K.; Lenzen, K.; Wiedmann, T.; Barrett, J. (2007). "Examining the global environmental impact of regional consumption activities -- Part 1: A technical

note on combining input-output and ecological footprint analysis”. *Ecological Economics*, 62(1), pp.37–44.

United Nations (1999). *Handbook Input-Output Table Compilation and Analysis*. New York, United Nations. Disponible en: http://unstats.un.org/unsd/publication/SeriesF/SeriesF_74E.pdf

Wiedmann, T. (2009a). “A review of recent multi-region input–output models used for consumption-based emission and resource accounting”. *Ecological Economics*, 69(2), pp.211–222.

Wiedmann, T. (2009b). “Editorial: Carbon footprint and input-output analysis: an introduction”. *Economic Systems Research*, 21(3), pp.175–186.

Wiedmann, T.; Lenzen, M.; Turner, K.; Barrett, J.; (2007). “Examining the global environmental impact of regional consumption activities -- Part 2: Review of input-output models for the assessment of environmental impacts embodied in trade”. *Ecological Economics*, 61(1), pp.15–26.

Wyckoff, A.W. y Roop, J.M., (1994). “The embodiment of carbon in imports of manufactured products: Implications for international agreements on greenhouse gas emissions”. *Energy Policy*, 22(3), pp.187–194

Apéndice

4.A. *Feedbacks* interregionales en el análisis MRIO-2 regiones

En el caso de un modelo MRIO para dos regiones, ambas producciones domésticas vienen determinadas por las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned} \mathbf{x}_1 &= \mathbf{A}_{11}\mathbf{x}_1 + \mathbf{A}_{12}\mathbf{x}_2 + \mathbf{y}_{11} + \mathbf{y}_{12} \\ \mathbf{x}_2 &= \mathbf{A}_{21}\mathbf{x}_1 + \mathbf{A}_{22}\mathbf{x}_2 + \mathbf{y}_{21} + \mathbf{y}_{22} \end{aligned} \quad (4.A.1)$$

Teniendo en cuenta que $\mathbf{y}_1 = \mathbf{y}_{11} + \mathbf{y}_{12}$ e $\mathbf{y}_2 = \mathbf{y}_{21} + \mathbf{y}_{22}$, el sistema de ecuaciones (4.A.1) puede expresarse como sigue:

$$\begin{aligned} \mathbf{y}_1 &= (\mathbf{I} - \mathbf{A}_{11})\mathbf{x}_1 - \mathbf{A}_{12}\mathbf{x}_2 \\ \mathbf{y}_2 &= (\mathbf{I} - \mathbf{A}_{22})\mathbf{x}_2 - \mathbf{A}_{21}\mathbf{x}_1 \end{aligned} \quad (4.A.2)$$

ecuaciones que indican los efectos intra e interregionales de posibles variaciones en las demandas finales u outputs. Por ejemplo, si se produce un incremento en algún elemento de \mathbf{x}_2 y \mathbf{x}_1 no varía, \mathbf{y}_1 debería disminuir o no podría satisfacerse si la región 1 desea suministrar los inputs que la región 2 demanda.

Siguiendo a Miller y Blair (2009), supóngase, para simplificar, que $\mathbf{y}_1 = 0$, la solución del sistema de ecuaciones para el output de la región 1 viene dada por:

$$\mathbf{x}_1 = (\mathbf{I} - \mathbf{A}_{11})^{-1}\mathbf{A}_{12}\mathbf{x}_2 \quad (4.A.3)$$

y substituyendo esta expresión en la segunda ecuación de (4.A.2)

$$\mathbf{y}_2 = (\mathbf{I} - \mathbf{A}_{22})\mathbf{x}_2 - \mathbf{A}_{21}(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{11})^{-1}\mathbf{A}_{12}\mathbf{x}_2 \quad (4.A.4)$$

Nótese que para el modelo uni-regional $\mathbf{y}_2 = (\mathbf{I} - \mathbf{A}_{22})\mathbf{x}_2$, por lo tanto, el segundo término solo se recoge a través de una análisis MRIO. La expresión $\mathbf{A}_{21}(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{11})^{-1}\mathbf{A}_{12}\mathbf{x}_2$ es un efecto *feedback* interregional que indica las ventas de la región 2 a la región 1 para que pueda producir los productos requeridos por la demanda intermedia de la misma región 2. Son precisamente estos tipos de vínculos interterritoriales los que distinguen el análisis interregional del uni-regional, dotándolo de un mayor potencial analítico.

4.B. La tabla input-output simétrica española para el 2001

La elaboración de la tabla input-output simétrica para España se ha realizado siguiendo dos operaciones a través de las tablas de origen y destino disponibles. En primer lugar, se asigna la producción secundaria a cada rama de actividad en las que son productos principales. En segundo lugar, se han reordenado las columnas de la tabla de destino para pasar de los insumos de la rama de actividad a los insumos de las ramas homogéneas. Para ambas operaciones se ha seguido la metodología basada en el supuesto de *tecnología de industria* (United Nations, 1999).

La estimación de la TIO simétrica a partir este supuesto asume que todos los productos de una rama de actividad se producen con la misma tecnología o misma estructura de inputs. A continuación se realiza una breve modelización de la aplicación del supuesto para la simetrización de las tablas de origen y destino definida en (United Nations, 1999).

La relación básica de la tabla de destino puede expresarse como sigue:

$$\mathbf{q} = \mathbf{B}\mathbf{g} + \mathbf{y} \quad (4.B.1)$$

con

$$\mathbf{B} = \mathbf{U}(\hat{\mathbf{g}})^{-1} \quad (4.B.2)$$

donde \mathbf{U} es la matriz de destino, $\hat{\mathbf{g}}$ es la diagonal del vector de output industrial, \mathbf{q} es el vector de producción de outputs e \mathbf{y} es el vector de demanda final.

Por el lado de la tabla de origen, tenemos que la producción correspondiente a cada sector en el proceso productivo de cada output es:

$$\mathbf{g} = \mathbf{D}\mathbf{q} \quad (4.B.3)$$

con

$$\mathbf{D} = \mathbf{M}'(\hat{\mathbf{q}})^{-1} \quad (4.B.4)$$

donde \mathbf{M} se corresponde con la matriz de origen.

A partir de este punto, sustituyendo (4-3) en (4-1) se obtiene la relación básica de la tabla input-output simétrica:

$$\mathbf{q} = \mathbf{BD}\mathbf{q} + \mathbf{y} \quad (4.B.5)$$

donde \mathbf{BD} es finalmente la matriz de coeficientes técnicos estándar \mathbf{A} .

4.C. Construcción de las tablas del modelo MRIO

Como se ha comentado, el principal reto de la construcción de un modelo MRIO es la estimación de A_{rs} e y_{rs} . Distintos métodos y estimaciones se han desarrollado para salvar esta problemática (Oosterhaven, 1984; Allan et al. 2004; Llano, 2004; Oosterhaven et al. 2008; Andrew et al. 2009; Miller y Blair, 2009). El Cuadro 4.C.1 muestra la estructura esquemática del modelo MRIO construido resaltando en negrita aquella información no disponible directamente y para la que se ha requerido distintos procesos de estimación que se explican a continuación.

Cuadro 4.C.1. Esquema de la estructura del modelo MRIO construido y fuentes utilizadas

		CATALUÑA		RESTO DE ESPAÑA		RESTO DEL MUNDO	
	Input de →	D.I.	D.F.	D.I.	D.F.	D.I.	D.F.
	Output para ↓	Sectores $i=1...N$		Sectores $i=1...N$		Sectores $i=1...N$	
CATALUÑA	Sectores $i=1$	X_1^d	y_{11}	M_{12}	y_{12}	M_{13}	y_{13}
	...	(TIOC)	(TIOC)	(TIOC)	(TIOC)		(TIOC)
	N						
RESTO DE ESPAÑA	Sectores $i=1$	M_{21}	y_{21}	X_2^d	y_{22}	M_{23}	y_{23}
	...						
	N						
R.M.	Sectores $i=1$	M_{31}	y_{31}	M_{32}	y_{32}	X_3	y_{33}
	...	(TIOC)	(TIOC)			(supuesto misma tecnología ESP)	
	N						

Fuente: Elaboración propia

4.C.1. Estimación de la TIO para el resto de España (RE) de las importaciones procedentes de Cataluña

En primer lugar, es necesario estimar los datos correspondientes a las importaciones recibidas por el RE procedentes de Cataluña \mathbf{A}_{12} e \mathbf{y}_{12} . Para este caso únicamente se dispone del vector de exportaciones \mathbf{z}_{12} de la TIO catalana, y no se conoce su destino en términos de la demanda intermedia sectorial y demanda final del RE. Para esta estimación se aplicará el método utilizado en Allan et al. (2004) y Andrew et al. (2009) bajo el cual se supone que las distintas ramas productivas y la demanda final utilizan en la misma proporción el output procedente de Cataluña o del RE de acuerdo a los coeficientes de distribución de la TIO interior de España. De esta manera, cada elemento de $\mathbf{M}_{12} = \{m_{12}^{ij}\}$, que expresa las compras realizadas por el sector j del RE al sector i de Cataluña, viene dado por:

$$m_{12}^{ij} = z_{12}^i \frac{x_{ESP}^{ij}}{X_{ESP}^i} \quad (4.C.1)$$

donde x_{ESP}^{ij} son los elementos de la matriz (42x42) correspondiente a la TIO española de producción interior agregada y X_{ESP}^i representa la producción doméstica del sector i . Con esto se obtiene directamente la matriz de coeficientes técnicos \mathbf{A}_{12} , tal que cada elemento se expresa como $a_{12}^{ij} = \frac{m_{12}^{ij}}{X_2^{di}}$, donde X_2^{di} es la producción doméstica del RE del sector i .

Similarmente, la misma distribución se aplica para el vector de demanda final, \mathbf{y}_{12} , donde cada elemento se estima como sigue:

$$y_{12}^i = z_{12}^i \frac{y_{ESP}^i}{X_{ESP}^i} \quad (4.C.2)$$

siendo \mathbf{y}_{ESP} el vector de demanda final española.

De modo que el total de importaciones del RE procedentes de Cataluña para el sector i , queda tal que:

$$x_{12}^i = \sum_{j=1}^n (m_{12}^{ij} + y_{12}^i) \quad (4.C.3)$$

4.C.2. Estimación de la TIO interior para el resto de España (RE)

Una base de datos metodológicamente integrada para las TIO regionales y nacional en España permitiría obtener de forma directa la TIO de producción interior para la región del RE, tal y como lo hacen en Allan et al. (2004) para la construcción de un modelo MRIO para el Reino Unido. El método consiste en restar a la TIO simétrica española de producción interior su análoga catalana, las importaciones del RE y la TIO estimada para el RE correspondiente a las importaciones procedentes de Cataluña. Ésta no ha sido una opción válida para este trabajo, la presencia de algunos valores negativos y la incongruencia de otros muestra una importante carencia de integración metodológica entre las TIO regionales y nacional (Llano, 2004). Esto ha provocado que se haya optado por un método alternativo.

Para este propósito, se obtiene el consumo de inputs intermedios total por sector j (columna j) para el RE (CI_2^j) como sigue:

$$CI_2^j = CI_{ESP}^j - CI_1^j - Z_{21}^j - M_{12}^j \quad (4.C.4)$$

donde CI_{ESP}^j y CI_1^j muestran el total de inputs intermedios consumidos por el sector j en España y Cataluña respectivamente. Z_{21}^j indica los inputs consumidos por el sector j en Cataluña importados del RE. Similarmente, M_{12}^j muestra la parte de inputs intermedios consumidos por el sector j correspondiente a las importaciones realizadas por el RE procedentes de Cataluña. Nótese que estos dos últimos datos indican el consumo intermedio, contabilizado como interno para la TIO española, que corresponden a relaciones interregionales para la TIO del RE y Cataluña.

Una vez obtenido CI_2^j , cabe asignar su valor entre los diferentes sectores de acuerdo con los coeficientes técnicos nacionales (mix de producción) para la estimación de los consumos intermedios intersectoriales del RE. Implícitamente, se está suponiendo la misma tecnología o mix de producción entre los sectores del RE y los nacionales. Un supuesto aplicado por diferentes autores como Llano (2004) y Oosterhaven y Boomsma (1992), en los modelos MRIO para aquellas regiones sin disponibilidad de TIO regional.

Formalmente $\mathbf{X}_2^d = \{x_2^{ij}\}$, que forma la tabla de transacciones interindustriales de la producción interior del RE, vienen dado por:

$$x_2^{ij} = CI_2^j \frac{x_{ESP}^{ij}}{CI_{ESP}^j} \quad (4.C.5)$$

con lo que se obtiene la matriz de coeficientes domésticos estimada para el RE que se necesita, $\mathbf{A}_2^d = \mathbf{A}_{22} = \{a_{22}^{ij}\} = \frac{x_2^{ij}}{x_2^{dj}}$.

Lo siguiente es estimar la demanda final doméstica del output interior de cada sector para el RE (y_{22}^i) como sigue:

$$y_{22}^i = y_{ESP}^i - y_{11}^i - y_{12}^i - y_{21}^i \quad (4.C.6)$$

donde y_{ESP}^j representa la demanda final interior doméstica del sector j en España.

Nótese que parte de la producción doméstica de la región del RE es exportada al RM, siendo y_{23}^i las exportaciones del sector i , tal que:

$$y_{23}^i = z_{ESP}^i - y_{13}^i \quad (4.C.7)$$

4.C.3. Estimación de la TIO para el resto de España (RE) de las importaciones procedentes del RM

De la misma manera que en el caso anterior, no ha sido posible seguir la metodología utilizada en Allan et al. (2004) y Andrew et al. (2009), de acuerdo a la cual la matriz de importaciones procedentes del RM realizadas por el RE (\mathbf{M}_{32}) sería el resultado de restar a la TIO nacional española de importaciones del RM (\mathbf{M}_{ESP}) su análoga catalana (\mathbf{M}_{31}).

En consecuencia, se ha utilizado una metodología alternativa para la estimación de las importaciones realizadas por el RE procedentes del RM usando los coeficientes de distribución de la matriz de importaciones de la TIO española. Método utilizado, por ejemplo, por los autores en Lenzen et al. (2004) y Llano (2004). El supuesto implícito en esta metodología es la igualdad entre los coeficientes de distribución del RE y los totales nacionales para las importaciones procedentes del RM.

Por lo tanto, cada valor intersectorial de la TIO de las importaciones procedentes del RM con destino el RE, $\mathbf{M}_{32} = \{m_{32}^{ij}\}$, viene dado por:

$$m_{32}^{ij} = M_{32}^i \frac{m_{ESP}^{ij}}{M_{ESP}^i} \quad (4.C.8)$$

donde m_{ESP}^{ij} son los elementos de la matriz (42x42) correspondiente a la TIO española de importaciones y M_{ESP}^i representa las importaciones totales de productos del sector i . Similarmente, M_{32}^i indica las importaciones del sector i del RE procedentes del RM, resultado de restar a las totales españolas, M_{ESP}^i , las realizadas por Cataluña, M_{31}^i . De esta manera, los elementos de las matrices de coeficientes de relaciones interregionales A_{32} vienen dadas por $a_{32}^{ij} = \frac{m_{32}^{ij}}{X_2^i}$.

Siguiendo el mismo criterio, estimamos el vector de importaciones del RM que tiene como destino la demanda final del RE como sigue:

$$y_{32}^i = M_{32}^i \frac{y_{ESP(m)}^i}{M_{ESP}^i} \quad (4.C.9)$$

siendo $y_{ESP(m)}^i$ las importaciones españolas que tienen como destino la demanda final.

Así, el total de importaciones del RE procedentes del RM para el sector i es tal que:

$$x_{32}^i = \sum_{j=1}^n (m_{32}^{ij} + y_{32}^i) \quad (4.C.10)$$

4.C.4. Estimación de las TIO para el resto del mundo (RM) de las importaciones procedentes de Cataluña y el RE

Tal y como se ha explicado en la Sección 4.4.3, en el presente trabajo se ha estimado la distribución entre los distintos sectores de la demanda intermedia y la demanda final de las exportaciones de Cataluña y el RE al RM. Utilizando la información de las TIO correspondiente a los países señalados en el Cuadro 4.C.1, la distribución de los productos exportados al RM se ha efectuado de acuerdo a los coeficientes de distribución de las importaciones de cada país q , $\left(\frac{m_q^{ij}}{M_q^i}\right)$, ponderado por el peso que tiene en el total de exportaciones de Cataluña o el RE $\left(\frac{z_{rq}^i}{z_{r3}^i}\right)$.

De esta manera, las importaciones realizadas por el RM procedentes de, por ejemplo, Cataluña, quedan distribuidas entre la demanda intermedia y demanda final como sigue:

$$m_{13}^{ij} = M_{13}^i \sum_{q=1}^n \left(\frac{m_q^{ij} z_{1q}^i}{M_q^i z_{13}^i} \right) \quad (4.C.11)$$

$$y_{13}^i = M_{13}^i \sum_{q=1}^n \left(\frac{y_{q(m)}^i z_{1q}^i}{M_q^i z_{13}^i} \right) \quad (4.C.12)$$

Teniendo en cuenta que el output total doméstico del RM, igual que con la demanda final, se calibra a través de una agregación de estas economías, los coeficientes técnicos de importaciones se obtienen directamente a través de $a_{13}^{ij} = \frac{m_{13}^{ij}}{X_3^i}$.

Cuadro 4.C.2. Composición de la región del resto del mundo (miles de millones de dólares USA)

Regiones agregadas	Producto Interior Bruto	Peso sobre el total del mundo (%)	Peso sobre comercio exterior español
EU-27	13.748,8	30,1%	65,9%
OCDE (sin países de EU-27)	22.366,9	49,0%	12,8%
Resto de países (no OCDE) ¹	5.455,3	12,0%	9,7%
Total	41.570,9	91,1%	88,4%

¹Argentina, Brasil, China, India, Indonesia, Sudáfrica, Tailandia, Rusia y Vietnam.

4.D. Tablas del análisis empírico uni-regional

Tabla 4.D. 1. Análisis uni-regional: balance en emisiones 2001-2005 (kt)

	CO₂			CH₄			COVM			NO_x			SO_x		
	2001	2005	var. (%)	2001	2005	var. (%)	2001	2005	var. (%)	2001	2005	var. (%)	2001	2005	var. (%)
Exportaciones totales	22647,9	27947,8	23%	149,6	164,9	10%	182,7	172,4	-6%	95,0	109,7	15%	62,0	45,4	-27%
Importaciones totales	16278,0	20109,0	24%	161,3	180,6	12%	156,5	153,8	-2%	68,7	79,0	15%	47,8	40,6	-15%
Balance	6369,9	7838,8	23%	-11,7	-15,6	34%	26,2	18,6	-29%	26,3	30,7	17%	14,2	4,7	-67%
Responsabilidad:															
Productor	30037,7	38427,8	28%	271,5	283,7	4%	256,7	250,1	-3%	122,7	140,4	14%	76,3	58,8	-23%
Consumidor	23667,8	30589,0	29%	283,2	299,3	-0,3	230,5	231,6	0%	96,4	109,7	14%	62,1	54,0	-13%

Tabla 4.D.2. Análisis uni-regional: desagregación sectorial de los balances en emisiones (kt)

<i>Sectores productivos</i>	<i>Balances en emisiones</i>									
	<i>CO₂</i>		<i>CH₄</i>		<i>COVNM</i>		<i>NO_x</i>		<i>SO_x</i>	
	2001	2005	2001	2005	2001	2005	2001	2005	2001	2005
1- Agricultura, ganadería y pesca	-100,8	-143,3	-6,4	-11,5	-4,8	-7,5	-1,0	-1,4	-0,2	-0,2
2- Minería, coquerías, refinó y combustibles nucleares	381,1	214,1	-0,2	-0,2	0,2	0,4	1,2	0,5	1,5	1,4
3-Industria de alimentación, bebidas y tabaco	-35,5	97,3	0,5	-1,2	0,7	-0,4	-0,1	0,3	-0,1	-0,2
4- Industria textil, peletería y cuero	250,7	273,5	1,2	0,9	3,5	1,2	1,2	1,0	0,7	0,2
5- Industria del papel, madera y artes gráficas	389,8	693,5	2,1	2,9	6,2	6,6	1,8	2,7	1,1	0,7
6-Industria química	2145,6	2261,6	2,3	4,7	16,2	13,1	8,3	10,7	7,1	3,1
7-Otras industrias no metálicas	3962,4	4659,9	0,9	2,8	3,0	7,7	10,3	11,8	7,6	5,3
8-Metalurgia	111,5	297,8	0,2	0,6	1,4	2,0	0,3	1,1	0,2	0,4
9-Productos metálicos	266,6	333,4	0,3	0,6	3,3	2,8	1,0	1,3	0,7	0,4
10- Industria eléctrica, electrónica y maquinaria	-23,9	153,7	-0,1	0,0	0,6	1,9	-0,1	0,6	-0,1	0,1
11-Industria del transporte	115,9	100,7	0,0	0,0	3,9	2,9	0,4	0,3	0,3	-0,1
12-Otras industrias	-36,9	28,1	-0,4	-0,1	-0,1	0,4	-0,2	0,2	-0,1	0,0
13-Producción y distribución de energía	242,8	381,9	0,7	1,5	0,2	0,2	0,4	0,3	0,4	0,1
14-Construcción	-2354,4	-2685,9	-2,8	-4,3	-4,2	-5,1	-6,9	-7,6	-5,1	-3,9
15-Hostelería	-538,6	-945,4	-13,2	-16,8	-10,0	-11,1	-2,9	-4,0	-1,4	-1,7
16-Transporte	2285,0	2999,8	0,5	0,9	7,8	5,9	15,1	15,9	4,0	1,6
17- Servicios empresariales	-106,9	-81,1	-1,2	-1,0	1,3	0,8	-0,4	-0,4	-0,5	-0,8
18- Sector público y otros servicios sociales	-584,7	-800,9	4,1	4,7	-2,7	-3,2	-2,2	-2,7	-1,8	-1,8
TOTAL	6369,88	7838,76	-11,6	-15,6	26,21	18,55	26,31	30,70	14,21	4,74

Tabla 4.D.3. Comercio exterior de Cataluña 2001-2005 (millones de euros)

<i>Sectores productivos</i>	2001		2005		Variación export (%)	Variación import. (%)
	Exportaciones totales	Importaciones totales	Exportaciones totales	Importaciones totales		
1- Agricultura, ganadería y pesca	877,3	4719,9	1029,9	5388,4	17,4%	14,2%
2- Minería, coquerías, refino y combustibles nucleares	1415,4	6216,5	1634,2	6943,9	15,5%	11,7%
3- Industria de alimentación, bebidas y tabaco	9287,1	7670,6	11184,1	8960,1	20,4%	16,8%
4- Industria textil, peletería y cuero	6013,5	3937,4	5221,6	4527,3	-13,2%	15,0%
5- Industria del papel, madera y artes gráficas	5168,8	4360,6	5868,1	4817,7	13,5%	10,5%
6- Industria química	12275,8	10263,9	13893,2	12402,1	13,2%	20,8%
7- Otras industrias no metálicas	4564,8	3883,2	5744,8	4641,7	25,9%	19,5%
8- Metalurgia	1394,5	5076,5	2308,6	6169,1	65,6%	21,5%
9- Productos metálicos	3798,2	2409,6	4693,9	3101,0	23,6%	28,7%
10- Industria eléctrica, electrónica y maquinaria	12022,2	14645,4	11747,4	16841,7	-2,3%	15,0%
11- Industria del transporte	11345,7	7997,6	13636,2	11778,2	20,2%	47,3%
12- Otras industrias	1836,6	1551,5	2259,9	1920,0	23,0%	23,7%
13- Producción y distribución de energía	1229,1	1570,2	1090,4	2017,1	-11,3%	28,5%
14- Construcción	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-
15- Hostelería	0,0	679,5	0,0	1284,2	-	89,0%
16- Transporte	5010,7	3802,4	7564,1	4609,8	51,0%	21,2%
17- Servicios empresariales	15185,7	7204,9	19673,7	9005,6	29,6%	25,0%
18- Sector público y otros servicios sociales	925,0	977,4	1398,8	1428,7	51,2%	46,2%
TOTAL	92350,4	86967,1	108948,8	105836,8	18,0%	21,7%

Tabla 4.D.4. Análisis uni-regional: componentes del balance en CO₂ de Cataluña para el 2005 (kt)

	Emisión directa de CO ₂	emisión total doméstica de CO ₂	CO ₂ importado para consumo intermedio	CO ₂ importado para consumo final	CO ₂ importado total	total CO ₂ incorporado	CO ₂ exportaciones domésticas	exportaciones con CO ₂ importado	Total CO ₂ exportaciones	Balance Neto
<i>Sectores productivos</i>	(1)	(2)	(3)	(4)	(3)+(4)=(5)	(2)+(5)=(6)	(7)	(8)	(7)+(8)=(9)	(10)
1- Agricultura, ganadería y pesca	883,2	416,4	94,5	222,0	316,5	732,9	141,2	32,0	173,2	-143,3
2- Minería, coquerías, refino y combustibles nucleares	3099,8	1424,5	143,4	482,6	626,0	2050,5	759,8	80,3	840,1	214,1
3- Industria de alimentación, bebidas y tabaco	1280,0	2896,9	1756,7	838,9	2595,6	5492,5	1676,4	1016,6	2692,9	97,3
4- Industria textil, peletería y cuero	401,5	796,1	545,2	177,1	722,3	1518,4	598,3	397,5	995,8	273,5
5- Industria del papel, madera y artes gráficas	919,6	949,2	531,2	69,2	600,4	1549,6	836,3	457,6	1293,9	693,5
6- Industria química	3467,8	3570,3	1621,5	448,4	2069,9	5640,2	2978,6	1352,8	4331,4	2261,6
7- Otras industrias no metálicas	9989,6	5132,2	660,3	163,5	823,8	5956,0	4856,9	626,8	5483,7	4659,9
8- Metalurgia	550,4	298,5	102,9	0,0	102,9	401,4	298,0	102,7	400,7	297,8
9- Productos metálicos	208,8	578,8	475,2	56,0	531,2	1110,0	474,8	389,7	864,5	333,4
10- Industria eléctrica, electrónica y maquinaria	302,9	1244,4	993,6	363,1	1356,6	2601,1	839,7	670,7	1510,4	153,7
11- Industria del transporte	404,4	1381,5	1306,2	410,7	1716,8	3098,4	932,3	885,3	1817,5	100,7
12- Otras industrias	302,2	398,3	239,5	111,8	351,3	749,6	243,5	135,9	379,4	28,1
13- Producción y distribución de energía	6328,3	2601,9	262,4	560,1	822,4	3424,3	1105,4	98,9	1204,4	381,9
14- Construcción	301,9	4364,3	2685,9	0,0	2685,9	7050,2	0,0	0,0	0,0	-2685,9
15- Hostelería	78,5	1487,3	945,4	0,0	945,4	2432,8	0,0	0,0	0,0	-945,4
16- Transporte	7943,3	5068,2	920,1	227,0	1147,1	6215,3	3498,4	648,5	4146,9	2999,8
17- Servicios empresariales	484,9	3047,1	1664,0	16,9	1680,9	4728,0	1036,6	563,2	1599,8	-81,1
18- Sector público y otros servicios sociales	1480,5	2771,8	997,6	16,2	1013,9	3785,7	153,9	59,2	213,0	-800,9
TOTAL	38427,8	38427,8	15945,7	4163,4	20109,0	58536,8	20430,1	7517,7	27947,8	7838,8

Tabla 4.D.5. Análisis uni-regional: ratios y porcentajes del balance en CO₂ para Cataluña (2005)

<i>Sectores productivos</i>	(2)/(6)	(9)/(5)	% sobre Balance Neto	% sobre (3) total	% sobre (4) total	% sobre (5) total	% sobre (6) total	% sobre (8) total	% sobre (9) total	Impacto DF (2)-(10)	% sobre total
1- Agricultura, ganadería y pesca	0,57	0,55	-1,8%	0,6%	5,3%	1,6%	1,3%	0,4%	0,6%	559,7	1,8%
2- Minería, coquerías, refino y combustibles nucleares	0,69	1,34	2,7%	0,9%	11,6%	3,1%	3,5%	1,1%	3,0%	1210,4	4,0%
3-Industria de alimentación, bebidas y tabaco	0,53	1,04	1,2%	11,0%	20,1%	12,9%	9,4%	13,5%	9,6%	2799,6	9,2%
4- Industria textil, peletería y cuero	0,52	1,38	3,5%	3,4%	4,3%	3,6%	2,6%	5,3%	3,6%	522,6	1,7%
5- Industria del papel, madera y artes gráficas	0,61	2,16	8,8%	3,3%	1,7%	3,0%	2,6%	6,1%	4,6%	255,8	0,8%
6-Industria química	0,63	2,09	28,9%	10,2%	10,8%	10,3%	9,6%	18,0%	15,5%	1308,7	4,3%
7-Otras industrias no metálicas	0,86	6,66	59,4%	4,1%	3,9%	4,1%	10,2%	8,3%	19,6%	472,3	1,5%
8-Metalurgia	0,74	3,89	3,8%	0,6%	0,0%	0,5%	0,7%	1,4%	1,4%	0,7	0,0%
9-Productos metálicos	0,52	1,63	4,3%	3,0%	1,3%	2,6%	1,9%	5,2%	3,1%	245,5	0,8%
10- Industria eléctrica, electrónica y maquinaria	0,48	1,11	2,0%	6,2%	8,7%	6,7%	4,4%	8,9%	5,4%	1090,7	3,6%
11-Industria del transporte	0,45	1,06	1,3%	8,2%	9,9%	8,5%	5,3%	11,8%	6,5%	1280,8	4,2%
12-Otras industrias	0,53	1,08	0,4%	1,5%	2,7%	1,7%	1,3%	1,8%	1,4%	370,2	1,2%
13-Producción y distribución de energía	0,76	1,46	4,9%	1,6%	13,5%	4,1%	5,8%	1,3%	4,3%	2219,9	7,3%
14-Construcción	0,62	0,00	-34,3%	16,8%	0,0%	13,4%	12,0%	0,0%	0,0%	7050,2	23,0%
15-Hostelería	0,61	0,00	-12,1%	5,9%	0,0%	4,7%	4,2%	0,0%	0,0%	2432,8	8,0%
16-Transporte	0,82	3,62	38,3%	5,8%	5,5%	5,7%	10,6%	8,6%	14,8%	2068,4	6,8%
17- Servicios empresariales	0,64	0,95	-1,0%	10,4%	0,4%	8,4%	8,1%	7,5%	5,7%	3128,1	10,2%
18- Sector público y otros servicios sociales	0,73	0,21	-10,2%	6,3%	0,4%	5,0%	6,5%	0,8%	0,8%	3572,6	11,7%
TOTAL	0,66	1,39	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	30589,0	100%

4.E. Tablas del análisis empírico multi-regional

Tabla 4.E.1. Coeficientes domésticos de CO₂ (2005)

<i>Sectores productivos</i>	Coeficientes domésticos de CO₂	
	Cataluña	Resto de España
1-Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca	0,225	0,290
2-Extracción de productos energéticos	4,781	0,984
3-Extracción de otros minerales	0,010	0,200
4-Industrias de alimentación, bebidas i tabaco	0,067	0,070
5-Industrias textiles	0,073	0,304
6-Industria de la confección y la peletería	0,015	0,023
7-Industrias del cuero y del calzado	0,035	0,025
8-Industria de la madera y el corcho	0,051	0,055
9-Industrias del papel	0,208	0,316
10-Edición y artes gráficas	0,015	0,013
11-Coquerías, refino y combustibles nucleares	0,994	0,675
12-Industrias químicas	0,206	0,231
13-Industria del caucho y materias plásticas	0,060	0,000
14-Otros productos minerales no metálicos	2,088	1,640
15-Metalurgia	0,160	0,549
16-Productos metálicos (ex. máq. i equipos)	0,024	0,009
17-Maquinaria y equipo mecánico	0,028	0,021
18-Máquinas de oficina y equipos informáticos	0,000	0,004
19-Fabricación de maquinaria y materiales eléctricos	0,018	0,003
20-Material electrónico	0,003	0,001
21-Instrumentos médico-quirúrgicos y de precisión	0,007	0,000
22-Vehículos de motor y remolques	0,025	0,030
23-Otro material de transporte	0,023	0,058
24-Muebles y otras industrias manufactureras	0,023	0,014
25-Reciclaje	0,174	0,043
26-Producción y distribución de energía	1,162	3,032
27-Captación, potabilización y distribución de agua	0,078	0,165
28-Construcción	0,008	0,012
29-Servicios al comercio, vehículos y reparación	0,008	0,049
30-Hostelería	0,004	0,037
31-Transporte por carretera y ferrocarril	0,809	0,469
32-Transporte marítimo	1,022	1,383
33-Transporte aéreo y espacial	0,624	1,388
34-Actividades anexas a los transportes	0,001	0,091
35-Comunicaciones	0,001	0,009
36-Intermediación financiera	0,002	0,007
37-Inmobiliarias y servicios empresariales	0,003	0,002
38-Administración pública	0,001	0,016
39-Educación	0,113	0,000
40-Sanidad y servicios sociales	0,006	0,018
41-Otras actividades sociales y servicios	0,057	0,063
42-Hogares que emplean personal doméstico	0,000	0,000

Tabla 4.E.2. Balanza comercial regional y exterior de Cataluña para el 2005 (millones de euros)

<i>Sectores productivos</i>	Resto de España			Resto del Mundo			SALDO TOTAL
	Exportaciones	Importaciones	SALDO	Exportaciones	Importaciones	SALDO	
1- Agricultura, ganadería y pesca	372,1	2922,3	-2550,3	657,8	2466,1	-1808,3	-4358,6
2- Minería, coquerías, refinado y combustibles nucleares	1171,1	2122,6	-951,5	463,1	4821,3	-4358,2	-5309,7
3- Industria de alimentación, bebidas y tabaco	7816,8	5471,1	2345,7	3367,3	3489,0	-121,7	2224,0
4- Industria textil, peletería y cuero	2943,2	1249,0	1694,2	2278,4	3278,3	-999,9	694,3
5- Industria del papel, madera y artes gráficas	3855,4	2588,2	1267,2	2012,7	2229,5	-216,8	1050,4
6- Industria química	7245,7	3859,1	3386,6	6647,4	8542,9	-1895,5	1491,1
7- Otras industrias no metálicas	3487,2	2408,4	1078,7	2257,6	2233,3	24,3	1103,0
8- Metalurgia	1416,0	2253,2	-837,2	892,6	3915,9	-3023,2	-3860,4
9- Productos metálicos	3246,2	1640,4	1605,8	1447,6	1460,5	-12,9	1592,9
10- Industria eléctrica, electrónica y maquinaria	5625,2	3136,1	2489,1	6122,2	13705,6	-7583,5	-5094,4
11- Industria del transporte	4971,9	2406,9	2564,9	8664,3	9371,3	-707,0	1858,0
12- Otras industrias	1548,1	870,9	677,2	711,8	1049,1	-337,3	339,9
13- Producción y distribución de energía	1037,8	2002,1	-964,2	52,5	15,1	37,5	-926,7
14- Construcción	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
15- Hostelería	0,0	866,6	-866,6	0,0	417,7	-417,7	-1284,2
16- Transporte	4503,9	2885,5	1618,4	3060,2	1724,3	1335,9	2954,2
17- Servicios empresariales	12289,5	5416,2	6873,3	7384,2	3589,4	3794,8	10668,1
18- Sector público y otros servicios sociales	1124,2	959,6	164,7	274,6	469,2	-194,6	-29,9
TOTAL	62654,4	43058,3	19596,1	46294,4	62778,5	-16484,1	3112,0

Tabla 4.E.3. Desagregación del balance en CO₂ de Cataluña por sectores verticalmente integrados (kt) (2005)

	Emisión asociada al comercio con el RE						Emisión asociada al comercio con el RM						BALANCE GLOBAL	
	Exp Cat_RE		Imp Cat_RE		Balance Cat_RE		Exp Cat_RM		Imp Cat_RM		Balance Cat_RM		(3)+(6)	
	Kt (1)	%	Kt (2)	%	Kt (3)	%	Kt (4)	% TOTAL IMP	Kt (5)	% TOTAL IMP	Kt (6)	% TOTAL BALANCE	Kt (7)	% del total vertical
Sectores productivos														
1- Agricultura, ganadería y pesca	95,0	0,7%	495,0	2,9%	-399,9	12,6%	272,8	1,0%	428,9	1,5%	-156,1	3,1%	-556,0	6,8%
2- Minería, coquerías, refinado y combustibles nucleares	616,4	4,4%	774,3	4,5%	-157,9	5,0%	165,3	0,6%	1115,7	4,0%	-950,4	18,8%	-1108,3	13,5%
3- Industria de alimentación, bebidas y tabaco	1164,1	8,3%	1757,1	10,3%	-593,0	18,7%	1433,5	5,1%	1830,1	6,6%	-396,6	7,9%	-989,6	12,1%
4- Industria textil, peletería y cuero	179,0	1,3%	195,8	1,1%	-16,8	0,5%	466,5	1,7%	541,8	1,9%	-75,3	1,5%	-92,1	1,1%
5- Industria del papel, madera y artes gráficas	187,7	1,3%	150,1	0,9%	37,7	-1,2%	302,5	1,1%	211,6	0,8%	90,8	-1,8%	128,5	-1,6%
6- Industria química	1300,8	9,3%	537,1	3,1%	763,7	-24,1%	1114,0	4,0%	1203,8	4,3%	-89,8	1,8%	673,9	-8,2%
7- Otras industrias no metálicas	770,4	5,5%	85,4	0,5%	685,0	-21,7%	448,6	1,6%	196,1	0,7%	252,5	-5,0%	937,5	-11,4%
8- Metalurgia	122,0	0,9%	0,7	0,0%	121,3	-3,8%	95,3	0,3%	1,3	0,0%	93,9	-1,9%	215,2	-2,6%
9- Productos metálicos	89,3	0,6%	195,2	1,1%	-105,9	3,3%	142,3	0,5%	293,5	1,1%	-151,3	3,0%	-257,2	3,1%
10- Industria eléctrica, electrónica y maquinaria	296,8	2,1%	365,5	2,1%	-68,7	2,2%	863,4	3,1%	1385,8	5,0%	-522,4	10,4%	-591,1	7,2%
11- Industria del transporte	291,0	2,1%	350,1	2,0%	-59,1	1,9%	1380,1	4,9%	1503,1	5,4%	-123,0	2,4%	-182,1	2,2%
12- Otras industrias	132,4	0,9%	172,0	1,0%	-39,5	1,2%	219,3	0,8%	346,5	1,2%	-127,2	2,5%	-166,8	2,0%
13- Producción y distribución de energía (incluido agua)	404,0	2,9%	2409,8	14,1%	-2005,8	63,4%	87,8	0,3%	614,6	2,2%	-526,8	10,4%	-2532,6	30,8%
14- Construcción	3921,1	28,1%	3796,3	22,2%	124,8	-3,9%	1226,1	4,4%	1781,7	6,4%	-555,6	11,0%	-430,8	5,2%
15- Hostelería	821,3	5,9%	1806,9	10,5%	-985,6	31,2%	414,5	1,5%	1309,1	4,7%	-894,6	17,7%	-1880,2	22,9%
16- Transporte	1198,4	8,6%	534,1	3,1%	664,3	-21,0%	628,5	2,3%	946,3	3,4%	-317,8	6,3%	346,5	-4,2%
17- Servicios empresariales	1547,8	11,1%	1881,9	11,0%	-334,1	10,6%	1111,4	4,0%	1387,3	5,0%	-275,9	5,5%	-610,0	7,4%
18- Sector público y otros servicios sociales	826,9	5,9%	1621,2	9,5%	-794,3	25,1%	1054,3	3,8%	1375,2	4,9%	-321,0	6,4%	-1115,2	13,6%
TOTAL	13964,6	100,0%	17128,3	100,0%	-3163,8	100,0%	11426,1	41,0%	16472,6	59,0%	-5046,5	100%	-8210,3	100%

Tabla 4.E.4. Balance en CO₂ de Cataluña por sectores sin integración vertical (kt) (2005)

<i>Sectores productivos</i>	Cataluña_resto de España					Cataluña_resto del mundo					BALANCE GLOBAL
	Exportaciones		Importaciones		Balance	Exportaciones		Importaciones		Balance	(1)+(2)
	Kt	%	Kt	%	Kt(1)	Kt	%	Kt	%	Kt(2)	Kt
1- Agricultura, ganadería y pesca	285,1	2,0%	1001,9	5,8%	-716,9	289,5	2,5%	738,2	4,5%	-448,7	-1165,6
2- Minería, coquerías, refino y combustibles nucleares	1287,2	9,2%	1485,8	8,7%	-198,7	970,3	8,5%	5672,6	34,4%	-4702,3	-4901,0
3-Industria de alimentación, bebidas y tabaco	561,8	4,0%	440,2	2,6%	121,5	316,1	2,8%	289,1	1,8%	27,0	148,5
4- Industria textil, peletería y cuero	151,7	1,1%	107,2	0,6%	44,5	211,9	1,9%	277,1	1,7%	-65,1	-20,6
5- Industria del papel, madera y artes gráficas	377,5	2,7%	276,3	1,6%	101,3	376,4	3,3%	332,2	2,0%	44,1	145,4
6-Industria química	1478,5	10,6%	422,9	2,5%	1055,6	1689,9	14,8%	1139,3	6,9%	550,6	1606,2
7-Otras industrias no metálicas	4492,0	32,2%	2374,4	13,9%	2117,6	2524,5	22,1%	1128,9	6,9%	1395,7	3513,2
8-Metalurgia	205,6	1,5%	1032,5	6,0%	-826,9	270,6	2,4%	1673,2	10,2%	-1402,6	-2229,4
9-Productos metálicos	81,3	0,6%	20,0	0,1%	61,4	75,6	0,7%	23,2	0,1%	52,3	113,7
10- Industria eléctrica, electrónica y maquinaria	116,1	0,8%	34,3	0,2%	81,8	140,8	1,2%	142,9	0,9%	-2,2	79,6
11-Industria del transporte	122,0	0,9%	62,3	0,4%	59,7	258,8	2,3%	253,2	1,5%	5,5	65,2
12-Otras industrias	116,7	0,8%	22,1	0,1%	94,6	136,6	1,2%	52,1	0,3%	84,5	179,1
13-Producción y distribución de energía	1984,6	14,2%	8211,6	47,9%	-6227,0	1247,8	10,9%	2928,2	17,8%	-1680,4	-7907,5
14-Construcción	6,5	0,0%	12,7	0,1%	-6,2	5,8	0,1%	8,2	0,0%	-2,4	-8,6
15-Hostelería	0,5	0,0%	28,1	0,2%	-27,6	0,5	0,0%	15,6	0,1%	-15,1	-42,6
16-Transporte	2505,9	17,9%	1434,9	8,4%	1071,0	2781,2	24,3%	1675,2	10,2%	1105,9	2176,9
17- Servicios empresariales	98,7	0,7%	110,9	0,6%	-12,3	82,9	0,7%	88,8	0,5%	-5,9	-18,2
18- Sector público y otros servicios sociales	93,0	0,7%	50,2	0,3%	42,9	47,1	0,4%	34,5	0,2%	12,5	55,4
TOTAL	13964,6	100,0%	17128,3	100,0%	-3163,8	11426,1	100,0%	16472,6	100,0%	-5046,5	-8210,3

Tabla 4.E.5. Matriz de impactos interregionales de la demanda final de Cataluña sobre el resto de España (kt) (2005)

Sectores	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Total*
1	331,3	0,1	397,3	7,3	2,8	2,4	0,2	0,0	0,4	1,0	1,0	2,8	0,5	9,8	205,5	1,0	12,4	26,1	1001,9
2	15,6	736,7	57,0	6,3	5,3	58,9	3,2	0,0	6,9	13,5	10,6	7,4	63,8	135,0	75,4	73,1	125,8	91,4	1485,8
3	13,6	0,0	317,7	2,5	0,2	0,8	0,0	0,0	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	1,8	89,5	0,4	3,9	9,2	440,2
4	0,6	0,0	3,2	58,9	0,6	0,8	0,1	0,0	0,2	0,8	2,9	2,8	0,2	9,6	5,4	0,7	6,6	13,7	107,2
5	2,1	0,3	32,6	2,2	36,7	5,2	0,4	0,0	2,0	4,4	2,5	9,0	1,3	34,0	50,4	3,1	51,6	38,4	276,3
6	5,4	0,3	15,6	3,2	3,3	211,9	1,7	0,0	3,3	5,5	3,8	4,1	1,6	52,1	20,5	1,8	25,2	63,7	422,9
7	9,1	1,4	146,2	4,5	2,8	13,1	52,9	0,0	8,2	23,4	25,3	7,8	9,0	1723,6	123,0	10,7	133,8	79,5	2374,4
8	5,4	1,0	25,9	2,6	7,6	4,8	1,3	0,3	71,7	95,0	77,7	30,9	5,3	548,4	31,9	6,8	73,6	42,2	1032,5
9	0,3	0,0	1,2	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	4,1	1,4	0,6	0,4	0,1	8,6	0,8	0,1	1,1	0,8	20,0
10	0,3	0,1	1,2	0,2	0,1	0,5	0,0	0,0	0,3	17,0	0,3	0,2	0,2	7,2	1,8	0,2	2,2	2,4	34,3
11	0,3	0,1	1,1	0,1	0,1	0,2	0,0	0,0	0,1	0,2	46,6	0,2	0,1	1,9	1,3	0,9	8,0	1,2	62,3
12	0,1	0,0	0,5	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,7	1,0	0,9	8,3	0,1	6,2	0,8	0,2	1,5	1,5	22,1
13	91,2	21,8	570,4	83,1	74,1	193,0	20,5	0,3	79,7	166,1	146,1	73,7	2313,9	1007,2	1009,5	183,0	1089,2	1088,9	8211,6
14	0,3	0,1	1,9	0,2	0,2	0,4	0,0	0,0	0,2	0,4	0,3	0,2	0,3	1,8	1,5	0,4	2,7	1,8	12,7
15	0,1	0,1	0,9	0,1	0,1	0,6	0,0	0,0	0,1	0,3	0,2	0,1	0,2	2,6	10,8	0,6	6,1	5,1	28,1
16	15,3	11,6	164,6	20,8	14,3	41,1	4,6	0,0	15,4	30,4	27,2	20,5	10,9	221,6	162,3	248,3	301,3	124,8	1434,9
17	3,9	0,7	18,7	3,5	1,6	3,0	0,3	0,0	1,7	4,7	3,8	3,2	1,5	16,9	11,8	2,0	22,6	10,9	110,9
18	0,2	0,0	1,1	0,1	0,1	0,3	0,0	0,0	0,1	0,2	0,2	0,1	0,5	7,7	4,7	0,8	14,4	19,6	50,2
Total**	495,0	774,3	1757,1	195,8	150,1	537,1	85,4	0,7	195,2	365,5	350,1	172,0	2409,8	3796,3	1806,9	534,1	1881,9	1621,2	17128,3

*Total incorporado en los productos importados de cada sector del RE

**Efecto de arrastre total de cada sector catalán sobre el RE

Tabla 4.E.6. Matriz de impactos interregionales de la demanda final de Cataluña sobre el resto del mundo (kt) (2005)

Sectores	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Total*
1	195,1	0,1	345,4	16,3	4,4	4,2	0,6	0,0	0,6	3,3	4,1	5,7	0,4	8,0	118,7	1,2	9,9	20,3	738,2
2	84,2	1099,8	336,5	64,0	36,0	395,8	22,8	0,3	48,6	172,6	163,3	60,6	534,5	583,1	490,9	363,2	639,8	576,3	5672,6
3	11,2	0,0	233,2	4,3	0,3	1,5	0,1	0,0	0,1	0,6	0,6	0,4	0,1	1,1	30,0	0,4	1,7	3,6	289,1
4	0,9	0,1	4,7	195,1	0,8	2,6	0,6	0,0	0,4	3,0	12,9	14,2	0,3	11,6	8,0	1,3	8,1	12,6	277,1
5	3,1	0,3	41,2	7,1	64,5	10,5	1,2	0,0	2,6	14,3	10,5	15,4	1,2	23,2	36,9	3,8	49,0	47,6	332,2
6	18,3	1,1	77,1	34,6	11,1	472,7	9,6	0,0	10,6	48,8	54,0	21,0	5,9	88,3	65,2	7,0	63,2	150,7	1139,3
7	10,1	0,9	148,6	12,0	3,9	34,7	118,2	0,1	24,5	106,7	99,6	17,6	4,0	288,8	91,3	9,5	81,9	76,6	1128,9
8	10,6	1,6	55,2	10,2	10,9	14,3	3,9	0,6	118,4	382,8	372,8	62,2	9,0	354,6	55,0	14,6	124,6	71,8	1673,2
9	0,3	0,0	1,7	0,4	0,1	0,4	0,1	0,0	2,7	6,1	4,3	1,0	0,1	2,5	0,9	0,2	1,4	0,9	23,2
10	0,6	0,2	3,4	1,0	0,5	1,7	0,3	0,0	1,0	101,4	5,6	1,1	0,6	7,8	4,2	0,8	7,0	5,8	142,9
11	0,7	0,1	2,2	0,5	0,2	0,4	0,1	0,0	0,2	1,0	219,4	0,4	0,1	4,3	2,7	2,4	15,9	2,8	253,2
12	0,2	0,0	1,4	0,3	0,4	0,4	0,1	0,0	2,4	8,0	7,7	16,7	0,2	7,4	1,4	0,4	3,0	2,1	52,1
13	70,2	7,5	380,5	139,5	60,3	193,6	29,4	0,2	62,7	414,6	426,6	90,9	49,4	284,1	195,9	48,0	230,8	243,9	2928,2
14	0,2	0,0	1,1	0,3	0,1	0,4	0,0	0,0	0,1	0,9	0,8	0,2	0,1	0,6	0,7	0,2	1,2	1,2	8,2
15	0,1	0,0	0,6	0,2	0,1	0,6	0,0	0,0	0,1	0,5	0,6	0,1	0,1	0,7	9,1	0,4	1,2	1,2	15,6
16	20,1	4,0	182,6	49,4	16,5	65,6	8,4	0,1	17,2	107,7	108,7	34,8	8,0	108,5	190,5	491,4	137,7	124,1	1675,2
17	2,8	0,2	13,4	6,2	1,4	3,8	0,5	0,0	1,3	12,9	10,9	3,9	0,4	6,3	6,8	1,3	9,4	7,3	88,8
18	0,2	0,0	1,3	0,4	0,1	0,6	0,1	0,0	0,1	0,7	0,9	0,2	0,1	0,8	1,0	0,2	1,5	26,4	34,5
Total**	428,9	1132,4	1895,9	554,4	217,8	1154,0	196,6	1,3	286,4	1409,1	1533,6	359,6	623,5	1735,7	806,9	2149,4	705,2	1344,1	16472,6

*Total incorporado en los productos importados de cada sector del RE

**Efecto de arrastre total de cada sector catalán sobre el RE

Tabla 4.E.7. Variación del balance en CO₂ de Cataluña 2001-2005 (kt)

<i>Sectores productivos</i>	BALANCE CAT_RE		BALANCE CAT_RM				BALANCE GLOBAL					
	2001		Balance 2005	Variación periodo (kt)	2001		Balance 2005	Variación periodo (kt)	2001		Balance 2005	Variación periodo (kt)
	Kt	% TOTAL BALANCE			Kt	% TOTAL BALANCE			Kt	% del total vertical		
1- Agricultura, ganadería y pesca	-264,9	5,0%	-399,9	-135,0	-115,0	4,6%	-156,1	-41,1	-379,9	4,9%	-556,0	-176,1
2- Minería, coquerías, refino y combustibles nucleares	-652,4	12,3%	-157,9	494,5	-326,7	13,1%	-950,4	-623,8	-979,1	12,5%	-1108,3	-129,2
3-Industria de alimentación, bebidas y tabaco	-572,8	10,8%	-593,0	-20,1	-1161,2	46,7%	-396,6	764,6	-1734,0	22,2%	-989,6	744,4
4- Industria textil, peletería y cuero	-50,7	1,0%	-16,8	33,9	-275,7	11,1%	-75,3	200,5	-326,4	4,2%	-92,1	234,3
5- Industria del papel, madera y artes gráficas	-56,5	1,1%	37,7	94,1	27,8	-1,1%	90,8	63,0	-28,6	0,4%	128,5	157,1
6-Industria química	33,0	-0,6%	763,7	730,7	-727,0	29,2%	-89,8	637,2	-694,0	8,9%	673,9	1368,0
7-Otras industrias no metálicas	133,7	-2,5%	685,0	551,3	1506,5	-60,6%	252,5	-1254,1	1640,2	-21,0%	937,5	-702,7
8-Metalurgia	0,2	0,0%	121,3	121,1	129,8	-5,2%	93,9	-35,9	130,0	-1,7%	215,2	85,2
9-Productos metálicos	-105,7	2,0%	-105,9	-0,2	89,2	-3,6%	-151,3	-240,5	-16,5	0,2%	-257,2	-240,7
10- Industria eléctrica, electrónica y maquinaria	-244,2	4,6%	-68,7	175,6	141,2	-5,7%	-522,4	-663,7	-103,0	1,3%	-591,1	-488,1
11-Industria del transporte	-207,0	3,9%	-59,1	147,9	72,2	-2,9%	-123,0	-195,2	-134,8	1,7%	-182,1	-47,3
12-Otras industrias	-68,4	1,3%	-39,5	28,8	-373,3	15,0%	-127,2	246,0	-441,6	5,7%	-166,8	274,9
13-Producción y distribución de energía	-2378,1	44,7%	-2005,8	372,3	-498,3	20,0%	-526,8	-28,5	-2876,4	36,9%	-2532,6	343,7
14-Construcción	412,1	-7,8%	124,8	-287,3	-731,9	29,4%	-555,6	176,3	-319,8	4,1%	-430,8	-111,0
15-Hostelería	-620,3	11,7%	-985,6	-365,3	-14,4	0,6%	-894,6	-880,2	-634,7	8,1%	-1880,2	-1245,5
16-Transporte	68,6	-1,3%	664,3	595,7	266,6	-10,7%	-317,8	-584,4	335,3	-4,3%	346,5	11,3
17- Servicios empresariales	-398,1	7,5%	-334,1	64,0	56,1	-2,3%	-275,9	-332,0	-342,0	4,4%	-610,0	-268,0
18- Sector público y otros servicios sociales	-345,8	6,5%	-794,3	-448,5	-552,2	22,2%	-321,0	231,3	-898,0	11,5%	-1115,2	-217,2
TOTAL	-5317,3	100%	-3163,8	2153,5	-2486,1	100%	-5046,5	-2560,4	-7803,4	100%	-8210,3	-406,9

5 Estudio interregional de los impactos medioambientales de Cataluña. Una propuesta para la descomposición de la producción y de los multiplicadores netos globales

5.1 Introducción

El estudio de los impactos medioambientales asociados a la demanda final de una región requiere considerar las relaciones existentes entre la economía doméstica y sus socios comerciales exteriores. Actualmente, la importancia de estas relaciones son tanto o más determinantes en la evaluación de los impactos que las producidas en el interior de la propia región. Por lo tanto, si se quiere profundizar en este campo es necesario tratar de captar con detalle aquellos vínculos interregionales que determinan la responsabilidad de una región bajo la perspectiva del consumo.

Como se ha comprobado en el capítulo anterior, los modelos Multi-Regional Input-Output (MRIO) con sectores verticalmente integrados permiten identificar y calibrar en qué región y sobre qué actividad incide la demanda final de un sector doméstico cualquiera. Es decir, que consecuencias tienen sobre estas variables cambios exógenos potenciales en la demanda final doméstica. Este tipo de estudios recibe habitualmente el nombre de análisis de impactos, y su extensión interregional ha tenido una gran relevancia científica en las dos últimas décadas (Sonis y Hewings, 1993; 1998; Round, 2001; Dietzenbacher, 2002). Sorprendentemente, son algo escasos los trabajos que aplican este tipo de análisis a los impactos medioambientales (Lenzen et al. 2004; Nansai et al. 2009; Peters y Hertwich, 2009), más cuando las potencialidades de la metodología están sobradamente demostradas en la literatura. El presente trabajo tratará de demostrar y reforzar esta idea.

Si bien es cierto que los modelos MRIO captan los vínculos interregionales mencionados en el párrafo anterior, estas asociaciones pueden sucederse de muchas formas y esconder una gran cantidad de información cuya desagregación puede ser de gran interés. El potencial explicativo del análisis multi-regional puede ampliarse mediante la descomposición de la producción regional verticalmente integrada que permite el modelo. Este proceso permite desagregar el impacto sectorial asociado a la demanda final de una región en distintos efectos explicativos. Cada uno de estos efectos aporta una valiosa información en cuanto a qué tipo de relación comercial interregional determina el impacto asociado a la demanda final doméstica de un sector cualquiera. Es evidente la utilidad directa de este análisis en el estudio de los impactos globales, tales como la Huella Ecológica o de Carbono. Así como en el programa de políticas medioambientales que requieran una actuación global, como es el caso de aquellas encuadradas en la lucha contra el cambio climático.

Además, la expresión como matriz diagonal de los vectores de coeficientes de emisión y de la demanda final ofrece la posibilidad de desagregar cada efecto regional entre los distintos sectores sobre los que incide. Esto significa ampliar interregionalmente el análisis de la descomposición de los subsistemas, dándonos una visión global de las relaciones de cada sector con el resto de la economía de acuerdo a su demanda final doméstica. En otras palabras, adaptando el análisis de los subsistemas bajo al enfoque del principio del consumidor. Cabe recordar que la técnica de los subsistemas asignan la responsabilidad de acuerdo a la demanda final, cuando esto se realiza en un modelo uni-regional se hace bajo el enfoque del productor. Si se amplía el análisis con un modelo MRIO se verá modificado el principio base al del consumidor y se realizará un análisis global del mismo en cuanto a su impacto efectivo.

El trabajo metodológico desarrollado será utilizado para la descomposición de los denominados multiplicadores netos (Oosterhaven y Stelder, 2002). Tal y como indican los autores, esta técnica calibra la importancia de un sector en una economía corrigiendo el sesgo causado por los multiplicadores “brutos”. En el marco del análisis de impactos, los multiplicadores tienen un papel clave al determinar las actividades más importantes en cada contexto. Con el objetivo de profundizar en el análisis, varios autores han sugerido complementarias y alternativas descomposiciones para los multiplicadores. Como se ha avanzado arriba, este trabajo propone una descomposición alternativa para los multiplicadores netos sirviéndose del proceso de desagregación

llevado a cabo para la producción doméstica regional. Al mismo tiempo, al evaluar dichos impactos de acuerdo al principio del consumo, se sugiere una reinterpretación para estos multiplicadores complementaria a la tradicional. De manera que permita evaluar la importancia de un sector en relación al impacto global asociado a su demanda final doméstica y no únicamente al generado dentro de su región. En definitiva, la metodología permite identificar los distintos efectos explicativos interregionales que determinan el valor del multiplicador neto global estimado.

Mediante la aplicación empírica se profundiza en el estudio de los determinantes del impacto, en términos de emisión de CO₂, asociado a la demanda final de Cataluña. Para esto se utilizará el modelo MRIO construido en el capítulo anterior formado por Cataluña, el resto de España (RE) y el resto del mundo (RM). Los resultados muestran la importancia de las relaciones interregionales de Cataluña con estas regiones a la hora de explicar su responsabilidad basada en la óptica del consumidor. Además, se vislumbrarán qué tipos de relaciones comerciales inter- e interregionales explican la emisión asociada a la demanda final doméstica de cada sector. Por otro lado, los multiplicadores netos globales ofrecerán una clasificación sectorial en función de su aportación a la responsabilidad en CO₂ de Cataluña en relación a la emisión directa de cada uno de ellos. La comparación con sus homólogos estándar, pondrán de manifiesto la importancia de las relaciones interregionales en la determinación de la responsabilidad sectorial bajo el principio del consumidor frente al del productor.

5.2 Desarrollo metodológico

El análisis multi-regional input-output integra el comercio multidireccional entre las regiones que componen el modelo. Esto implica la inclusión de los efectos *feed-backs* y *spillovers* interregionales, capturando así los efectos directos e indirectos inducidos por el comercio (Lenzen et al. 2004). Una gran parte de la literatura incluye este análisis mediante la descomposición de la inversa interregional de Leontief en varias submatrices que captan los distintos efectos intra- e interregionales en términos de multiplicadores input-output (Sonis et al. 1993; Sonis y Hewings, 1993; Round, 1985; 2001; Dietzenbacher, 2002).

El objetivo es poder desagregar dichos efectos a un nivel útil para el análisis que se pretenda llevar a cabo. En el caso del presente trabajo se desea estudiar los impactos de la demanda final de una economía más allá de sus fronteras, considerando los distintos efectos intra- e interregionales que explican los aspectos intrínsecos de éstos. Con esta finalidad, se plantea la descomposición de la producción aplicando al análisis multi-regional el trabajo metodológico realizado en Alcántara y Padilla (2009) para el estudio de un subsistema.

5.2.1 Descomposición de la producción en un modelo MRIO

A partir del modelo MRIO desarrollado en el capítulo anterior, la producción de cada región (recuérdese que Cataluña es la región 1, el resto de España (RE) la 2 y el resto del mundo (RM) la 3) queda desagregada de acuerdo al destino de la misma viene dada por:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{A}_{11} & \mathbf{A}_{12} & \mathbf{A}_{13} \\ \mathbf{A}_{21} & \mathbf{A}_{22} & \mathbf{A}_{23} \\ \mathbf{A}_{31} & \mathbf{A}_{32} & \mathbf{A}_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{x}_{11} & \mathbf{x}_{12} & \mathbf{x}_{13} \\ \mathbf{x}_{21} & \mathbf{x}_{22} & \mathbf{x}_{23} \\ \mathbf{x}_{31} & \mathbf{x}_{32} & \mathbf{x}_{33} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{y}_{11} & \mathbf{y}_{12} & \mathbf{y}_{13} \\ \mathbf{y}_{21} & \mathbf{y}_{22} & \mathbf{y}_{23} \\ \mathbf{y}_{31} & \mathbf{y}_{32} & \mathbf{y}_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{x}_{11} & \mathbf{x}_{12} & \mathbf{x}_{13} \\ \mathbf{x}_{21} & \mathbf{x}_{22} & \mathbf{x}_{23} \\ \mathbf{x}_{31} & \mathbf{x}_{32} & \mathbf{x}_{33} \end{bmatrix} \quad (5.1)$$

cuya solución puede escribirse matricialmente como:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{L}_{11} & \mathbf{L}_{12} & \mathbf{L}_{13} \\ \mathbf{L}_{21} & \mathbf{L}_{22} & \mathbf{L}_{23} \\ \mathbf{L}_{31} & \mathbf{L}_{32} & \mathbf{L}_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{y}_{11} & \mathbf{y}_{12} & \mathbf{y}_{13} \\ \mathbf{y}_{21} & \mathbf{y}_{22} & \mathbf{y}_{23} \\ \mathbf{y}_{31} & \mathbf{y}_{32} & \mathbf{y}_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{x}_{11} & \mathbf{x}_{12} & \mathbf{x}_{13} \\ \mathbf{x}_{21} & \mathbf{x}_{22} & \mathbf{x}_{23} \\ \mathbf{x}_{31} & \mathbf{x}_{32} & \mathbf{x}_{33} \end{bmatrix} \quad (5.2)$$

Substituyendo esta expresión en la parte izquierda de la ecuación (5.1), se obtiene:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{A}_{11} & \mathbf{A}_{12} & \mathbf{A}_{13} \\ \mathbf{A}_{21} & \mathbf{A}_{22} & \mathbf{A}_{23} \\ \mathbf{A}_{31} & \mathbf{A}_{32} & \mathbf{A}_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{L}_{11} & \mathbf{L}_{12} & \mathbf{L}_{13} \\ \mathbf{L}_{21} & \mathbf{L}_{22} & \mathbf{L}_{23} \\ \mathbf{L}_{31} & \mathbf{L}_{32} & \mathbf{L}_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{y}_{11} & \mathbf{y}_{12} & \mathbf{y}_{13} \\ \mathbf{y}_{21} & \mathbf{y}_{22} & \mathbf{y}_{23} \\ \mathbf{y}_{31} & \mathbf{y}_{32} & \mathbf{y}_{33} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{y}_{11} & \mathbf{y}_{12} & \mathbf{y}_{13} \\ \mathbf{y}_{21} & \mathbf{y}_{22} & \mathbf{y}_{23} \\ \mathbf{y}_{31} & \mathbf{y}_{32} & \mathbf{y}_{33} \end{bmatrix} \\ = \begin{bmatrix} \mathbf{x}_{11} & \mathbf{x}_{12} & \mathbf{x}_{13} \\ \mathbf{x}_{21} & \mathbf{x}_{22} & \mathbf{x}_{23} \\ \mathbf{x}_{31} & \mathbf{x}_{32} & \mathbf{x}_{33} \end{bmatrix} \quad (5.3)$$

Ahora, esta expresión permite descomponer la producción intra- e interregional de acuerdo a los inputs necesarios para la demanda final de cada región. El estudio en profundidad del impacto asociado a la demanda final de una región requiere concentrar

el análisis en la producción total necesaria para su elaboración. En el marco del análisis multi-regional, esto conllevará integrar el esfuerzo generado en todas las regiones así como los vínculos intersectoriales existentes entre ellas.

Dado que el objetivo de la investigación es analizar con profundidad el impacto intra- e interregional de la demanda final de Cataluña, puede adoptarse el supuesto de “economía pequeña” utilizado comúnmente en los estudios de los impactos asociados al consumo mediante modelos MRIO. Este supuesto, ya comentado en el Capítulo 4, considera que las regiones 1 y 2 son realmente pequeñas en comparación al RM (Peters y Hertwich, 2006). De este modo, puede asumirse que las exportaciones que las regiones 1 y 2 realizan a la demanda intermedia del RM, aunque son diferentes de cero, son poco significantes para su estructura productiva en comparación a su output total. Así, se considera $\mathbf{A}_{13} = \mathbf{A}_{23} = \mathbf{0}$ y se aplicará al modelo construido aquí.

Esto relaja de forma significativa la necesidad de información y simplifica el modelo sin introducir errores significativos. Implícitamente, se considera que todas las exportaciones de la regiones 1 y 2 al RM tienen exclusivamente como destino la demanda final, algo que no tiene ningún efecto sobre el objetivo de estudio aquí propuesto. En realidad, en relación al presente análisis, se está prescindiendo de aquellas emisiones incorporadas en las exportaciones de Cataluña al RM y que posteriormente son incorporadas en las importaciones consumidas por la demanda final catalana. Es evidente la poca significancia de este impacto, mientras que su omisión facilita notablemente el trabajo.

Considerando que $\mathbf{y}_{rs} = 0$ para $s \neq 1$, la expresión (5.3) se reduce a:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{A}_{11} & \mathbf{A}_{12} & 0 \\ \mathbf{A}_{21} & \mathbf{A}_{22} & 0 \\ \mathbf{A}_{31} & \mathbf{A}_{32} & \mathbf{A}_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{L}_{11} & \mathbf{L}_{12} & 0 \\ \mathbf{L}_{21} & \mathbf{L}_{22} & 0 \\ \mathbf{L}_{31} & \mathbf{L}_{32} & \mathbf{L}_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{y}_{11} \\ \mathbf{y}_{21} \\ \mathbf{y}_{31} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{y}_{11} \\ \mathbf{y}_{21} \\ \mathbf{y}_{31} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{x}_{11} \\ \mathbf{x}_{21} \\ \mathbf{x}_{31} \end{bmatrix} \quad (5.4)$$

donde cada vector \mathbf{x}_{r1} ($n \times 1$) indica la producción sectorial total realizada en cada región con la finalidad de satisfacer la demanda final de Cataluña. La solución para cada una de ellas viene dada por el sistema de ecuaciones siguiente:

$$\begin{aligned}
\mathbf{x}_{11} &= \mathbf{A}_{11}\mathbf{L}_{11}\mathbf{y}_{11} + \mathbf{A}_{11}\mathbf{L}_{12}\mathbf{y}_{21} + \mathbf{A}_{12}\mathbf{L}_{21}\mathbf{y}_{11} + \mathbf{A}_{12}\mathbf{L}_{22}\mathbf{y}_{21} + \mathbf{y}_{11} \\
\mathbf{x}_{21} &= \mathbf{A}_{21}\mathbf{L}_{11}\mathbf{y}_{11} + \mathbf{A}_{21}\mathbf{L}_{12}\mathbf{y}_{21} + \mathbf{A}_{22}\mathbf{L}_{21}\mathbf{y}_{11} + \mathbf{A}_{22}\mathbf{L}_{22}\mathbf{y}_{21} + \mathbf{y}_{21} \\
\mathbf{x}_{31} &= \mathbf{A}_{31}\mathbf{L}_{11}\mathbf{y}_{11} + \mathbf{A}_{31}\mathbf{L}_{12}\mathbf{y}_{21} + \mathbf{A}_{32}\mathbf{L}_{21}\mathbf{y}_{11} + \mathbf{A}_{32}\mathbf{L}_{22}\mathbf{y}_{21} + \mathbf{A}_{33}\mathbf{L}_{31}\mathbf{y}_{11} + \\
&\quad \mathbf{A}_{33}\mathbf{L}_{32}\mathbf{y}_{21} + \mathbf{A}_{33}\mathbf{L}_{33}\mathbf{y}_{31} + \mathbf{y}_{31}
\end{aligned} \tag{5.5}$$

Obsérvese que esta descomposición permite separar la producción de cada región en distintos componentes explicativos de acuerdo a las relaciones intra- e interregionales que ofrece el modelo. Dentro de los efectos interregionales deben considerarse por separado los efectos de arrastre inducidos sobre otra región, llamados *spillovers* interregionales, y aquellos cambios producidos en la producción de una región inducidos por la demanda intermedia de otra región para satisfacer finalmente la demanda final de la primera, llamados *feed-backs* interregionales. En la siguiente sección se clasificarán y se explicarán estos efectos implícitos en la expresión (5.5).

En un escenario de tres regiones, se multiplican las posibilidades de los vínculos intra- e interregionales. Por ejemplo, la producción de la región 1 para su propia demanda final debe contemplarse desde una triple perspectiva: (i) una influencia propia directa; (ii) una relación bilateral de interdependencia con cada una de las otras dos regiones (efecto *feed-back*); (iii) una relación trilateral de interdependencia con cada región en una u otra dirección. Es decir, un efecto *feed-back* de la región 1 con la región 2 a través de una relación intermedia con la región 3. Similarmente ocurre para los efectos *spillovers* interregionales. Lógicamente, si se incorpora la dimensión sectorial, las opciones aumentan notablemente (Sonis y Hewings, 1998).

No obstante, la asunción del supuesto de “economía pequeña” simplifica significativamente el análisis puesto que todos aquellos efectos con carácter de *feed-backs* que incorporen directa o indirectamente la región del RM (región 3) serán nulos. Las interdependencias directas entre Cataluña (región 1) y el RE (región 2) se mantienen intactas al igual que los efectos de arrastre inducidos de la primera sobre el resto de regiones¹, necesarios para el análisis del impacto de la demanda final catalana.

¹ Excepto aquellos efectos de arrastre sobre el RE causados de forma indirecta a través del RM.

5.2.2 Emisión de CO₂ total asociado a una región

Dado \mathbf{e}_r ($nx1$) como el vector de coeficientes de emisión de CO₂ por output de la región r , la descomposición de la producción sectorial total generada en cada región para satisfacer la demanda final de Cataluña, dada en (5.5), puede ahora expresarse en términos de emisión de CO₂ asociada a esta producción.

Esto permite distinguir los distintos efectos que explican la emisión asociada a la demanda final de cada sector catalán en relación con el resto de sectores de las distintas regiones consideradas. Por lo tanto, como ya se ha comentado, el análisis coincide con la perspectiva de estudio de los subsistemas, es decir, calibrando la importancia de un sector de acuerdo a su demanda final. Sin embargo, en este caso, al integrar el análisis multi-regional el impacto asociado a cada sector o subsistema traspasa las fronteras interiores de acuerdo al principio contable del consumidor.

5.2.2.1 *Descomposición de la emisión generada en Cataluña para su demanda final doméstica*

La emisión de CO₂ asociada a la demanda final doméstica de Cataluña generada por la producción interior viene dada por $\mathbf{e}_1 \mathbf{x}_{11}$. Atendiendo a la primera ecuación de (5.5), ésta puede descomponerse en distintos efectos explicativos. Con el objetivo de determinar la responsabilidad particular de cada sector en la magnitud total de cada efecto, se expresará la demanda final como una matriz diagonal \hat{y} . Esto es, obteniendo los resultados con sectores verticalmente integrados.

En este sentido, merece la pena hacer un paréntesis y señalar que aunque cada efecto presentado en los próximos puntos se expresará como un vector, la diagonalización del vector de emisiones directas (\mathbf{e}) permite desagregar también el peso de cada efecto por sector de origen sobre los cuales se produce el efecto de arrastre de cada sector catalán. En ciertos casos puede tener interés un análisis interregional en profundidad de un cierto sector en particular, de forma similar al estudio realizado en el Capítulo 3 pero extendido al ámbito interregional. Se trata, en definitiva, de un estudio a través de la descomposición intra- e interregional de un subsistema². De hecho, la metodología propuesta a continuación complementa el estudio llevado a cabo en el

² Ya se explicó detalladamente en el Capítulo 3 el concepto de subsistema.

Capítulo 3, considerando las relaciones comerciales existentes para una determinada actividad homogénea más allá de las fronteras de la propia economía doméstica.

Así, por ejemplo, al evaluar el impacto de los sectores de servicios, podrá observarse como los efectos propio (1) y de escala (1) tendrán un peso relevante. Nótese que este hecho responde a que la metodología descompone territorialmente el impacto sectorial y, por lo tanto, dentro de estos componentes se encuentran los distintos efectos inducidos internamente sobre el resto de la economía doméstica. No obstante, como se ha avanzado arriba, la diagonalización discrecional de \mathbf{e} ofrece la posibilidad de vislumbrar sobre qué sectores se produce este impacto.

En el Capítulo 4 se presentó un estudio de este tipo a través del análisis desagregado de la matriz de resultados interregional. En este sentido, el desarrollo metodológico que se plantea a continuación permite la desagregación de dicho análisis, que por otro lado también es aplicable a los multiplicadores netos que se desarrollaran en el próximo apartado. No obstante, no es objetivo de este trabajo llegar a tal nivel de profundización en el análisis empírico, pero sí evidenciar el interés de esta posibilidad para futuras investigaciones.

A continuación, se presentan los efectos explicativos que determinan el impacto intra- e interregional asociado a la demanda final de Cataluña:

Efecto Propio (1)³

Se corresponde con el impacto de la demanda final doméstica sobre la estructura productiva interna de la región. Viene dado por la expresión⁴:

$$EP = \mathbf{e}'_1 \mathbf{A}_{11} \mathbf{L}_{11} \hat{\mathbf{y}}_{11} \quad (5.6)$$

³ El número entre paréntesis indica las regiones y el orden en que entran en juego en cada efecto.

⁴ A partir de esta expresión pueden separarse los efectos directos de los indirectos sobre la producción interior. Siendo $\mathbf{e}'_1 \mathbf{A}_{11} \mathbf{L}_{11} \hat{\mathbf{y}}_{11} = \mathbf{e}'_1 \mathbf{A}_{11} [\mathbf{L}_{11} - \mathbf{I}] \hat{\mathbf{y}}_{11} + \mathbf{e}'_1 \mathbf{A}_{11} \hat{\mathbf{y}}_{11}$, el primer y segundo sumando indican el efecto indirecto y directo, respectivamente, sobre la producción interior. Aunque no se aplicará tal nivel de descomposición en este trabajo, puede ser de utilidad en el estudio de algunos sectores en particular, en el marco de un análisis más micro de la estructura productiva.

Efecto escala (1)

Indica la emisión interior directamente relacionada con la escala de la demanda final doméstica. Por lo tanto, los sectores con un importante efecto de este tipo son actividades cuya demanda final doméstica es determinante a la hora de explicar su volumen de emisión. Viene dado por la expresión:

$$EE = \mathbf{e}'_1 \hat{\mathbf{y}}_{11} \quad (5.7)$$

Efecto feed-back (1_2_1)

Expresa la contaminación asociada a la producción de inputs en Cataluña, utilizados por el conjunto de sectores del RE y que finalmente sirven para satisfacer la demanda final doméstica catalana. El valor de este efecto viene dado por el siguiente sumando:

$$EFB = \mathbf{e}'_1 [\mathbf{A}_{11} \mathbf{L}_{12} \hat{\mathbf{y}}_{21} + \mathbf{A}_{12} \mathbf{L}_{22} \hat{\mathbf{y}}_{21} + \mathbf{A}_{12} \mathbf{L}_{21} \hat{\mathbf{y}}_{11}] \quad (5.8)$$

donde los dos primeros valores hacen referencia a los efectos inducidos por la demanda final doméstica catalana (efecto *feed-back* DF), mientras que en el caso del tercero se corresponde con el efecto inducido por la demanda intermedia (efecto *feed-back* DI).

5.2.2.2 *Descomposición de la emisión generada en el RE para la demanda final doméstica de Cataluña*

Ahora, $\mathbf{e}_2 \mathbf{x}_{21}$ indica la emisión de CO₂ asociada a la producción interior del RE que tiene como destino la demanda final catalana. Por lo tanto se corresponde con un claro efecto *spillover* que, además, puede desagregarse a partir de la segunda ecuación de (5.5):

Efecto spillover de escala (2_1)

Indica la emisión inducida sobre el RE directamente relacionada con la escala de las importaciones que tienen como destino directo la demanda final catalana. Es decir, las emisiones directas incorporadas en estas importaciones. Se corresponde con la expresión:

$$\text{ESE} = \mathbf{e}'_2 \hat{\mathbf{y}}_{21} \quad (5.9)$$

Efecto spillover directo (2_1)

Expresa la cantidad de contaminación generada por la estructura productiva del RE para satisfacer la demanda final doméstica de Cataluña. Viene dado por:

$$\text{ESD} = \mathbf{e}'_2 [\mathbf{A}_{21} \mathbf{L}_{11} \hat{\mathbf{y}}_{11} + \mathbf{A}_{22} \mathbf{L}_{21} \hat{\mathbf{y}}_{11} + \mathbf{A}_{21} \mathbf{L}_{12} \hat{\mathbf{y}}_{21} + \mathbf{A}_{22} \mathbf{L}_{22} \hat{\mathbf{y}}_{21}] \quad (5.10)$$

Similarmente al razonamiento del ESD, este componente puede desagregarse en función de si el efecto está inducido por la demanda interna o por la demanda final. Los dos primeros sumandos de (5.10) hacen referencia al primer caso (efecto *spillover* directo DI) y los dos últimos al segundo (efecto *spillover* directo DF)⁵.

5.2.2.3 *Descomposición de la emisión generada en el RM para la demanda final doméstica de Cataluña*

Por último, la cantidad de CO₂ generada en el RM para la elaboración de la demanda final doméstica de Cataluña viene dado por $\mathbf{e}_3 \mathbf{x}_{31}$. Similarmente al caso anterior, este efecto es un claro *spillover* sobre el RM, no obstante, en este caso cabe distinguir entre los efectos directos entre ambas regiones y los que se producen indirectamente a través del RE. A continuación se presenta su descomposición:

Efecto spillover de escala (3_1)

Al igual que para el RE, este efecto expresa la emisión relacionada directamente con la escala de las importaciones procedentes del RM que tienen como destino directo la demanda final catalana. Este efecto viene dado por la expresión:

$$\text{ESE} = \mathbf{e}'_3 \hat{\mathbf{y}}_{31} \quad (5.11)$$

Efecto spillover directo (3_1)

Las emisiones generadas en el RM para satisfacer la demanda final doméstica catalana debido a las relaciones comerciales directas entre ambas regiones vienen dadas por:

⁵ Con la salvedad que en el tercer sumando hay implícito un efecto *feed-back* previo, aunque en su conjunto es un claro *spillover* inducido por la demanda final de Cataluña.

$$ESD = \mathbf{e}'_3 [\mathbf{A}_{31} \mathbf{L}_{11} \hat{\mathbf{y}}_{11} + \mathbf{A}_{33} \mathbf{L}_{31} \hat{\mathbf{y}}_{11} + \mathbf{A}_{33} \mathbf{L}_{33} \hat{\mathbf{y}}_{31}] \quad (5.12)$$

donde los dos primeros sumando hacen referencia los efectos inducidos por la demanda interna de Cataluña (efecto *spillover* directo DI) mientras que el tercer sumando se corresponde con la demanda final (efecto *spillover* directo DF). Nótese que si se compara este último con su homólogo sobre el RE, no aparece el *spillover* con *feedback* incorporado. La razón es la ausencia de los efectos *feed-backs* como consecuencia del supuesto adoptado de “economía pequeña”.

Efecto spillover indirecto (3_2_1)

Muestra la emisión inducida indirectamente por la demanda final de Cataluña sobre el RM debido al comercio intermedio con el RE. Este efecto viene dado por la suma de valores siguiente:

$$ESI = \mathbf{e}'_3 [\mathbf{A}_{31} \mathbf{L}_{12} \hat{\mathbf{y}}_{21} + \mathbf{A}_{32} \mathbf{L}_{21} \hat{\mathbf{y}}_{11} + \mathbf{A}_{32} \mathbf{L}_{22} \hat{\mathbf{y}}_{21} + \mathbf{A}_{33} \mathbf{L}_{32} \hat{\mathbf{y}}_{21}] \quad (5.13)$$

Aunque la consideración por separado de cada elemento puede ser relevante para el estudio particular de un sector o subsistema, en este trabajo se examinará de forma agregada.

5.2.3 Reinterpretación y descomposición interregional de los multiplicadores netos

En el marco metodológico del input-output, uno de los usos más frecuentes y fructuosos es el análisis del impacto en la economía como consecuencia de cambios en elementos exógenos. Este análisis de impactos deriva del estudio de los elementos de la inversa de Leontief a través de los llamados multiplicadores input-output tratados brevemente en el apartado 4.3.1.⁶ Es fácil advertir el potencial de esta técnica en los modelos input-output extendidos al medio ambiente para el estudio de los impactos sobre la naturaleza. Su uso permite de ilustrar la importancia de ciertos sectores en cuanto al impacto asociado a su demanda final.

Con el objetivo de calibrar la importancia de un sector en el conjunto de la economía, Oosterhaven y Stelder (2002) proponen un multiplicador neto que trata de

⁶ En Miller y Blair (2009) puede encontrarse un amplio repaso de los distintos tipos de multiplicados para diversas variables tanto a nivel uni-regional como multi-regional.

solucionar la doble contabilización que los autores atribuyen a los multiplicadores clásico o “brutos”⁷. Según los autores, los multiplicadores “brutos” sobrestiman la importancia de una industria (sector clave) en términos de la variable incorporada (trabajo, output, valor añadido, contaminación, etc).

A partir de la definición general de los multiplicadores en términos de emisiones, $\mathbf{e}'\mathbf{L}$, si quiere tenerse en cuenta la escala del sector debe multiplicarse por su demanda final, $\hat{\mathbf{e}}'\mathbf{L}\hat{\mathbf{y}}$. Donde la suma de los elementos de cada columna j indica la emisión total asignada al sector j . Para los autores citados, al multiplicar el vector de coeficientes de emisión por el total de la producción, $\hat{\mathbf{e}}'\mathbf{L}\mathbf{y} = \mathbf{e}'\mathbf{x}$, los resultados sobreestiman la importancia de cada sector debido a la doble contabilización de la parte endógena del modelo $\mathbf{Ax} = (\mathbf{x} - \mathbf{y})$ (Oosterhaven y Stelder, 2002). Para solucionar este sesgo los autores proponen un multiplicador “neto” definido como:

$$\hat{\mathbf{e}}'\mathbf{L}\hat{\mathbf{y}}\hat{\mathbf{e}}^{-1}\hat{\mathbf{x}}^{-1} = \hat{\mathbf{e}}'\mathbf{L}\hat{\mathbf{y}}\hat{\mathbf{c}}^{-1} \quad (5.14)$$

siendo \mathbf{c} el vector ($n \times 1$) de las emisiones directas generadas por cada sector. De esta manera, la importancia de cada industria sobre el resto de sectores queda calibrada de acuerdo a su impacto directo. Esta magnitud viene dada por la suma de los elementos de cada columna j de (5.14), tal que:

$$(\hat{\mathbf{e}}'\mathbf{L}\hat{\mathbf{y}}\hat{\mathbf{c}}^{-1})_j = \frac{\sum_{i=1}^n e_i l_{ij} y_j}{c_j} \quad (5.15)$$

Esto es, la emisión total, directa más indirecta, generada por todas las industrias para la demanda final del sector j dividida entre la emisión directa de j para todas las demandas finales sectoriales. Si $(\hat{\mathbf{e}}'\mathbf{L}\hat{\mathbf{y}}\hat{\mathbf{c}}^{-1})_j > 1$, puede interpretarse como que la demanda final del sector j induce a generar una cantidad mayor de emisión en otros sectores que la emisión que todos los otros sectores hacen emitir a j (Dietzenbacher, 2005). En consecuencia, puede decirse que el sector j es más importante para el resto de sectores que el resto de sectores para el sector j . En cambio, aquellos sectores con un multiplicador neto menor a la unidad serán más dependientes del resto de sectores que el resto de sectores de ellos.

⁷ A partir de esta formulación se generó una interesante discusión sobre los multiplicadores input-output (Oosterhaven y Stelder, 2002; De Mesnard, 2002; Dietzenbacher, 2005)

Esto es debido a que una característica de esta metodología es que la media ponderada de todos los multiplicadores netos sectoriales es igual a la unidad (Oosterhaven, 2004). Es decir, el multiplicador neto para cada sector se corresponde con la relación entre la emisión total, directa más indirecta, asociada a su demanda final y la generada directamente. En consecuencia, si se suma cada multiplicador sectorial por el peso que tiene cada sector en términos de emisión directa, el resultado es la unidad. Esta característica puede comprobarse postmultiplicando el vector fila resultante en (5.14) por el vector \mathbf{t} ($n \times 1$), cuyo elemento característico $t_i = \left\{ \frac{c_i}{c^T} \right\}$ indica el peso del sector i sobre la emisión total generada por la actividad económica, con $c^T = \mathbf{u}'\mathbf{c}$, siendo \mathbf{u} un vector unitario ($n \times 1$).

Considerando que el numerador de (5.15) hace referencia a la emisión total, directa e indirecta, generada por los sectores de una determinada región para la elaboración de la demanda final de un sector en esa región, es evidente que el ámbito de análisis está delimitado por el propio territorio de la región. Sin embargo, el análisis de impactos a través de los multiplicadores netos puede extenderse al marco multi-regional sin demasiados problemas. De esta manera, puede obtenerse un indicador que permita evaluar la importancia global de un sector respecto a su impacto directo local.

El proceso consiste en adaptar la técnica de los multiplicadores netos al principio contable del consumo, incorporando el impacto asociado a la demanda final de un sector que se sucede más allá de las propias fronteras de la región (Munksgaard y Pedersen, 2001). Además, la comparación con el análisis interior puede ofrecer interesantes resultados sobre qué sectores tienen un impacto exterior relativamente mayor. Nótese que el papel de cada sector en el balance en CO₂ incorporado será determinante en el resultado final del multiplicador neto global. Por ejemplo, sectores con elevados efectos de arrastre sobre la economía doméstica que destine gran parte de su output a la exportación verán reducido el valor del multiplicador neto global respecto al estándar.

Sirviéndose del trabajo realizado en el apartado anterior, el proceso de extensión es sencillo y permite una descomposición con un alto potencial explicativo. A partir del sistema de ecuaciones (5.5), si en cada una de ellas se considera la demanda final como una matriz diagonal $\hat{\mathbf{y}}$, es fácil comprobar que la producción regional resultante, $\tilde{\mathbf{x}}_{r1}$, es ahora una matriz cuyo elemento característico x_{r1}^{ij} indica la producción realizada por el sector i en r para la demanda final de j en la región 1. La suma de los elementos de la

columna i ; $\tilde{x}_{r1}^{(i)}$; expresa la producción total, directa e indirecta, de los distintos sectores de r para la obtención de la demanda final del sector i en la región 1. Consecuentemente, la emisión global (generada en todas las regiones) asociada a la demanda final de cada sector de Cataluña viene dada por:

$$\mathbf{f}_1 = \mathbf{e}'_1 \tilde{\mathbf{x}}_{11} + \mathbf{e}'_2 \tilde{\mathbf{x}}_{21} + \mathbf{e}'_3 \tilde{\mathbf{x}}_{31} \quad (5.16)$$

donde cada elemento del vector $\mathbf{f}_1 = \{f_1^j\}$ expresa la emisión global correspondiente al sector catalán j , es decir, el equivalente multi-regional, o de consumo, al numerador de (5.15). Por lo tanto, la emisión total de todos los sectores viene dada por $f_1^T = \sum_{j=1}^n f_1^j$. Nótese que mediante cada elemento del sumando de (5.16), dicha emisión queda desagregada en función de la región dónde se genera. Así, el multiplicador neto para cada sector catalán (μ_j) evalúa su importancia desde una perspectiva del consumo, esto es, considerando el impacto global

Este multiplicador neto global vendrá dado por:

$$\mu_j = \frac{f_1^j}{c_j} = \frac{\sum_{i=1}^n (e_1^{i'} x_{11}^{ij} + e_2^{i'} x_{21}^{ij} + e_3^{i'} x_{31}^{ij})}{c_j} \quad (5.17)$$

donde si su valor es mayor a la unidad indicará que la emisión global asociada a la demanda final de j es mayor que la emisión total generada por el mismo sector para todos los sectores localizados tanto dentro como fuera del territorio.

El proceso de extensión al ámbito multi-regional requiere una reinterpretación de los multiplicadores netos resultantes. En este contexto, la emisión total, directa e indirecta, asociada a la demanda final de todos los sectores (f_1^T) será muy probablemente distinta a la emitida directamente dentro del territorio (c^T). Consecuentemente, la media ponderada de los multiplicadores netos globales de todos los sectores no será igual a la unidad, sino que coincidirá con $\frac{f_1^T}{c^T}$, es decir, con el cociente entre la emisión asociada a la demanda final doméstica y la emisión directa. La propiedad expresada anteriormente quedaría ahora:

$$\mu_t = \frac{f_1^T}{c^T} \quad (5.18)$$

donde μ_t puede ser mayor, menor o igual a la unidad, en función de la diferencia entre la asignación de responsabilidad de acuerdo al principio del consumidor frente al del productor. Dada esta propiedad, si $\mu_j > \mu_t$ puede interpretarse ahora como que la demanda final del sector j contribuye a la responsabilidad del consumo de la región por encima de la media del conjunto de la economía doméstica. Será, en este sentido, un sector clave en términos de multiplicadores netos y tendrá un papel destacado en el estudio del impacto asociado a la demanda final de esa región (Oosterhaven, 2004)⁸.

En resumen, puede establecerse una clasificación de las distintas ramas productivas de acuerdo al valor del multiplicador neto global (μ_j). A partir de la situación de una economía como Cataluña, donde su responsabilidad bajo el principio del consumidor es mayor que bajo el del productor, es decir, $\mu_t > 1$, si

- $\mu_j > \mu_t > 1$ se considera que el sector j , además de tener un impacto asociado a su demanda final mayor al que genera para el resto de sectores de todos los territorios, lo hace por encima de la media de la economía doméstica de la que forma parte. Como se ha comentado arriba, este sector tendrá gran relevancia en la emisión total asociada al consumo doméstico.
- Con $\mu_t > \mu_j > 1$, a diferencia del caso anterior, el sector supone un impacto global, relativo a su impacto directo, por debajo de la media de la economía doméstica.
- Para $\mu_t > 1 > \mu_j$, la emisión del sector j se ve inducida más por la demanda final del resto de sectores, dentro y fuera del territorio, que lo que el propio sector j induce a todos estos sectores.

La expresión (5.17) ofrece una primera descomposición de acuerdo al origen de la producción consumida en Cataluña. No obstante, puede avanzarse más en este proceso de descomposición incorporando en esta expresión la desagregación planteada en este trabajo para la producción intra- e interregional. De este modo, se obtienen los multiplicadores netos desagregados en los efectos explicativos descritos anteriormente⁹. Así, dentro del impacto global evaluado para cada sector podrá advertirse sobre qué

⁸ Debe tenerse en cuenta que cuando se haga referencia a una actividad como sector clave se corresponde únicamente al concepto propuesto por este autor en el marco de los multiplicadores netos.

⁹ La metodología permite la valoración de múltiples opciones de ratios de acuerdo a cada objetivo de estudio. Por ejemplo, podría evaluarse la importancia de un sector respecto al exterior comparando las emisiones asociadas a su demanda de importaciones respecto a la emisión incorporada en sus exportaciones.

región, sector y en qué forma se generan estas interdependencias que determinan su responsabilidad.

Por ejemplo, la descomposición de la parte del multiplicador neto correspondiente a la emisión asociada a la producción interior de Cataluña, requerida para satisfacer la demanda final doméstica de sector j catalán, es:

$$\frac{\sum_{i=1}^n (e_1^{i'} a_{11}^{ij} l_{11}^{ij} y_{11}^j) + e_1^{j'} y_{11}^j + \sum_{i=1}^n (e_1^{i'} [a_{11}^{ij} l_{12}^{ij} y_{21}^j + a_{12}^{ij} l_{22}^{ij} y_{21}^j + a_{12}^{ij} l_{21}^{ij} y_{11}^j])}{c_j} \quad (5.19)$$

Similarmente para el resto de efectos correspondientes a la producción de cada región. En definitiva, se trata de calibrar para cada sector su efecto explicativo con la emisión directa generada en su proceso productivo. El desarrollo metodológico propuesto aquí ofrece una descomposición y reinterpretación de los multiplicadores netos interregionales complementaria a la desarrollada por la literatura citada durante este capítulo.

5.3 Análisis empírico

En el análisis empírico se ha utilizado el modelo MRIO desarrollado en la sección anterior para el estudio de los distintos efectos que explican detalladamente los impactos sectoriales intra- e interregionales y que permiten, a su vez, una descomposición alternativa de los llamados “multiplicadores netos” reinterpretados bajo la óptica del consumidor. Recuérdese que, con el objetivo de simplificar el proceso eficientemente, se ha aplicado el supuesto de “economía pequeña”, lo que supone que el impacto sectorial asociado a la demanda final catalana varíe muy ligeramente de los resultados obtenidos en el capítulo anterior. En todo caso, se hará visible esta leve diferencia más adelante.

Nuevamente los resultados se limitarán a las emisiones de CO₂ y un nivel de desagregación de 42 ramas productivas, aunque los resultados se presentarán agregados en 18 sectores de acuerdo con la clasificación seguida en los capítulos precedentes.

5.3.1 Descomposición del impacto sectorial asociado a la demanda final de Cataluña

En la Tabla.5.A.1 se presenta el impacto en CO₂ asociado a la demanda final catalana desagregado en distintos efectos explicativos para cada sector y región donde se genera la emisión. Como se ha puesto de manifiesto en el capítulo anterior, gran parte de la emisión generada para satisfacer la demanda final de Cataluña se genera en el exterior, concretamente, un 36,6% en el RE y un 35,5% en el RM.

Sin embargo, la metodología desarrollada aquí permite profundizar en el conocimiento de los determinantes de este impacto de acuerdo a las relaciones interregionales existentes. La Tabla 5.A.2 muestra los valores porcentuales de la Tabla 5.A.1 para cada sector. Los sectores con un mayor peso en la emisión generada en el interior de Cataluña son los sectores 16 “Transporte” y 18 “Sector público y otros servicios sociales”, con un 51,7% y 44,1% respectivamente. En ambos, el impacto se concentra en los efectos propio y de escala. Especialmente este último efecto es relevante en el sector 16 debido a la importante emisión directa de esta actividad, como también ocurre con el sector 7 “Otras industrias no metálicas”. Son sectores cuya demanda final se muestra clave en la explicación del volumen de su impacto.

Estos dos sectores pueden considerarse como una excepción, puesto el impacto de la gran mayoría viene explicado por la emisión generada en el exterior asociada a su demanda final. Es el caso del sector 1 “Agricultura, ganadería y pesca”, el sector 13 “Producción y distribución de energía”, el sector 14 “Construcción” y el resto de sectores de las ramas de servicios no mencionados en el párrafo anterior. Para este grupo de actividades, su impacto se concentra en los efectos de arrastre de la economía del RE, poniendo de manifiesto el alto nivel de interrelaciones existentes en este sentido.

Sin embargo, los efectos explicativos de este hecho varían significativamente en función de las características de cada actividad. En los sectores 1 y 13, el peso se concentra en el efecto *spillover* de escala, como consecuencia del peso de las importaciones que tienen como destino directo la demanda final catalana. Son productos producidos en el RE por sectores con una bajo poder de arrastre de otras ramas y para los que su impacto viene determinado por su emisión directa. El caso del sector 13 es

paradigmático por la importancia de las importaciones de energía eléctrica procedentes del RE.

En cambio, en el resto de sectores pertinentes destaca casi con total exclusividad el efecto *spillover* directo de demanda intermedia. Este hecho se corresponde con la importancia de los inputs procedentes del RE en la estructura productiva de estas actividades. La lógica de las relaciones de estos sectores con el resto de la economía hace plausible el valor de estos resultados a nivel interregional (Alcántara y Padilla, 2009). Sin embargo, para otros sectores como el 3 “Industria de alimentación, bebidas y tabaco”, los efectos de arrastre sobre el RE vienen explicados por la emisión inducida sobre su estructura productiva a través de las importaciones para la demanda final catalana, visualizado en el efecto *spillover* de demanda final.

En un tercer grupo se encuentran aquellos sectores cuyo impacto viene explicado por los efectos inducidos sobre el RM, poniendo de manifiesto la relevancia de sus interrelaciones con el exterior. El grupo está formado por la totalidad de ramas pertenecientes a la industria para los que la importación de inputs del RM es muy relevante. De hecho, son los sectores con un mayor grado de apertura exterior. Además, el bajo grado de industrialización del RE reduce las posibilidades de comercio intermedio industrial. En definitiva, esto es resultado del proceso de reorientación comercial del sector industrial catalán desde finales del siglo XX, un proceso que ha hecho ir ganando peso al comercio con el exterior frente al RE.

Aunque los resultados obtenidos deben evaluarse con cautela debido a la adopción del supuesto de misma tecnología e intensidad de emisión para las importaciones del RM, pueden señalarse algunos datos interesantes. En general, se vislumbra una cierta concentración entre los distintos efectos de acuerdo a la lógica de las relaciones de cada sector con el resto de la economía. Por ejemplo, los sectores 10 “Industria eléctrica, electrónica y maquinaria” y 11 “Industria del transporte”, con un alto grado de ventas destinadas a la demanda final, concentran su impacto en el efecto *spillover* directo de demanda final. Contrariamente, la emisión inducida sobre el RM de, por ejemplo, los sectores 8 “Metalúrgica” y 9 “Productos metálicos”, con un gran peso en las relaciones comerciales de inputs intermedios, viene explicada en mayor grado por el efecto *spillover* directo de demanda intermedia.

En otro sentido, vale la pena destacar el mismo sector 9, junto con los sectores 2 “Minería, coquerías, refinado y combustibles nucleares” y 6 “Industria química”, por el elevado peso del efecto *spillover* indirecto como determinante de su efecto de arrastre sobre el RM. Es interesante comprobar como gran parte del impacto de la demanda final de estos sectores inducido sobre el exterior se produce debido al comercio intermedio con el RE. Resultados que difícilmente podemos obtener a este nivel de detalle y rigurosidad fuera de los modelos MRIO.

La Tabla 5.A.3 indica el peso porcentual de cada efecto por sector sobre la emisión total de CO₂ asociada a la demanda final. De esta manera la última fila muestra el impacto sectorial bajo el principio del consumidor de acuerdo al análisis MRIO con el supuesto de “economía pequeña”. Como se avanzó al inicio de esta sección, puede advertirse como las diferencias entre el uso o no de este supuesto son muy poco significativas para el estudio concreto de los determinantes del impacto de Cataluña (comparar Tabla 5.A.1 con Tabla 4.4 del Capítulo 4)¹⁰. Esto refuerza la adopción de este supuesto para los análisis que evalúan el impacto de una región bajo la óptica del consumo. Sin embargo, ya se explicaron las desventajas del mismo para el estudio del balance entre regiones.

Esta tabla presenta interesantes resultados en relación a qué sectores y, sobre todo, de acuerdo a qué efectos, viene explicado el impacto global en CO₂ de la demanda final catalana. De hecho, muestra un escenario de resultados útil para orientar análisis que tengan como objetivo profundizar en el estudio de las relaciones sectoriales intra- e interregionales que explican el impacto en CO₂ de la actividad económica catalana. Los dos efectos más relevantes están asociados al sector de la construcción, concretamente al efecto propio interno, por un lado, que con un 6,26% muestra la significativa incidencia sobre la estructura productiva doméstica. Y, por otro lado, con un porcentaje aún mayor, -8,14%-, al efecto *spillover* de demanda intermedia sobre el RE.

Tal y como indica la Tabla 5.A.4, este último efecto es el más importante en la clasificación por efectos explicativos del impacto total, seguido del efecto propio y el *spillover* directo de demanda intermedia con el RM. En todos ellos, la mayor parte del impacto recae en la actividad de la construcción y las ramas de servicios, excepto el

¹⁰ La comparación de ambas tablas refleja una variación irrelevante entre el impacto asociado a la demanda final catalana y su distribución por región y sector.

transporte. Algo totalmente razonable puesto que es en estos sectores donde se concentra aproximadamente la mitad de la responsabilidad total de la actividad económica de Cataluña. En este punto, puede calibrarse la importancia del efecto *spillover* directo de demanda intermedia de la actividad de la construcción. Dado que este sector representa un 18,64% del impacto total y el peso de este efecto sobre este sector supone el 43,7%; puede afirmarse que un 8,1% de la emisión de CO₂ asociada a la demanda final catalana viene explicada por el efecto *spillover* directo de demanda intermedia de la actividad de la construcción inducido sobre el RE.

Antes de pasar al trabajo empírico realizado sobre los multiplicadores, es interesante dejar una breve evidencia del interés que puede tener profundizar algo más en el análisis interregional del impacto sectorial de Cataluña. Como se ha comentado en la metodología, la expresión en forma diagonal del vector de emisiones directas ofrece la posibilidad de desagregar los resultados verticalmente integrados como un subsistema. Así, se da a conocer sobre qué sectores y en qué región se producen los efectos de arrastre del sector o grupo de actividades que se desea estudiar.

En la Tabla 5.A.5 se presenta una aplicación para el sector 6 “Industria química” en la que se desagrega sectorialmente cada efecto explicativo regional. Los resultados muestran que la estructura de los efectos de arrastre sectorial sigue un patrón parecido en todas las regiones, determinado por el mix de inputs utilizados en su proceso productivo. Sin embargo, existen diferencias relevantes en cuanto a la proporción sectorial en cada región en función de distintas variables plausibles con las características de cada economía y las relaciones comerciales existentes¹¹. De acuerdo con la línea argumental expuesta en el análisis del capítulo anterior, puede comprobarse como, en general, la incidencia de los efectos sobre el sector 2 “Minería, coquerías, refino y combustibles nucleares” es mucho mayor en el RM, mientras que en el RE destaca el sector 13 “Producción y distribución de energía”. En cambio, el sector 16 “Transporte” destaca sobre todo a escala doméstica.

A nivel de efectos explicativos, aunque hay varios resultados interesantes, nos limitaremos a resaltar la importancia del sector 2 en el efecto *spillover* indirecto sobre el RM. Este dato pone de manifiesto la importancia de las emisiones generadas en el RM

¹¹ Es evidente que un análisis con más regiones y un mayor nivel de desagregación ofrecería una gran cantidad de información válida para estudio microeconómicos.

incorporadas en las importaciones que este sector realiza procedentes del RE. Lógicamente, la economía del RE carece de los recursos naturales que requiere la actividad de este sector, no obstante, sí adquiere recursos extraídos en el exterior y los provee, en ocasiones previa transformación, a Cataluña.

5.3.2 Análisis de los multiplicadores netos para Cataluña

A continuación se ilustra el trabajo empírico referente a los multiplicadores netos desarrollados bajo el principio del consumidor. En general, el análisis explicativo de los resultados de los multiplicadores está directamente relacionado con la explicación realizada en el apartado anterior.

La primera y segunda columna de la Tabla 5.1 muestran los multiplicadores netos estándar y globales, respectivamente, estimados para la economía catalana. Entre ambos se vislumbran importantes diferencias en función del papel jugado por cada uno con el exterior. Los sectores para los que la emisión incorporada en sus exportaciones es relativamente más importante a la emisión inducida en el exterior reflejan un multiplicador neto global menor al estándar. Es el caso, por ejemplo, de algunas industrias con alta propensión exportadora como la química.

Tabla 5.1. Comparación multiplicadores de CO₂ netos estándar y bajo la perspectiva del consumo

<i>Sectores productivos</i>	Multiplicador neto estándar	Multiplicador neto global	Diferencia
1- Agricultura, ganadería y pesca	0,47	1,17	-0,7
2- Minería, coquerías, refino y combustibles nucleares	0,46	10,16	-9,7
3-Industria de alimentación, bebidas y tabaco	2,26	3,22	-1,0
4- Industria textil, peletería y cuero	1,98	1,94	0,0
5- Industria del papel, madera y artes gráficas	1,03	0,11	0,9
6-Industria química	1,03	0,54	0,5
7-Otras industrias no metálicas	0,51	0,04	0,5
8-Metalurgia	0,54	0,01	0,5
9-Productos metálicos	2,77	2,48	0,3
10- Industria eléctrica, electrónica y maquinaria	4,11	6,06	-1,9
11-Industria del transporte	3,42	4,73	-1,3
12-Otras industrias	1,32	1,96	-0,6
13-Producción y distribución de energía	0,41	0,67	-0,3
14-Construcción	14,46	29,36	-14,9
15-Hostelería	18,94	56,62	-37,7
16-Transporte	0,64	0,38	0,3
17- Servicios empresariales	6,28	10,17	-3,9
18- Sector público y otros servicios sociales	1,87	3,58	-1,7
Media ponderada total	1,00	1,21	

Este hecho pone de manifiesto la mayor responsabilidad de estas actividades bajo el enfoque del productor respecto al del consumidor. En cambio, actividades como la construcción y la hostelería, con un multiplicador neto global muy superior al estándar, contribuyen en gran medida a la responsabilidad global de la región, como demuestra la enorme distancia con el valor medio ponderado de todos los sectores (μt). Este valor asciende a 1,21; lo que significa que el impacto en CO₂ asociado a la demanda final total de Cataluña es notablemente superior a la emisión directa generada por la actividad económica doméstica. Este valor difiere de su homólogo estándar que por definición es igual a la unidad ya que evalúa la importancia de cada sector bajo la óptica del productor y, por lo tanto, la suma de la emisión total sectorial será igual a la suma de la emisión directa de todos los sectores.

El valor μt establece una norma para la clasificación sectorial de acuerdo a la contribución al impacto total por parte de la demanda final de cada actividad. En este sentido, en función del valor que adquiera μ_j pueden darse tres situaciones distintas que determinaran el papel de cada sector. Esta clasificación muestra importantes distinciones respecto a la realizada con los multiplicadores netos estándar. Puede observarse en la Tabla 5.1 como actividades no consideradas como clave, al estar por debajo de 1, adquieren bajo el análisis de los multiplicadores netos globales una relevancia sustancial. Es el caso, por ejemplo, del sector 2 “Minería, coquerías, refino y combustibles nucleares” que ve aumentado considerablemente el valor de su multiplicador. En relación a lo señalado más arriba para la química, este suceso ocurre también en el sentido inverso.

Como se ha explicado en el desarrollo metodológico, aquellos sectores cuyo μ_j esté por encima de la unidad, deberán considerarse como actividades que tienen una emisión global asociada a su demanda final superior a su emisión directa doméstica. Si además este valor supera la norma μt , estaremos frente a un sector clave en cuanto a la su contribución a la responsabilidad de la región bajo el enfoque del consumo. Son actividades con importantes efectos de arrastre sobre el resto de sectores, tanto domésticos como extranjeros. La concretización de sobre qué sectores y dónde se produce dicho arrastre viene dada por la descomposición desarrollada en la metodología.

La Tabla 5.A.6 muestra esta propuesta de descomposición por efectos explicativos para los multiplicadores netos globales. Lógicamente, como ya se ha avanzado arriba, la importancia de cada efecto explicativo sobre cada multiplicador está directamente relacionado con el peso que estos mismos efectos tienen sobre el impacto total sectorial de la demanda final catalana (Tabla 5.A.2). En consecuencia, sírvase de la explicación realizada en el apartado anterior para el análisis empírico de esta parte en concreto.

En las últimas filas de la Tabla 5.A.6 se clasifican los distintos sectores de acuerdo al valor de μ_j . La mayoría de sectores se sitúan en la primera fila, es decir, entre las actividades clave que contribuyen al impacto total de la región por encima de la media de todos los sectores. Por lo tanto, su consideración y estudio se hace imprescindible en el análisis de la responsabilidad global asociada a la región. En este grupo destacan muy significativamente las actividades de la hostelería y la construcción con multiplicadores de 56,62 y 29,36 respectivamente. Son los sectores con un mayor impacto global respecto a su emisión directa doméstica, siendo sobre la economía del RE dónde su incidencia es mayor para ambos. El valor del multiplicador neto estándar de cada uno ya era muy superior al resto de sectores (Tabla 5.1), pero esta distancia se ha visto muy abultada con el paso a los multiplicadores netos globales. La razón principal son los elevados efectos de arrastre más allá de las fronteras de Cataluña, ya sea por las importaciones de inputs con alta intensidad de emisión, como el cemento en el caso de la construcción, o consumo intermedios de energía eléctrica por parte de la hostelería, tal y como se puso de manifiesto en el capítulo anterior.

Los sectores que se sitúan en la última fila reflejan una importancia sustancial de su actividad en la emisión directa de CO₂ respecto a la emisión asociada a su demanda final. De hecho, la generación de CO₂ de estas actividades para el resto de sectores, domésticos y exteriores, es más importante que la generada globalmente para la elaboración de su demanda final doméstica. Como se ha comentado arriba, la presencia en este grupo de algunas industrias con una alta propensión exportadora, como la química o la industria del papel, es plausible con su mayor responsabilidad bajo el principio del productor que del consumidor. Y, consecuentemente, no es su demanda final una variable clave en el análisis del impacto de Cataluña, si no sus características de proveedores de inputs a otros sectores. Cuando se trata de emisiones de CO₂, siempre es necesario destacar el sector 13 “Producción y distribución de energía”. Éste muestra

un multiplicador neto global de 0,67; superior al valor estándar, debido a las importaciones de energía procedentes del RE y que incorporan una mayor intensidad de emisión. Sin embargo, su papel de suministrador de inputs al resto de sectores hace que su alta emisión directa sea aún mayor a la asociada a su demanda final y, por lo tanto, el valor del multiplicador inferior a la unidad.

Es evidente la utilidad de este planteamiento metodológico para la clasificación y detección de aquellos sectores de acuerdo a su relevancia en cuanto al impacto global de su demanda final. El único sector que se encuentra entre el valor medio ponderado de todos los multiplicadores sectoriales y la unidad es el sector 1 “Agricultura, ganadería y pesca”. Por lo tanto, es un sector que aunque la emisión asociada a su demanda final es mayor a la emisión directa, su papel no es determinante en la responsabilidad global de Cataluña, puesto que su impacto total en relación al directo está por debajo del que tiene el valor medio de la economía doméstica.

5.4 Conclusiones

En este capítulo se ha profundizado en el ámbito interregional del estudio del impacto en emisiones de CO₂ asociado a Cataluña desde la perspectiva del consumidor. Para este objetivo, se ha llevado a cabo un proceso de descomposición de la producción en el marco de un modelo Multi-Región Input-Output (MRIO). Este planteamiento metodológico ha sido utilizado para la descomposición y reinterpretación, de acuerdo al enfoque del consumo, de los multiplicadores netos de Oosterhaven.

El trabajo de descomposición realizado demuestra ser muy fructuoso en el estudio del impacto global de una economía. La metodología permite desagregar en distintos efectos explicativos, intra- e interregionales, el impacto sectorial asociado a la demanda final doméstica generado más allá de sus propias fronteras. Esto permite disponer de una valiosa información potencialmente muy útil en la orientación de políticas ambientales que tengan como objetivo regular y mitigar los volúmenes de emisión de gases contaminantes a escala global. Sin olvidar la posibilidad de ampliar la estructura analítica desarrollada a una gran cantidad de tipología de estudio de impactos

medioambientales, así como a la utilización de recursos naturales y primarios o a la generación de valor añadido.

El análisis empírico expuesto sobre los multiplicadores netos globales, acredita su utilidad para clasificar las distintas ramas productivas en función de su relevancia en el impacto de una región bajo la perspectiva del consumo. Además, la descomposición que se propone para dichos multiplicadores permite identificar sobre qué sectores y en qué regiones se produce la incidencia que determina su impacto. Esta propuesta se presenta como complementaria al análisis estándar de los multiplicadores netos, puesto que calibra la importancia de un sector de acuerdo a su responsabilidad global en relación con su responsabilidad directa y local. Es decir, evaluando la incidencia global asociada al mismo mientras que los valores estándar tienen en cuenta únicamente la responsabilidad total dentro del territorio. La diferencia estriba en estimar su valor bajo la perspectiva del consumo o la del productor, con toda la discusión que este asunto conlleva y que ya se explicó en el Capítulo 4.

En general, para ambos trabajos empíricos, los resultados indican un elevado nivel de interdependencia de Cataluña con el RE y el RM que ya demostraba el análisis multi-regional input-output del capítulo anterior. No obstante, el trabajo metodológico desarrollado aquí descubre los entresijos que explican estas interrelaciones a distintos niveles. Nuevamente, el análisis empírico se ha centrado en las emisiones de CO₂.

La importancia de estas asociaciones interregionales se ponen de manifiesto en el elevado valor que alcanzan, en la gran mayoría de los sectores, la tipología de los efectos explicativos estimados que las expresan. Los resultados muestran como aquellos sectores que contribuyen en mayor medida al impacto sobre el RE, su incidencia viene explicada, principalmente, por el efecto *spillover* directo de demanda intermedia. Es decir, como consecuencia del peso que tienen las importaciones de inputs procedentes del RE en su estructura productiva. Un ejemplo característico es el sector 14 “Construcción”. De hecho, el peso de este efecto en este sector explica por sí solo el 8,1% de la responsabilidad total catalana bajo la perspectiva del consumo. En definitiva, esta situación refleja la necesidad de incorporar el análisis interregional en el estudio de la responsabilidad asociada a la demanda final de un sector. La propuesta metodológica desarrollada aquí profundiza de lleno en esta problemática.

En cuanto a los resultados obtenidos sobre los multiplicadores estimados, las actividades de la construcción, la hostelería, los servicios empresariales y la minería y refino de petróleo, se sitúan como los sectores que, en relación a su emisión directa, contribuyen en mayor medida en la responsabilidad global de la demanda final catalana. Es interesante observar como varía, en función del CO₂ incorporado en las relaciones comerciales interregionales de un sector, la diferencia entre su multiplicador neto estándar y el global y, por lo tanto, su relevancia en la responsabilidad de la región. Esto se hace evidente en estos mismos sectores, para los que se produce un enorme incremento de un multiplicador a otro como consecuencia de los importantes efectos sobre arrastre de otras regiones.

La aplicación de la integración vertical o subsistemas tanto para el estudio de los multiplicadores netos como para el trabajo de descomposición de la producción, ambos con importantes interrelaciones analíticas, permite profundizar en los determinantes interregionales de los impactos asociados a la demanda final de una actividad. Una prueba de esto se ha ofrecido a través de una aplicación al sector de la química, para el que se vislumbra sobre qué sectores se concentra la incidencia de cada efecto explicativo. Este planteamiento ofrece una extensión interregional de la descomposición de un subsistema propuesta en el Capítulo 3, permitiendo ampliar el conocimiento de las relaciones existentes entre una actividad y el resto de sectores tanto domésticos como de otras regiones.

5.5 Bibliografía

- Alcántara, V. y Padilla, E. (2009). “Input–output subsystems and pollution: An application to the service sector and CO₂ emissions in Spain”. *Ecological Economics*, 68(3), pp.905–914.
- Dietzenbacher, E. (2002). “Interregional Multipliers: Looking Backward, Looking Forward”. *Regional Studies*, 36(2), pp.125–136.
- Dietzenbacher, E. (2005). “More on multipliers*”. *Journal of Regional Science*, 45(2), pp.421–426.
- Lenzen, M.; Pade, L.-L.; Munksgaard, J. (2004) “CO₂ Multipliers in Multi-region Input-Output Models”. *Economic Systems Research*, 16(4), pp.391–412.
- De Mesnard, L. (2002). “Note About the Concept of «Net Multipliers»”. *Journal of Regional Science*, 42(3), pp.545–548.
- Miller, R.E. y Blair, P.D. (2009). *Input-Output Analysis: Foundations and Extensions*. 2.a ed. Cambridge University Press.
- Munksgaard, J. y Pedersen, K.A. (2001). “CO₂ accounts for open economies: producer or consumer responsibility?”. *Energy Policy*, 29(4), pp.327–334.
- Nansai, K.; Kagawa, S.; Kondo, Y.; Suh, S.; Inaba, R.; Nakajima, K. (2009). “Improving the completeness of product carbon footprints using a global link input-output model: the case of Japan”. *Economic Systems Research*, 21(3), pp.267–290.
- Oosterhaven, J. (2004). “On the definition of key sectors and the stability of net versus gross multipliers”. Research Report 04C01, Research School SOM, University of Groningen. Available at: <http://som.rug.nl>.
- Oosterhaven, J. y Stelder, D. (2002).” Net Multipliers Avoid Exaggerating Impacts: With A Bi–Regional Illustration for the Dutch Transportation Sector”. *Journal of Regional Science*, 42(3), pp.533–543.
- Peters, G. y Hertwich, E. (2006). “Pollution embodied in trade: The Norwegian case”. *Global Environmental Change*, 16(4), pp.379–387.
- Peters, G. y Hertwich, E. (2009). *The Application of Multi-Regional Input–Output Analysis To Industrial Ecology: Evaluating Trans-Boundary Environmental Impacts*. En Suh (ed), *Handbook of Input–Output Economics in Industrial Ecology*. Dordrecht: The Netherlands, Springer, 847.

- Round, J. (1985). "Decomposing Multipliers for Economic Systems Involving Regional and World Trade". *Economic Journal*, 95(378), pp.383–99.
- Round, J. (2001) *Feedback Effects in Interregional Input-Output Models: What Have We Learned?*. En *Input-Output Analysis: Frontiers and Extensions*. En Michael L. Lahr and Erik Dietzenbacher, eds., pp. 54-70, Palgrave, 2001.
- Sonis, M. y Hewings, G.J.D. (1998). "Economic complexity as network complication: Multiregional input-output structural path analysis". *The Annals of Regional Science*, 32(3), pp.407–436.
- Sonis, M. y Hewings, G.J.D. (1993). "Hierarchies of Regional Sub-Structures and Their Multipliers within Input-output Systems Miyazawa Revisited". *Hitotsubashi Journal of Economics*, 34(1), pp.33–44.
- Sonis, M.; Oosterhaven, J.; Hewings, G.J.D. (1993). "Spatial Economic Structure and Structural Changes in the EC: Feedback Loop Input–Output Analysis". *Economic Systems Research*, 5(2), pp.173–184.

Apéndice

5.A. Tablas del análisis empírico

Tabla 5.A.1. Descomposición de la emisión asociada a la demanda final de Cataluña (kt de CO₂)

Efectos	Sectores																		Total efecto
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
EP	32,1	22,1	239,6	15,8	21,8	47,2	31,9	0,5	20,4	39,5	26,0	42,2	260,6	2914,6	1227,4	362,0	1479,6	1099,7	7883,1
EE	87,3	388,0	170,2	8,3	21,5	138,0	128,9	0,6	11,5	16,8	14,8	12,2	937,3	183,0	75,0	1210,3	209,6	1213,2	4826,5
EFB DI	0,6	0,2	6,0	0,5	0,7	1,4	0,2	0,0	0,8	1,2	0,7	0,9	1,6	55,4	27,0	4,0	25,7	20,3	147,3
EFB DF	9,9	6,7	65,7	9,6	5,5	12,7	1,4	0,0	6,1	14,7	13,4	6,8	9,0	0,0	0,0	1,5	1,2	1,3	165,5
Subtotal 1_1	130,0	417,0	481,5	34,2	49,6	199,3	162,4	1,0	38,8	72,2	54,9	62,1	1208,5	3153,0	1329,5	1577,9	1716,1	2334,5	13022,5
ESE	299,3	640,8	237,5	33,4	20,8	189,4	44,0	0,0	3,6	15,7	38,5	7,8	1674,7	0,0	0,0	148,3	2,8	5,1	3361,9
ESD DI	32,4	24,5	358,9	26,4	36,7	83,3	18,1	0,6	54,3	68,7	39,1	56,6	267,6	3790,3	1801,9	359,6	1849,0	1586,7	10454,8
ESD DF	161,8	108,7	1149,9	131,4	91,4	257,6	22,5	0,0	135,7	268,9	247,7	104,8	467,0	0,0	0,0	24,0	23,9	24,2	3219,6
Subtotal 2_1	493,5	774,1	1746,2	191,2	149,0	530,3	84,7	0,7	193,6	353,3	325,3	169,3	2409,3	3790,3	1801,9	531,9	1875,8	1616,0	17036,3
ESE	166,3	20,5	154,1	100,9	23,7	280,2	102,2	0,0	1,9	86,5	157,4	14,0	0,0	0,0	0,0	431,2	1,1	4,1	1544,0
ESD DI	45,8	295,6	423,3	41,9	59,7	161,8	21,5	1,2	120,4	119,8	118,1	78,1	347,6	1306,9	1070,9	257,4	1060,9	1063,8	6594,7
ESD DF	110,3	21,5	797,0	325,6	80,4	361,6	59,5	0,0	65,4	990,6	1006,7	183,5	0,0	0,0	0,0	138,2	30,6	14,8	4185,9
ESI	84,9	794,7	521,4	86,0	54,1	350,5	13,3	0,1	98,7	212,2	251,5	83,9	275,8	428,8	244,0	118,0	309,1	261,4	4188,3
Subtotal 3_1	407,3	1132,4	1895,9	554,4	217,8	1154,0	196,6	1,3	286,4	1409,1	1533,6	359,6	623,5	1735,7	1314,8	945,0	1401,7	1344,1	16513,0
Total sector	1030,8	2323,5	4123,6	779,8	416,4	1883,6	443,7	3,0	518,8	1834,5	1913,8	590,9	4241,3	8678,9	4446,2	3054,7	4993,5	5294,5	46571,7

Tabla 5.A.2. Peso porcentual de cada efecto sobre el impacto de cada sector

Efectos	Sectores																		Total efecto
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
EP	3,1%	1,0%	5,8%	2,0%	5,2%	2,5%	7,2%	15,6%	3,9%	2,2%	1,4%	7,1%	6,1%	33,6%	27,6%	11,9%	29,6%	20,8%	16,9%
EE	8,5%	16,7%	4,1%	1,1%	5,2%	7,3%	29,0%	18,8%	2,2%	0,9%	0,8%	2,1%	22,1%	2,1%	1,7%	39,6%	4,2%	22,9%	10,4%
EFB DI	0,1%	0,0%	0,1%	0,1%	0,2%	0,1%	0,1%	0,2%	0,1%	0,1%	0,0%	0,2%	0,0%	0,6%	0,6%	0,1%	0,5%	0,4%	0,3%
EFB DF	1,0%	0,3%	1,6%	1,2%	1,3%	0,7%	0,3%	0,1%	1,2%	0,8%	0,7%	1,2%	0,2%	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%	0,4%
Subtotal 1_1	12,6%	17,9%	11,7%	4,4%	11,9%	10,6%	36,6%	34,7%	7,5%	3,9%	2,9%	10,5%	28,5%	36,3%	29,9%	51,7%	34,4%	44,1%	28,0%
ESE	29,0%	27,6%	5,8%	4,3%	5,0%	10,1%	9,9%	1,6%	0,7%	0,9%	2,0%	1,3%	39,5%	0,0%	0,0%	4,9%	0,1%	0,1%	7,2%
ESD DI	3,1%	1,1%	8,7%	3,4%	8,8%	4,4%	4,1%	20,3%	10,5%	3,7%	2,0%	9,6%	6,3%	43,7%	40,5%	11,8%	37,0%	30,0%	22,4%
ESD DF	15,7%	4,7%	27,9%	16,8%	22,0%	13,7%	5,1%	1,0%	26,1%	14,7%	12,9%	17,7%	11,0%	0,0%	0,0%	0,8%	0,5%	0,5%	6,9%
Subtotal 2_1	47,9%	33,3%	42,3%	24,5%	35,8%	28,2%	19,1%	22,9%	37,3%	19,3%	17,0%	28,6%	56,8%	43,7%	40,5%	17,4%	37,6%	30,5%	36,6%
ESE	16,1%	0,9%	3,7%	12,9%	5,7%	14,9%	23,0%	0,5%	0,4%	4,7%	8,2%	2,4%	0,0%	0,0%	0,0%	14,1%	0,0%	0,1%	3,3%
ESD DI	4,4%	12,7%	10,3%	5,4%	14,3%	8,6%	4,9%	38,3%	23,2%	6,5%	6,2%	13,2%	8,2%	15,1%	24,1%	8,4%	21,2%	20,1%	14,2%
ESD DF	10,7%	0,9%	19,3%	41,8%	19,3%	19,2%	13,4%	0,4%	12,6%	54,0%	52,6%	31,1%	0,0%	0,0%	0,0%	4,5%	0,6%	0,3%	9,0%
ESI	8,2%	34,2%	12,6%	11,0%	13,0%	18,6%	3,0%	3,2%	19,0%	11,6%	13,1%	14,2%	6,5%	4,9%	5,5%	3,9%	6,2%	4,9%	9,0%
Subtotal 3_1	39,5%	48,7%	46,0%	71,1%	52,3%	61,3%	44,3%	42,4%	55,2%	76,8%	80,1%	60,9%	14,7%	20,0%	29,6%	30,9%	28,1%	25,4%	35,5%
Total sector	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Tabla 5.A.3. Peso porcentual por efecto y sector sobre la emisión asociada a la demanda final de Cataluña

Efectos	Sectores																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
EP	0,07%	0,05%	0,51%	0,03%	0,05%	0,10%	0,07%	0,00%	0,04%	0,08%	0,06%	0,09%	0,56%	6,26%	2,64%	0,78%	3,18%	2,36%
EE	0,19%	0,83%	0,37%	0,02%	0,05%	0,30%	0,28%	0,00%	0,02%	0,04%	0,03%	0,03%	2,01%	0,39%	0,16%	2,60%	0,45%	2,61%
EFB DI	0,00%	0,00%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,12%	0,06%	0,01%	0,06%	0,04%
EFB DF	0,02%	0,01%	0,14%	0,02%	0,01%	0,03%	0,00%	0,00%	0,01%	0,03%	0,03%	0,01%	0,02%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Subtotal 1_1	0,28%	0,90%	1,03%	0,07%	0,11%	0,43%	0,35%	0,00%	0,08%	0,15%	0,12%	0,13%	2,59%	6,77%	2,85%	3,39%	3,68%	5,01%
ESE	0,64%	1,38%	0,51%	0,07%	0,04%	0,41%	0,09%	0,00%	0,01%	0,03%	0,08%	0,02%	3,60%	0,00%	0,00%	0,32%	0,01%	0,01%
ESD DI	0,07%	0,05%	0,77%	0,06%	0,08%	0,18%	0,04%	0,00%	0,12%	0,15%	0,08%	0,12%	0,57%	8,14%	3,87%	0,77%	3,97%	3,41%
ESD DF	0,35%	0,23%	2,47%	0,28%	0,20%	0,55%	0,05%	0,00%	0,29%	0,58%	0,53%	0,23%	1,00%	0,00%	0,00%	0,05%	0,05%	0,05%
Subtotal 2_1	1,06%	1,66%	3,75%	0,41%	0,32%	1,14%	0,18%	0,00%	0,42%	0,76%	0,70%	0,36%	5,17%	8,14%	3,87%	1,14%	4,03%	3,47%
ESE	0,36%	0,04%	0,33%	0,22%	0,05%	0,60%	0,22%	0,00%	0,00%	0,19%	0,34%	0,03%	0,00%	0,00%	0,00%	0,93%	0,00%	0,01%
ESD DI	0,10%	0,63%	0,91%	0,09%	0,13%	0,35%	0,05%	0,00%	0,26%	0,26%	0,25%	0,17%	0,75%	2,81%	2,30%	0,55%	2,28%	2,28%
ESD DF	0,24%	0,05%	1,71%	0,70%	0,17%	0,78%	0,13%	0,00%	0,14%	2,13%	2,16%	0,39%	0,00%	0,00%	0,00%	0,30%	0,07%	0,03%
ESI	0,18%	1,71%	1,12%	0,18%	0,12%	0,75%	0,03%	0,00%	0,21%	0,46%	0,54%	0,18%	0,59%	0,92%	0,52%	0,25%	0,66%	0,56%
Subtotal 3_1	0,87%	2,43%	4,07%	1,19%	0,47%	2,48%	0,42%	0,00%	0,62%	3,03%	3,29%	0,77%	1,34%	3,73%	2,82%	2,03%	3,01%	2,89%
Total sector	2,21%	4,99%	8,85%	1,67%	0,89%	4,04%	0,95%	0,01%	1,11%	3,94%	4,11%	1,27%	9,11%	18,64%	9,55%	6,56%	10,72%	11,37%

Tabla 5.A.4. Peso porcentual de cada sector sobre el impacto total de cada efecto de Cataluña

Efectos	Sectores																		Total efecto
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
<i>Impacto 1_1</i>																			
EP	0,4%	0,3%	3,0%	0,2%	0,3%	0,6%	0,4%	0,0%	0,3%	0,5%	0,3%	0,5%	3,3%	37,0%	15,6%	4,6%	18,8%	13,9%	16,9%
EE	1,8%	8,0%	3,5%	0,2%	0,4%	2,9%	2,7%	0,0%	0,2%	0,3%	0,3%	0,3%	19,4%	3,8%	1,6%	25,1%	4,3%	25,1%	10,4%
EFB DI	0,4%	0,1%	4,1%	0,4%	0,5%	1,0%	0,2%	0,0%	0,5%	0,8%	0,5%	0,6%	1,1%	37,6%	18,3%	2,7%	17,4%	13,8%	0,3%
EFB DF	6,0%	4,0%	39,7%	5,8%	3,3%	7,7%	0,9%	0,0%	3,7%	8,9%	8,1%	4,1%	5,4%	0,0%	0,0%	0,9%	0,7%	0,8%	0,4%
<i>Impacto 2_1</i>																			
ESE	8,9%	19,1%	7,1%	1,0%	0,6%	5,6%	1,3%	0,0%	0,1%	0,5%	1,1%	0,2%	49,8%	0,0%	0,0%	4,4%	0,1%	0,2%	7,2%
ESD DI	0,3%	0,2%	3,4%	0,3%	0,4%	0,8%	0,2%	0,0%	0,5%	0,7%	0,4%	0,5%	2,6%	36,3%	17,2%	3,4%	17,7%	15,2%	22,4%
ESD DF	5,0%	3,4%	35,7%	4,1%	2,8%	8,0%	0,7%	0,0%	4,2%	8,4%	7,7%	3,3%	14,5%	0,0%	0,0%	0,7%	0,7%	0,8%	6,9%
<i>Impacto 3_1</i>																			
ESE	10,8%	1,3%	10,0%	6,5%	1,5%	18,1%	6,6%	0,0%	0,1%	5,6%	10,2%	0,9%	0,0%	0,0%	0,0%	27,9%	0,1%	0,3%	3,3%
ESD DI	0,7%	4,5%	6,4%	0,6%	0,9%	2,5%	0,3%	0,0%	1,8%	1,8%	1,8%	1,2%	5,3%	19,8%	16,2%	3,9%	16,1%	16,1%	14,2%
ESD DF	2,6%	0,5%	19,0%	7,8%	1,9%	8,6%	1,4%	0,0%	1,6%	23,7%	24,1%	4,4%	0,0%	0,0%	0,0%	3,3%	0,7%	0,4%	9,0%
ESI	2,0%	19,0%	12,4%	2,1%	1,3%	8,4%	0,3%	0,0%	2,4%	5,1%	6,0%	2,0%	6,6%	10,2%	5,8%	2,8%	7,4%	6,2%	9,0%
																			100,00
																			%

Tabla 5.A.5. Desagregación por efecto, región y sector de la emisión de CO₂ asociada al sector químico catalán

	Impacto doméstico				Impacto sobre RE			Impacto sobre RM				
	EP	EE	EFB DI	EFB DF	ESE	ESD DI	ESD DF	ESE	ESD DI	ESD DF	ESI	
Sectores productivos												
1- Agricultura, ganadería y pesca	0,4%	0,0%	0,3%	0,4%	0,0%	0,8%	0,6%	0,0%	0,6%	0,5%	0,4%	
2- Minería, coquerías, refino y combustibles nucleares	16,6%	0,0%	23,9%	24,3%	0,0%	14,3%	17,5%	0,0%	38,7%	35,1%	52,5%	
3- Industria de alimentación, bebidas y tabaco	0,7%	0,0%	1,0%	0,6%	0,0%	0,3%	0,2%	0,0%	0,2%	0,2%	0,1%	
4- Industria textil, peletería y cuero	0,1%	0,0%	1,2%	0,6%	0,0%	0,3%	0,2%	0,0%	0,2%	0,3%	0,3%	
5- Industria del papel, madera y artes gráficas	3,7%	0,0%	4,7%	3,7%	0,0%	2,4%	1,2%	0,0%	1,4%	1,2%	1,0%	
6- Industria química	5,5%	100,0%	14,0%	12,4%	100,0%	20,6%	1,6%	100,0%	28,7%	16,0%	22,4%	
7- Otras industrias no metálicas	5,0%	0,0%	12,5%	11,2%	0,0%	2,9%	4,0%	0,0%	4,7%	4,0%	3,8%	
8- Metalurgia	0,3%	0,0%	1,3%	0,6%	0,0%	1,9%	1,2%	0,0%	2,1%	1,2%	1,8%	
9- Productos metálicos	0,1%	0,0%	0,5%	0,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%	
10- Industria eléctrica, electrónica y maquinaria	0,8%	0,0%	0,8%	0,8%	0,0%	0,1%	0,2%	0,0%	0,2%	0,2%	0,2%	
11- Industria del transporte	0,0%	0,0%	0,1%	0,1%	0,0%	0,1%	0,1%	0,0%	0,1%	0,0%	0,1%	
12- Otras industrias	0,2%	0,0%	0,4%	0,4%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%	
13- Producción y distribución de energía	41,5%	0,0%	20,8%	21,7%	0,0%	43,4%	60,2%	0,0%	16,1%	31,5%	11,7%	
14- Construcción	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,1%	0,0%	0,1%	0,1%	0,0%	
15- Hostelería	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,2%	0,2%	0,0%	0,1%	0,1%	0,0%	
16- Transporte	23,1%	0,0%	17,9%	22,3%	0,0%	11,8%	11,8%	0,0%	6,3%	8,9%	5,3%	
17- Servicios empresariales	0,9%	0,0%	0,3%	0,4%	0,0%	0,6%	1,0%	0,0%	0,4%	0,5%	0,3%	
18- Sector público y otros servicios sociales	1,0%	0,0%	0,2%	0,3%	0,0%	0,1%	0,1%	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	
Total	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	

Tabla 5.A.6. Descomposición de los multiplicadores netos de CO₂ bajo la perspectiva del consumo

Desagregado por efecto	Sectores																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
EP	0,04	0,10	0,19	0,04	0,01	0,01	0,00	0,00	0,10	0,13	0,06	0,14	0,04	9,86	15,63	0,05	3,01	0,74
EE	0,10	1,70	0,13	0,02	0,01	0,04	0,01	0,00	0,06	0,06	0,04	0,04	0,15	0,62	0,96	0,15	0,43	0,82
EFB DI	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19	0,34	0,00	0,05	0,01
EFB DF	0,01	0,03	0,05	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,05	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Subtotal 1_1	0,15	1,82	0,38	0,09	0,01	0,06	0,02	0,00	0,19	0,24	0,14	0,21	0,19	10,67	16,93	0,20	3,49	1,58
ESE	0,34	2,80	0,19	0,08	0,01	0,05	0,00	0,00	0,02	0,05	0,10	0,03	0,26	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00
ESD DI	0,04	0,11	0,28	0,07	0,01	0,02	0,00	0,00	0,26	0,23	0,10	0,19	0,04	12,82	22,95	0,05	3,76	1,07
ESD DF	0,18	0,48	0,90	0,33	0,02	0,07	0,00	0,00	0,65	0,89	0,61	0,35	0,07	0,00	0,00	0,00	0,05	0,02
Subtotal 2_1	0,56	3,38	1,36	0,48	0,04	0,15	0,01	0,00	0,93	1,17	0,80	0,56	0,38	12,82	22,95	0,07	3,82	1,09
ESE	0,19	0,09	0,12	0,25	0,01	0,08	0,01	0,00	0,01	0,29	0,39	0,05	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00
ESD DI	0,05	1,29	0,33	0,10	0,02	0,05	0,00	0,00	0,58	0,40	0,29	0,26	0,05	4,42	13,64	0,03	2,16	0,72
ESD DF	0,12	0,09	0,62	0,81	0,02	0,10	0,01	0,00	0,31	3,27	2,49	0,61	0,00	0,00	0,00	0,02	0,06	0,01
ESI	0,10	3,48	0,41	0,21	0,01	0,10	0,00	0,00	0,47	0,70	0,62	0,28	0,04	1,45	3,11	0,01	0,63	0,18
Subtotal 3_1	0,46	4,95	1,48	1,38	0,06	0,33	0,02	0,00	1,37	4,65	3,79	1,19	0,10	5,87	16,74	0,12	2,85	0,91
Multiplicador neto global (μ_j)																		
$\mu_j > \mu_t > 1$		10,16	3,22	1,94					2,48	6,06	4,73	1,96		29,36	56,62		10,17	3,58
$1 < \mu_j < \mu_t$	1,17																	
$\mu_t > 1 > \mu_j$					0,11	0,54	0,04	0,01					0,67			0,38		

6 Reflexiones finales

Como se ha querido recalcar en la introducción, la actividad económica no se desarrolla en un sistema circular cerrado sino que se enmarca dentro del sistema natural con el que se interrelaciona continuamente y del que depende para su reproducción. En este sentido, es evidente la necesidad de seguir trabajando teórica y empíricamente en la interdisciplinariedad que supone el estudio integrado entre la economía y el medio ambiente. Este trabajo tiene el objetivo de avanzar en esta línea centrándose en el campo de estudio de los impactos de la actividad productiva sobre la naturaleza. Con este objetivo, a través de distintos desarrollos y aplicaciones en el marco de la estructura metodológica base del input-output, trata de avanzarse en el estudio de los impactos de la producción, en términos de contaminación atmosférica. Como consecuencia del trabajo llevado a cabo se ha obtenido un conjunto de conclusiones metodológicas y de resultados empíricos, así como distintas oportunidades para futuras líneas de investigación. Todo esto se presenta de forma sintetizada en esta sección.

6.1 Principales conclusiones y aportaciones metodológicas

El proceso de elaboración de las cuentas satélite sobre la contaminación del aire de Cataluña para el 2005, presentadas en el Capítulo 2, pone de manifiesto la utilidad de las tablas input-output como base metodológica para la elaboración de un marco contable que integre información sobre la economía y el medio ambiente. En este sentido, son varias las ventajas que ofrecen estas tablas. Entre ellas destacan, la capacidad de recoger una gran cantidad de información sobre las transacciones asociadas con la actividad económica y la estructura productiva, así como su potencial en los análisis que ayudan a entender las interrelaciones entre el proceso económico y la

naturaleza. Un aspecto positivo determinante es la posibilidad de compatibilizar la información existente en términos monetarios con datos físicos adicionales sobre el medio ambiente. El marco contable NAMEA, utilizado en este trabajo, se corresponde con este tipo de tablas input-output híbridas en las que se combinan datos monetarios y físicos.

Dentro del análisis de impactos ambientales input-output es frecuente el estudio centrado en un sector en concreto o un conjunto de actividades con ciertas características homogéneas. En este cometido, el análisis de subsistemas, se convierte en una herramienta muy potente puesto que permite analizar en profundidad la estructura productiva de cada una de estas actividades, teniendo en cuenta el impacto sobre el resto de sectores asociado a su demanda final. El estudio realizado en el Capítulo 3 tiene como objetivo evidenciar la utilidad de esta metodología en los análisis de impactos ambientales. El desarrollo metodológico planteado ha permitido profundizar significativamente en el conocimiento de los entresijos que explican el impacto de una determinada actividad. Así, mediante la descomposición del subsistema en seis efectos explicativos, se obtiene una gran cantidad de información que puede resultar muy útil en el desarrollo de políticas ambientales.

El enorme aumento del comercio internacional en las últimas décadas lo ha convertido en un elemento clave en los estudios que evalúan las relaciones ente la economía y el medio ambiente. De acuerdo con el análisis de subsistemas verticalmente integrados, es evidente que, en un modelo abierto al exterior, el estudio del impacto asociado a la demanda final de una actividad debe incorporar aquellos efectos inducidos más allá de las fronteras de la economía doméstica. Estos efectos vienen dados por los intercambios comerciales que se producen entre regiones o países. El amplio desarrollo metodológico propuesto en el Capítulo 4, pone de manifiesto el potencial de los modelos uni-regional y multi-regional input-output (MRIO) en los estudios de la responsabilidad asociada a una región de acuerdo a la lógica del principio del consumidor. Esto es, teniendo en cuenta los impactos incorporados en los intercambios comerciales netos interregionales, una información no considerada en la estimación bajo el principio del productor.

Aunque ha quedado demostrada la utilidad del análisis uni-regional, la capacidad de captar una mayor información sobre los vínculos interregionales y de realizar análisis para varias regiones de forma simultánea, hace de los modelos MRIO una herramienta

muy potente para este tipo de estudios. Unos modelos que presentan importantes ventajas sobre los modelos uni-regionales. La incorporación de la técnica de los subsistemas permite dar un enfoque sectorial alternativo al balance medioambiental entre regiones, definido como la diferencia entre la responsabilidad del productor y la del consumidor. Este enfoque evalúa la diferencia entre regiones de la responsabilidad asociada a la demanda final de un mismo tipo de actividad. Además, esta propuesta metodológica permite profundizar significativamente en el estudio de los vínculos interregionales entre sectores y ampliar, consecuentemente, el potencial explicativo del modelo en cuanto a los determinantes del impacto sectorial de una región.

Probablemente la principal desventaja de los modelos MRIO es la gran cantidad de información que requieren y que, en ocasiones, no está directamente disponible¹. En este sentido, parte de la información necesaria para la construcción del modelo ha requerido la asunción de algunos supuestos. Unos de los supuestos frecuentemente utilizados en este tipo de estudios es el de considerar que el resto del mundo utiliza la misma tecnología que la economía doméstica. De hecho, este es un punto clave en la problemática de la información. Aunque el análisis empírico se centra en Cataluña, se ha optado por asumir la “misma tecnología” que el total de la economía española. El motivo es el bajo sesgo que ésta conlleva y la no distorsión del análisis comparativo entre Cataluña y el resto de España. Ahora bien, una de las principales conclusiones de este Capítulo es que, para llevar a cabo con éxito el análisis MRIO con sectores verticalmente integrados, es imprescindible una estimación coherente sobre la distribución entre la demanda final e intermedia de las exportaciones al resto del mundo². Esta conclusión invalida el uso, para este tipo de análisis en concreto, del supuesto de “economía pequeña” frecuentemente utilizado en los MRIO sin sectores verticalmente integrados. La razón es que este supuesto configura una demanda final con una estructura sectorial muy sesgada, lo que comporta errores significativos en la estimación del balance respecto al RM con sectores verticalmente integrados.

A partir del modelo MRIO, en el Capítulo 5 se propone una metodología para la descomposición en distintos efectos explicativos intra- e interregionales de la emisión asociada a una región bajo la perspectiva del consumidor. Seguidamente, se utiliza esta

¹ Una desventaja cada vez menos significativa por los importantes avances en cuanto a la disponibilidad y calidad de la información.

² Se alude aquí al resto del mundo por ser la región para la que esta información presenta más problemas por razones obvias. No obstante, puede extenderse a otras “regiones” que indiquen el resto del sector exterior que la información disponible no permite endogeneizar en la matriz de demanda intermedia.

aportación para la descomposición y reinterpretación de los conocidos multiplicadores netos. Mediante estos efectos se obtiene una gran cantidad de información detallada sobre los determinantes del impacto sectorial asociado a una región, generado dentro y fuera de ella. El análisis llevado a cabo en este capítulo representa una extensión interregional del estudio de un subsistema en relación con toda la estructura productiva. En este caso, esta información incluirá las distintas estructuras productivas regionales incorporadas en el modelo MRIO.

La aplicación de los multiplicadores netos al modelo MRIO construido ofrece una reinterpretación de los mismos de acuerdo a la perspectiva del consumo. De esta manera, la relevancia de un sector cualquiera en una economía, en términos de impacto, vendrá dada por su responsabilidad global (principio del consumidor) respecto a su emisión directa (principio del productor). Además, la posibilidad de descomponer ampliamente estos multiplicadores permite identificar sobre qué sectores y en qué regiones se concentran los efectos que determinan dicho impacto. Esta propuesta se presenta como una metodología alternativa y complementaria para el análisis de los multiplicadores netos respecto a la estándar citada en el Capítulo 5.

6.2 Principales resultados del análisis empírico

Los resultados obtenidos mediante los distintos análisis empíricos llevados a cabo a lo largo del trabajo ponen de manifiesto la utilidad de los desarrollos metodológicos planteados. Estos resultados permiten conocer con mayor detalle y nivel explicativo el impacto, y la consecuente responsabilidad, de la actividad productiva catalana en términos de contaminación atmosférica. Por lo tanto, cumplen con el cometido de aportar la información que nos acerque al conocimiento de las relaciones efectivas entre la economía y el medio ambiente. En esta empresa, el alto nivel de desagregación de las cuentas catalanas de contaminación atmosférica y los esfuerzos realizados encaminados a mejorar su rigurosidad suponen un paso adelante determinante.

Una buena prueba de ello son el análisis input-output básico realizado y los indicadores ambientales estimados en el Capítulo 2. Merece la pena destacar el indicador que recoge los gases que producen el efecto invernadero, uno de los impactos ambientales causados por la acción humana con más relevancia en la actualidad.

Respecto a la emisión autónoma de CO₂, destaca el aumento de la responsabilidad sobre este indicador de las actividades primarias agrícolas y ganaderas, así como de las industrias alimentarias. Este hecho viene explicado por el enorme peso en la emisión conjunta de metano de ambas actividades, tanto de forma directa como total.

De hecho, en el Capítulo 3 se constata esta circunstancia mediante un análisis en profundidad del subsistema que integra dichas actividades. Los resultados reflejan las importantes interrelaciones existentes entre ambos sectores, dominadas principalmente por los efectos de arrastre inducidos de las industrias de alimentación sobre la agricultura y ganadería. La responsabilidad total asociada al subsistema agroalimentario supone más del 40% del metano total generado por la actividad productiva catalana. De acuerdo a los efectos explicativos analizados, el impacto asociado a la demanda final del subsistema agroalimentario viene explicado en su práctica totalidad por la emisión generada directamente por las actividades que lo conforman. Así, la irrelevancia de los efectos de arrastre sobre el resto de sectores determina el enfoque de potenciales políticas ambientales de mitigación y control sobre este gas.

El principal análisis empírico realizado en el Capítulo 4 se basa en la aplicación del modelo MRIO al estudio del impacto en CO₂ asociado a la demanda final de Cataluña en relación al comercio con el resto de España y el resto del mundo. Los resultados para el 2005 muestran como el comercio de Cataluña con estas dos regiones incorpora una mayor cantidad de CO₂ en las importaciones que en las exportaciones. El resultado es un balance neto global deficitario en CO₂ incorporado. Dicho de otra forma, considerando los dos enfoques alternativos para evaluar la responsabilidad de una región, Cataluña presenta una responsabilidad muy superior de acuerdo al principio del consumidor que al del productor. Si bien es cierto que casi dos terceras partes de este déficit se corresponden con el comercio con el resto del mundo, el déficit con el resto de España aporta interesantes resultados al análisis. Así, aunque Cataluña tiene un importante superávit comercial (monetario) con el resto del estado, las distintas intensidades de emisión de una y otra región tienen como consecuencia un relevante déficit en el balance en CO₂. La principal causa es el distinto metabolismo energético entre ambas regiones asociado a la producción de energía eléctrica, teniendo en el resto de España un peso mucho mayor el uso de recursos fósiles como energía primaria y una mayor relevancia la presencia de la nuclear en Cataluña.

El análisis sectorial refleja la importancia de la actividad de la construcción en la responsabilidad global de la economía catalana, con especial atención a los efectos inducidos sobre el exterior. El auge desorbitado de este sector en este periodo hace que sea un resultado totalmente plausible. Tienen también un peso relevante las ramas de servicios en general, rompiendo así con la idea de la desmaterialización de la economía o de que una economía de servicios es menos contaminante. En general, los resultados sectoriales verticalmente integrados dan muestra de la dependencia energética de la economía catalana, muy especialmente respecto al resto del mundo.

En cualquier caso, los resultados del trabajo ponen de manifiesto la importancia de las relaciones comerciales interregionales en la estimación del impacto asociado a la demanda final de una región. Así, para Cataluña, la mayoría de las emisiones asociadas a su consumo se generan fuera de sus fronteras. Esto demuestra la necesidad de integrar el ámbito de la responsabilidad interregional en el marco de políticas ambientales encaminadas a la mitigación del cambio climático. Puesto que es evidente que no todos los países reconocen, o les interesa conocer, la existencia de esta responsabilidad. Este es uno de los puntos claves de discrepancia entre países con una mayor responsabilidad como productor y aquellos con mayor responsabilidad como consumidor.

Los elevados niveles de interdependencia interregional quedan reflejados en los resultados obtenidos en el Capítulo 5. A partir de este punto, el análisis llevado a cabo explica con detalle los determinantes intra- e interregionales del impacto en CO₂ asociado a Cataluña que se estimó en el capítulo anterior. Una de las conclusiones más relevantes obtenidas es que una parte importante del impacto interregional de Cataluña se produce a través de la demanda de inputs por parte de su estructura productiva. Un ejemplo de esto es que el peso de este efecto en el sector de la construcción explica por sí solo el 8,1% del impacto total asociado a la demanda final de Cataluña.

Los importantes efectos de arrastre inducidos por la economía catalana sobre otras regiones determinan una configuración muy distinta de los multiplicadores netos globales respecto a los estándares. Así, cuando se evalúa la importancia sectorial en la responsabilidad de Cataluña mediante el análisis de los multiplicadores netos de globales, aquellos sectores con un mayor efecto de arrastre sobre el exterior ven aumentar su relevancia como sectores clave³.

³ Se refiere a sector clave en el sentido de los multiplicadores netos.

6.3 Futuras líneas de investigación

Una de las principales conclusiones de toda tesis es su materialización como el punto de partida para futuras investigaciones. De hecho, el final de este proceso marca el comienzo de la carrera investigadora del autor. Por lo tanto, en este camino he ido advirtiendo como a partir de cada uno de los capítulos se abren distintas líneas de trabajo de interés científico que extienden el estudio realizado o sustentan el inicio de una investigación más autónoma. En las próximas líneas se presentan las principales posibilidades que surgen en este sentido.

El análisis multiregional llevado a cabo en el Capítulo 4 es una de las partes del trabajo con mayores potencialidades. Como ya se ha comentado, la incorporación de otras regiones pertenecientes al resto de España permitiría realizar un análisis interregional más completo teniendo en cuenta las características de cada región. Esto aportaría una información muy útil en la elaboración y coordinación de políticas ambientales a nivel interregional. Además, proveería de una estructura de datos excelente para muchos tipos de estudios regionales (Llano, 2004). En esta misma línea, la región perteneciente al resto del mundo puede desagregarse de manera que puedan incorporarse otras regiones agregadas o determinados países de acuerdo al objetivo que se establezca. En definitiva, este camino proporcionaría una estimación más rigurosa del impacto de Cataluña y, sobre todo, de las relaciones interregionales asociadas a cada región. Los proyectos WIOD (World Input-Output Database) (Timmer, 2012) y EXIOPOL (Tukker et al. 2009) son una excelente base de datos para la extensión del modelo multi-regional a nivel europeo.

En este sentido, sería interesante la construcción de un modelo que contemplara, de forma desagregada, aquellas zonas geográficas correspondientes a economías en desarrollo caracterizadas por el elevado grado de industrialización vivido en las últimas décadas. El modelo permitiría estudiar los efectos de la deslocalización industrial en este periodo y el comercio exterior sobre el balance en emisiones y la huella de carbono de Cataluña y el resto de España. Un tipo de análisis que se ha llevado a cabo para otros países o, de forma agregada, para las relaciones norte-sur en general, aportando interesantes resultados sobre la responsabilidad global de cada región en los impactos sobre el medio ambiente (Cole, 2004).

Ya se ha señalado en el Capítulo 4 el interés que tendría estudiar en profundidad la evolución en distintos periodos del balance neto y el impacto de Cataluña en relación con el resto de España y otras regiones. Los relevantes cambios sucedidos en el periodo de 2001-2005 para estas variables reclaman el estudio de sus causas subyacentes. Esto exigiría la construcción, de forma homogénea, de un modelo MRIO como el elaborado en este trabajo para varios periodos. La técnica del análisis input-output de descomposición estructural (SDA⁴), así como otros métodos de descomposición, pueden resultar muy útiles para identificar los determinantes de este proceso, tales como cambios en los coeficientes de emisión, en los patrones del comercio, en la tecnología o en la estructura productiva. En esta línea, trabajos como Jacobsen (2000), Hoekstra (2003) o Butnar y Llop (2011) ponen de manifiesto el interés científico de este tipo de análisis.

Uno de los principales resultados del trabajo a nivel sectorial es la importancia de la actividad de la construcción en el impacto asociado a Cataluña. Sin embargo, la demanda final de este sector está compuesta en su gran mayoría por la formación bruta de capital. Si bien es cierto que gran parte de esta partida se corresponde con la inversión residencial y, por lo tanto, tiene como destino las familias⁵, hay una parte de la misma que está asociada a una inversión productiva que será utilizada por otros sectores. Sería por lo tanto interesante reasignar intersectorialmente esta responsabilidad a través de la endogenización de la formación bruta de capital. Este análisis requiere un conocimiento profundo del método de construcción de las TIO y una cantidad de información considerable. No obstante, una vez superada esta problemática, proveerá de una estimación más rigurosa de la responsabilidad sectorial de la región.

De otra parte, el análisis desarrollado en el Capítulo 3 puede extenderse interregionalmente con el objetivo de evaluar la importancia global de una determinada actividad. El desarrollo metodológico propuesto en el Capítulo 5 permite esta ampliación analítica. Aunque en este Capítulo se ha realizado una breve aplicación de este tipo de análisis, la desagregación del resto de España o del resto del mundo en distintas regiones permitiría revelar las relaciones interregionales subyacentes entre cada una de ellas. Asimismo, el abanico de aplicaciones empíricas puede extenderse a

⁴ Por sus siglas en inglés, Structural Decomposition Analysis.

⁵ Por lo tanto asignables a la responsabilidad final de esta actividad. Se incluiría también en este cómputo aquella producción que tenga como destino el consumo final por parte del sector público y las entidades sin ánimo de lucro (y exportaciones, si procede).

distintos gases contaminantes, así como a otro tipo de impactos o uso de recursos. Hasta el momento, no hay evidencia de que este campo de estudio haya sido trabajado en el análisis de impactos ambientales.

Una línea de investigación que en los últimos años ha adquirido una cierta relevancia es la que estudia la relación entre los impactos medioambientales y distintos factores socioeconómicos, como por ejemplo el nivel de ingreso o pertenecer a determinadas zonas urbanas o rurales. Estas variables determinan distintos patrones y decisiones de consumo familiar cuyo impacto merece ser estudiado de forma desagregada. Varios trabajos han estudiado estas relaciones para la economía española en su conjunto, sin embargo, no se ha vinculado con la variable del comercio exterior y sus repercusiones en la estimación del impacto global asociado al consumo. En cualquier caso, los resultados que el presente trabajo muestra para Cataluña en cuanto a su impacto en CO₂, ponen de manifiesto el interés que un análisis de este tipo podría tener para esta economía.

6.4 Bibliografía

- 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*, 70(11), pp.2012–2019.
- Cole, M.A. (2004). “Trade, the pollution haven hypothesis and the environmental Kuznets curve: examining the linkages”. *Ecological Economics*, 48(1), pp.71–81.
- Hoekstra, R. (2003). *Economic Growth, Material Flows And the Environment: New Applications of Structural Decomposition Analysis And Physical Input-Output Tables*. Edward Elgar Publishing.
- Jacobsen, H.K. (2000). “Energy Demand, Structural Change and Trade: A Decomposition Analysis of the Danish Manufacturing Industry”. *Economic Systems Research*, 12(3), pp.319–343.
- Llano, C.(2004). *Economía, sectorial y espacial: el comercio interregional en el marco input-output*. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Madrid.
- Timmer, M. (2012). The World Input-Output Database (WIOD): Contents, Sources and Methods. European Commission. N°10. Disponible en: <http://www.wiod.org/publications/papers/wiod10.pdf>.
- Tukker, A.; Poliakova, E.; Heijungs, R.; Hawkins, T.; Neuwahl, F.; Rueda-Cantuche, J.M.; Giljum, S.; Moll, S.; Oosterhaven, J.; Bouwmeester, M. (2009). “Towards a global multi-regional environmentally extended input–output database”. *Ecological Economics*, 68(7), pp.1928–1937.