

**Análisis Multi-Región Input-Output (MRIO) de emisiones de Gases Efecto
Invernadero (GEI) incorporado en el comercio. Un modelo birregional aplicado a
Cataluña y el resto de España**

FRANCISCO M. NAVARRO GÁLVEZ

Documentos de Investigación del Programa de Doctorado de Economía Aplicada
Universitat Autònoma de Barcelona



Enero 2009

Trabajo de 8 créditos
DIRECTOR: VICENTE ALCÁNTARA ESCOLANO

Departament d'Economia Aplicada
Universitat Autònoma de Barcelona
E-08193 Bellaterra (Cerdanyola del Vallès)
www.ecap.uab.es

RESUMEN

El siguiente trabajo realiza un análisis regional y sectorial para el estudio de las emisiones de gases efecto invernadero (GEI) incorporadas en el comercio entre las regiones de Cataluña y el resto de España para el año 2001, estimando así el Balance Neto en GEI incorporado. El objetivo es el desarrollo de un metodología que nos permita realizar esta estimación de forma rigurosa, con la intención de efectuar un análisis comparativo de ambas estructuras productivas territoriales, en cuanto a la intensidad de emisión y el impacto de la demanda final de las regiones consideradas. Para este propósito se utiliza el marco metodológico del análisis input-output, en particular se aplica dos tipologías de modelos: el modelo básico o single-región y el multi-región, lo que nos permite la comparabilidad entre ambos, demostrando como el modelo MRIO (multi-región input-output) es el método más apropiado para dicho propósito, permitiendo, entre otras ventajas, analizar los vínculos interregionales e intersectoriales de las regiones consideradas. La incorporación de la técnica de la integración vertical o subsistemas, nos permite un enfoque alternativo para el Balance Neto resultante, no tenemos constancia de que este enfoque haya sido utilizado con anterioridad en los análisis MRIO aplicados al estudio de los impactos medioambientales incorporados en el comercio. Tampoco la tenemos sobre la aplicación de los MRIO de forma general para estos impactos a nivel interregional de la economía española. El principal resultado obtenido nos indica que aún teniendo Cataluña un importante superávit comercial con el resto de España, hemos comprobado la existencia de un importante déficit para la primera en cuanto a la polución incorporada en este comercio.

Palabras Clave: *emisiones de gases efecto invernadero, análisis input-output, modelos multi-region input-output, polución incorporada*

RESUM

El següent treball realitza un análisis regional i sectorial per l'estudi de les emissions de gasos d'efecte hivernacle (GEH) incorporades en el comerç entre les regions de Catalunya i la resta d'Espanya per l'any 2001, estimant així el Balanç Net en GEH incorporat. L'objectiu és el desenvolupament d'una metodologia que ens permeti realitzar aquesta estimació de forma rigorosa, amb la intenció d'efectuar un ànalisi comparatiu de ambdós estructures productives territorials, en relació a la intensitat d'emissió i l'impacte de la demanda final de les regions considerades. Per aquest propòsit s'utilitza el marc metodològic del ànalisi input-output, concretament s'aplica dos tipus de models: el model bàsic o single-regió y el multi-regió, que ens permetrà la comparació entre els dos, demostrant com el model MRIO (multi-regió input-output) és el mètode més apropiat per aquest propòsit, ja que entre d'altres avantatges, possibilita l'ànalisi del vincles interregionals e intersectorials de les regions considerades. La incorporació de la tècnica de la integració vertical o subsistemes ens permet un enfocament alternatiu per al Balanç Net resultant. No tenim constància que aquest enfocament hagi estat utilitzat anteriorment en els ànalisis MRIO aplicats al estudi dels impactes ambientals incorporats al comerç. Tampoc la tenim sobre l'aplicació dels MRIO de forma general per aquests impactes a nivell interregional espanyol. El principal resultat obtingut ens indica que encara que Catalunya té un important superàvit comercial amb la resta d'Espanya, podem comprovar l'existència d'un déficit rellevant per a l'economia catalana en quan als GEH incorporats en aquest comerç.

Paraules clau: *emissions de gasos efecte hivernacleo, ànalisi input-output, models multi-regió input-output, polució incorporada*

JEL classifications: D57,Q53, C67, R15

ÍNDICE

1.- INTRODUCCIÓN	3
2.- METODOLOGÍA	6
2.1.- ANÁLISIS INPUT-OUTPUT BÁSICO.....	6
2.2.- MODELO MULTI-REGIÓN INPUT-OUTPUT (MRIO) “CONVENCIONAL”: EL CASO DE 2 REGIONES (O MODELO BIREGIONAL INPUT- OUTPUT) CON SECTORES VERTICALMENTE INTEGRADOS	14
2.3.- MODELO MULTI-REGIÓN INPUT- OUTPUT (MRIO): EL CASO DE 2 REGIONES BAJO EL ANÁLISIS TELAS (TRADE ENDOGENISED LINEAR ATTRIBUTION SYSTEM) CON SECTORES VERTICALMENTE INTEGRADOS.....	26
3. BASE DE DATOS Y PREPARACIÓN.....	32
3.1.- REQUERIMIENTOS DE DATOS PARA EL MODELO MULTI-REGIÓN INPUT -OUTPUT	33
3.2.- PREPARACIÓN DE LA BASE DE DATOS PARA LA REGIÓN CATALUÑA	34
3.3.- PREPARACIÓN DE LA BASE DE DATOS PARA LA REGIÓN RESTO DE ESPAÑA	35
3.3.- OBTENCIÓN DE LAS EMISIÓNES CONTAMINANTES ATMOSFÉRICAS POR SECTOR.....	42
4.- ANÁLISIS EMPÍRICO	43
4.1.- RESULTADOS DEL ANÁLISIS INPUT- OUTPUT BÁSICO.....	46
4.2.- RESULTADOS DE LA APLICACIÓN MRIO “CONVENCIONAL” CON INTEGRACIÓN VERTICAL....	49
4.3.- RESULTADOS DE LA APLICACIÓN MRIO-TELAS CON INTEGRACIÓN VERTICAL	56
5.- CONCLUSIONES Y REFLEXIONES FINALES	62
6.- BIBLIOGRAFÍA.....	68
ANEXO I.....	71
ANEXO II	73

1.- INTRODUCCIÓN

Según el informe AMEEC (Análisis del Metabolismo Energético de la Economía Catalana) las emisiones de CO₂ (principal gas de efecto invernadero) 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 en el cual se limita 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.

La comunidad científica y económica no han estado al margen de estos asuntos, en los últimos años numerosas investigaciones han analizado la relación entre la actividad económica y las emisiones de contaminantes atmosféricos, tanto a nivel del conjunto de España como a nivel regional, empleando distintas extensiones del marco estructural input-output (ver por ejemplo, Alcántara (1995;2007), Labandeira y Labeaga (2002), Butnar y Llop (2007) y, Padilla y Alcántara (2006;2008)). Básicamente, en estos trabajos se relaciona los diferentes sectores productivos y su responsabilidad en las emisiones atmosféricas, determinando sectores claves en la emisión de acuerdo con sus relaciones intersectoriales, y subsistemas económicos, con el objetivo de estudiar la polución de una determinada rama productiva vinculada a su proceso productivo en la elaboración de su demanda final.

Sin embargo, la localización regional de un proceso productivo no es irrelevante en su generación final de emisiones, y dentro de España esta situación se sucede de forma relevante entre los territorios de Cataluña y el resto de España, como consecuencia del distinto metabolismo energético que presenta la economía de cada uno de ellos (informe AMEEC). Es en este sentido es necesario un análisis complementario al realizado hasta el momento en nuestro país, que recoja los efectos del comercio interregional e intersectorial entre estas dos regiones, vinculado, en última instancia, a la localización territorial de la demanda final. No pretende la investigación ser una herramienta de asignación de responsabilidad regional sobre el total de las emisiones nacionales, sino un mecanismo de análisis comparativo de la estructura productiva regional, en cuanto a la intensidad de emisión y la demanda final. En esta línea, el trabajo realizado trata de estimar el CO₂ incorporado en el comercio entre Cataluña y el resto de España, y hacernos una idea, a través del ejemplo de las relaciones entre estas dos regiones, de la distancia existente entre el impacto global de la demanda local

y la generación de emisiones correspondiente al proceso productivo doméstico. Puesto que no obstante, tengo presente el debate generado alrededor del impacto global que tiene el consumo de las economías occidentales, y que en gran medida se manifiesta fuera de las fronteras occidentales (Muradian et al. 2002).

Sin embargo, sí encontramos evidencia empírica fuera de nuestras fronteras en cuanto a estimaciones de polución incorporada en el comercio interregional o entre países fronterizos. Queremos destacar dos trabajos en este línea, por un lado el trabajo de Lenzen et al. (2004) en el que 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 (1990), Dinamarca importó una enorme cantidad de electricidad de Noruega, por lo que las emisiones consideradas para este país en ese año están sustancialmente subestimadas (Munksgaard and Pedersen 2001). Por este motivo, Dinamarca tiene en cuenta en la contabilización de las emisiones estas fluctuaciones. Por otro lado, el trabajo de McGregor et al. (2004 a,b) estima el balance interregional de emisiones de CO₂ incorporadas, entre Escocia y el resto del Reino Unido, dos regiones con importantes relaciones comerciales pero que a diferencia de nuestro caso, la intensidad de emisión de cada una de las estructuras productivas no difiere de manera tan considerable. No obstante, es un trabajo acorde con la política local del Reino Unido, en la que gran parte de las políticas de sostenibilidad regional están descentralizadas en los gobiernos regionales competentes.

Estos trabajos utilizan para su propósito el marco metodológico del análisis input-output, en particular aplican la metodología de los modelos multi-región input-output (MRIO), introducidos por Isard (1951). Aunque se ha querido destacar estos dos estudios, por la proximidad metodológica y conceptual que representan respecto al nuestro, otros trabajos han realizado distintas aplicaciones de esta metodología para el análisis del impacto medioambiental incorporado en el comercio y la estimación de la huella ecológica (ver Peters and Hertwich (2006a), Proops (1999) y Ahmad and Wyckoff, (2003)). Las ventajas analíticas que proporciona esta metodología, permitiendo captar los vínculos interregionales entre los sectores de cada territorio e integrar en un mismo análisis múltiples estructuras económicas regionales o nacionales con sus correspondientes tecnologías, hace que según estos autores,

sea el método más apropiado para este tipo de estudios. No obstante, otros autores han utilizado para su trabajo modelos input-output singulares o básicos, en los que el análisis se realiza desde una óptica unilateral, sin recoger los efectos interregionales (*feedbacks* y *spillovers*). La mayoría de estas investigaciones se realizan bajo el supuesto de considerar que la tecnología de producción e intensidad de emisión de los procesos productivos, de donde proceden las importaciones, son idénticas a la doméstica (ver por ejemplo, Sánchez-Chóliz, J y Duarte, R., (2004), Tunç, et al. (2007), Mäenpää,I. y Siikavirta,H (2007)). En este trabajo se aplican ambos modelos, comparando sus características metodológicas y los resultados de sus aplicaciones, demostrando que la consideración o no de la tecnología e intensidad emisora de las economías de procedencia de las importaciones locales, transforma completamente la estimación de la polución incorporada en el comercio y el impacto global de la demanda final local, sobre todo entre regiones con metabolismos energéticos tan distintos como es el caso de Cataluña y el resto de España.

La introducción de la técnica denominada integración vertical, aplicada a los impactos ambientales en Alcántara (1995), en este tipo de modelos nos proporciona un enfoque distinto y complementario al Balance Neto en CO₂ incorporado en el comercio interregional, de acuerdo con la responsabilidad en última instancia, de la demanda final de cada output en cada región. Además se añade al análisis la propuesta metodológica realizada en McGregor (2004a), endogenizando el comercio con el resto del mundo, no integrado en el modelo MRIO en primera instancia, de acuerdo con los modelos input-output estándares tipo II (ver Miller and Blair 1985). Esto nos ayudará a la interpretación de los resultados, y especialmente, al análisis comparativo de la estructura económica e impacto medioambiental de ambas regiones.

De esta manera el trabajo se estructura tal que, en la sección 2 se desarrolla la metodología propuesta. La sección 3 recoge la base de datos utilizada y su preparación. En la sección 4 se realiza la aplicación de la metodología, y se muestran y analizan los resultados. Y en la sección 5 se acopian las principales conclusiones del trabajo.

2.- METODOLOGÍA

En la siguiente sección pasa a describirse la metodología utilizada en la estimación de las emisiones de gases efecto invernadero incorporado en el comercio de bienes y servicios entre Cataluña y el resto de España, de acuerdo con el principio contable de consumo de Munksgaard and Pedersen (2001)¹ que considera en su análisis las relaciones entre una única región y el resto del mundo. En su trabajo aplica un modelo básico, o si se quiere singular, input-output. Por otro lado, el análisis a través de un modelo multi-región Input-Output añade, a los modelos singulares, la posibilidad de analizar, de un modo más riguroso y práctico, los *feedbacks* existentes entre los diferentes sectores de forma intra e interregional. Este tipo de modelos considera en su análisis las distintas tecnologías e impacto ambiental de la actividad económica de cada región, lo que permite una estimación menos sesgada del impacto medioambiental de la demanda final doméstica de cada región considerada. Se aplicará esta metodología al análisis del balance comercial, en cuanto a CO₂ "equivalente" incorporado², entre las regiones consideradas, así como una ampliación a través de la metodología TELAS, que tratará de endogenizar el comercio exterior, con el objetivo de asignar a la economía española, de acuerdo con el principio contable de producción, las emisiones incorporadas en las exportaciones, de acuerdo con las exigencias del Protocolo de Kyoto, y asignarlas regionalmente de acuerdo con el principio contable de consumo.

2.1.- Análisis input-output básico

En este primer apartado se analizará las emisiones de CO₂ incorporadas en el comercio internacional de la actividad económica de Cataluña. El cálculo de este intercambio de emisiones es imprescindible para la estimación de la denominada Huella Ecológica (Ecological Footprint). El concepto de Huella Ecológica se basa en el principio de contabilidad de consumo de Munksgaard and Pedersen (2001). El presente trabajo no pretende tan ambiciosa estimación, sino servir metodológicamente para su estudio. Para este análisis se aplicará la metodología del modelo input-output básico (o single-región), trabajada de distinta forma en los trabajos de Munksgaard y Pedersen (2001)³, Mäenpää y Siikavirta (2007) y con la mejora metodológica aportada por Sanchez-Chóliz y Duarte (2004), incorporando al balance de contaminación atmosférica la parte de las emisiones incorporadas

en las exportaciones de la economía local que corresponden a emisiones que conllevan las importaciones necesarias para financiar dichas exportaciones, y que por lo tanto deben descontarse de las emisiones correspondientes a la demanda final doméstica en el cálculo del Balance Neto en CO₂ incorporado.

El modelo puede presentarse de la siguiente forma

$$x = Ax + y \quad (1-1)$$

donde **x** es la producción total sectorial, Ax es el consumo de inputs por parte de la demanda intermedia e **y** es la demanda final total (incluyendo el consumo de los bienes y servicios importados) recogidas en las tablas input-output estándares. Asimismo, **A** es la matriz de coeficientes técnicos o también llamada matriz tecnológica, donde cada elemento a_{ij} indica la cantidad de producción del sector-i requerida directamente como input por el sector j para producir una unidad de su output.

Despejando la producción sectorial se deriva el output total por sector en función de la demanda final de manera exógena, representado por

$$x = (I - A)^{-1} y \quad (1-2)$$

dónde $(I - A)^{-1}$ es la conocida matriz Inversa de Leontief fruto de su trabajo pionero de 1941. Cada elemento r_{ij} de la matriz inversa representa la cantidad de producción del sector i-ésimo requerida, directa e indirectamente, por una unidad de demanda final de output del sector j, de esta manera la suma de la columna $r_{.j}$ muestra la cantidad de producción de todos los sectores utilizada por el sector j para satisfacer una unidad de demanda final de su output. A efectos prácticos, es necesario que siempre que, en este modelo, la matriz Inversa de Leontief multiplique al vector de demanda final, éste estará diagonalizado (^) con el objetivo de integrar verticalmente⁴ los resultados por sector.

A causa del objetivo del análisis, es preciso obtener la mayor información posible de las importaciones que realiza la región, por lo que necesitamos en primer lugar identificarlas desagregadamente por destino de demanda, intermedia o final, y procedencia sectorial, en este sentido el modelo puede representarse en la forma

$$x^D + x^M = A^D x + A^M x + y^D + y^M + z = x \quad (1-3)$$

con $A = A^D + A^M$ que muestra como la matriz tecnológica puede desagregarse en las matrices de coeficientes técnicos de los inputs domésticos(D) e importados(M). De forma similar puede separarse la demanda final en consumo final de producción doméstica y^D , consumo final de productos importados y^M ; y demanda final exterior (exportaciones) z . Así mismo, la producción total sectorial puede separarse en $x^D + x^M$, output total sectorial interior e importaciones totales respectivamente, por lo que el modelo ahora queda:

$$x^D = A^D x + y^D + z = A^D (I - A)^{-1} y + y^D + z \quad (1-4)$$

i

$$x^M = A^M x + y^M = A^M (I - A)^{-1} y + y^M \quad (1-5)$$

A continuación se define el vector de coeficientes domésticos de emisiones directas de CO₂ por sector o, en otras palabras, las emisiones directas por unidad de output total sectorial por rama productiva, como

$$e^d = \{e_j^d\} = \frac{C_j^D}{x_j} = (e_1^d, \dots, e_n^d)$$

con C_j^D como la emisión doméstica total directa del sector j. Seguidamente, premultiplicando por la Inversa de Leontief obtenemos el vector

$$e^d (I - A)^{-1} = s^d = (s_1^d, \dots, s_n^d) \quad (1-6)$$

donde s^d es un vector (1xN) que representa las emisiones domésticas totales de CO₂, directas e indirectas, generadas por unidad de demanda final de cada sector. De esta manera, $e^d r_{.j} = s_j^d$ indica las emisiones, directas e indirectas, generadas por una unidad de output

final del sector j. Siendo r_{ij} los elementos de la matriz Inversa de Leontief. Realizando la reconversión sectorial a través de la integración vertical que nos permite este modelo, se obtiene la polución doméstica total, directa e indirecta, por sector en el proceso de obtención de su demanda final, representado por

$$E^D = e^d (I - A)^{-1} \hat{y} = s^d \hat{y} \quad (1-7)$$

Hasta el momento únicamente se han tenido en consideración las emisiones ocasionadas por la producción local, pero como ya se ha comentado, el análisis trata de estimar la polución en CO₂ de la actividad económica de Cataluña desde el punto de vista del consumo, por lo que el siguiente aspecto a tratar es el de estimar las emisiones que incorporan las importaciones que realiza dicha economía. Es decir, asignar de acuerdo con el principio contable de consumo de Munksgaard, las emisiones de CO₂ generadas en la producción de las importaciones en su lugar de origen, por lo que éstas incrementan la polución correspondiente a la demanda final de la región Cataluña.

De la misma manera que se ha estimado el coeficiente total doméstico de contaminación atmosférica, directo más indirecto, por unidad de output demandado por 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 (matriz A) de cada economía exportadora. Desafortunadamente no se dispone de tan deseable información; en consecuencia, distintas investigaciones han optado por asumir que los bienes importados han sido producidos con la misma tecnología que los locales, y además su impacto medioambiental coincide con los de la economía doméstica (en este caso, misma cantidad de CO₂ por output total sectorial). Trabajos como el de Munksgaard and Pedersen (2001) o Sánchez-Chóliz and Duarte (2003) realizan este fuerte supuesto, que conlleva un relevante sesgo tanto en la estimación del balance de emisiones incorporadas en el comercio internacional, como consecuentemente, en el cálculo de una determina huella ecológica para una actividad económica espacialmente localizada. En este sentido, el trabajo de Lenzen (2004)⁵ demuestra la relevancia del sesgo entre la estimación de las emisiones incorporadas

en las importaciones bajo el supuesto de misma tecnología e intensidad de emisión de CO₂, y la estimación disponiendo de esta información para el lugar de origen.

Por consiguiente, la polución total correspondiente a la demanda final total de Cataluña será

$E^T = E^D + E^M$, es decir, la contaminación en emisiones de CO₂ ocasionada tanto dentro (E^D) como fuera (E^M) en la producción de bienes y servicios, con el objetivo de satisfacer la demanda final total de Cataluña, con

$$E^M = s^d x^m \text{ con } x^m = A^M (I-A)^{-1} \hat{y} + \hat{y}^m \quad \text{por lo tanto,}$$

$$E^T = E^D + E^M = s^d \hat{y} + s^d A^M (I-A)^{-1} \hat{y} + s^d \hat{y}^m = s^t \hat{y} + s^d \hat{y}^m \quad (1-8)$$

con

$$s^t = s^d + s^m = e^d (I-A)^{-1} + e^d (I-A)^{-1} A^M (I-A)^{-1} = e^t (I-A)^{-1} \quad (1-9)$$

donde

$s^d \hat{y}$ es la emisión total generada por la producción doméstica

$s^d A^M (I-A)^{-1} \hat{y}$ indica el valor de la polución emitida a través del proceso productivo en el lugar de origen de las importaciones requeridas por la producción local (demanda intermedia de importaciones).

$s^d \hat{y}^m$ indica el valor de la polución emitida a través del proceso productivo en el lugar de origen de las importaciones consumidas por la demanda final local.

Cabe señalar que en (1-9) $e^t = e^d + e^d (I-A)^{-1} A^M$ es la polución generada tanto dentro (primer término) como fuera (segundo término) por una unidad de producción en Cataluña. Entonces s^t será la polución total, directa e indirecta, generada dentro y fuera, para una unidad de demanda final de output catalán.

Con lo presentado hasta el momento pueden estimarse las emisiones totales correspondientes a la demanda final total de Cataluña, no obstante, cabe recordar que dicha demanda incluye las exportaciones al exterior de la economía catalana, por lo que se requiere

la contabilización de las emisiones incorporadas en estas exportaciones y, de esta manera, estimar el balance neto de la emisión de CO₂ incorporada en el comercio de Cataluña con el exterior. Dicho balance se presenta como un dato de carácter imprescindible para el cálculo de la huella ecológica, comentada con anterioridad.

Siendo \mathbf{z} el total de exportaciones, se obtiene la emisión total incorporada en éstas a través de $S^t \hat{\mathbf{z}} = S^d \hat{\mathbf{z}} + S^m \hat{\mathbf{z}}$ donde $S^d \hat{\mathbf{z}}$ indica la emisión doméstica de CO₂ incorporada en las exportaciones, y $S^m \hat{\mathbf{z}}$ la polución incorporado en las importaciones de Cataluña que sirven seguidamente como input para las exportaciones, es decir, la polución importada primero y exportada en última instancia.

De esta forma podemos obtener el balance neto de la emisión de CO₂ incorporado en el comercio de Cataluña con el exterior, como la diferencia entre las emisiones totales incorporadas en las importaciones para satisfacer la demanda final de Cataluña y las incorporadas en las exportaciones, cuya carga corresponde a la demanda exterior. Representado por⁷

$$B = S^t \mathbf{z} - E^M \quad (1-10)$$

Puede comprobarse que la positividad del valor indicará que la carga de CO₂ total incorporada en las exportaciones es superior a la soportada a través de las importaciones. Seguidamente, el valor simbólico de la huella ecológica puede obtenerse utilizando la expresión

$$H.E. = E^T - S^t \mathbf{z} = E^D + E^M - S^t \mathbf{z} = E^D - B \quad (1-11)$$

La aplicación de la expresada metodología supone un resultado con un importante sesgo, es decir, una subestimación o sobreestimación del valor de la huella ecológica y de las emisiones incorporadas en el comercio internacional. Ésta dependerá de si los coeficientes totales, directos e indirectos (que dependen tanto de la tecnología de producción como de los coeficientes directos de contaminación aplicados), por unidad de output de las regiones

productoras de las importaciones locales, son mayores o menores a los domésticos. En el caso de Cataluña, es muy probable que el cálculo subestime el impacto en polución total de la demanda local, debido a la importante propensión importadora de la economía (aunque con superávit comercial exterior aún, gracias al saldo positivo con el resto de España), y a una menor intensidad emisora de CO₂ en la actividad económica que algunos importantes países origen de las importaciones locales, como es el caso de China. En este sentido, Peters and Herwitch (2006a) demuestran que, por ejemplo, la intensidad de emisión de CO₂ para la producción de electricidad en China es 231 veces superior a Noruega, debido a la importancia que representa el carbón en la generación de electricidad en el país asiático. Aunque veremos como la distancia con el resto de España ya es suficientemente importante como para demostrar este aspecto.

En el presente trabajo disponemos de una estimación propia de la tecnología e intensidad emisora de CO₂ de la actividad económica del resto de España, por lo que esta información puede mejorar sustancialmente el análisis realizado hasta el momento⁸. Aplicando al modelo presentado las modificaciones que realizan Mäenpää y Siikavirta (2007) en su trabajo, para el caso de disponer de la tecnología y coeficientes de emisión de la región de origen, los resultados del estudio reducirían el sesgo que incorporan, y además, permitiría realizar un análisis comparativo de ambas aplicaciones. Así como un estudio de las relaciones interregionales a través de un modelo input-output para una región singular, aunque de una forma mucho menos precisa y práctica que los modelos multi-región input-output, como puede verse en Miller and Blair (1985). La modificación se resume en distinguir las importaciones que provienen del resto de España, de las cuales se conoce su tecnología e intensidad de polución, de las del resto del mundo, para las que se mantiene el supuesto inicial. De modo que

$$\begin{aligned}
 A^M &= A^{M,RE} + A^{M,W} \quad y \quad y^m = y^{m,RE} + y^{m,W} \\
 e^{RE}(I-A^{RE})^{-1} &= S^{RE} = (S_1^{RE}, \dots, S_n^{RE}) \\
 E^T = E^D + E^{M,RE} + E^{M,W} \quad \text{con} \quad E^{M,RE} &= s^{RE} A^{M,RE} (I-A)^{-1} \hat{y} + s^{RE} \hat{y}^{m,RE} \\
 &y \quad E^{M,W} = s^d A^{M,W} (I-A)^{-1} \hat{y} + s^d \hat{y}^{m,W}
 \end{aligned}$$

por lo que

$$S^t = S^d + S^{m,RE} + S^{m,W} = e^{t'} (I - A)^{-1}$$

con

$$S^{m,RE} + S^{m,W} = S^{RE} A^{M,RE} (I - A)^{-1} + S^d A^{M,W} (I - A)^{-1}$$

y

$$e^t = e^d + e^d (I - A)^{-1} A^{M,W} + e^{RE} (I - A^{RE})^{-1} A^{M,RE}$$

De modo que el Balance quedará representado por la expresión

$$B = S^t \hat{z} - E^{M,RE} - E^{M,W} \quad \text{donde} \quad S^t \hat{z} = S^d \hat{z} + S^{m,RE} \hat{z} + S^{m,W} \hat{z}$$

Aplicando esta expresión se obtendrá una mejor aproximación a la carga de CO₂ correspondiente a la economía de Cataluña de acuerdo con el principio comentado de responsabilidad del consumo, e incluso, un primer balance comercial en polución incorporada entre Cataluña y el resto de España, a través de

$$B = S^t \hat{z}^{RE} - E^{M,RE}$$

tal que \hat{z}^{RE} son las exportaciones al resto de España.

No obstante, lo deseable es disponer de la mayor información posible sobre la tecnología e intensidad de emisión de las regiones de origen de las importaciones. En el caso de poder ir incorporando esta información a esta metodología (de la que en este trabajo no se dispone), las operaciones se complican considerablemente. Además, en todo momento se hace desde la perspectiva unilateral de la región para la que se estiman los resultados⁹. Por consiguiente, se requiere una metodología que permita analizar simultáneamente las interrelaciones entre las regiones de forma más precisa, así como, mejorar la eficiencia del proceso de cálculo y la interpretación de los resultados. En este sentido, el modelo multi-

región input-output (MRIO) posibilita estas opciones, además de tener la capacidad de diferenciar los efectos directos e indirectos sobre la propia economía y sobre el resto de las "áreas" desagregadas en el sistema, y permitir atrapar los efectos "*feedback*" de los tirones de demanda final e interindustrial de las diferentes regiones. Esto se traduce en una herramienta muy útil para el cálculo del balance del CO₂ incorporado en el comercio entre las distintas regiones, con importantes ventajas respecto al modelo analizado¹⁰.

Además, la posibilidad de ir añadiendo regiones al modelo que se presenta seguidamente, tanto a nivel europeo como estatal, abre la puerta a futuras investigaciones en cuanto al análisis de los balances interregionales en términos de contaminación incorporada en el comercio, así como en la aproximación metodológica de estos modelos a una estimación de la huella ecológica regional. Desgraciadamente, este tipo de análisis tienen una desventaja muy importante, la falta de una base de datos estadísticamente aceptable en cuanto a homogeneidad metodológica en la elaboración y en los resultados, especialmente muy presente en el caso regional español, Pulido (1992).

2.2.- Modelo multi-región input-output (MRIO) “convencional”: el caso de 2 regiones (o modelo biregional input-output) con sectores verticalmente integrados

En este apartado se aplicará el marco estructural del modelo MRIO o, también llamado, modelo de Isard, en reconocimiento a su creador con su trabajo pionero Isard, W.,(1951), y trabajado metodológicamente en Miller and Blair (1985). En este sentido, es de gran utilidad metodológica para este apartado las modelizaciones y aplicaciones realizadas por Turner et al.(2007), McGregor et al.(2004 a) y Lenzen et al.(2004) en el estudio del impacto medioambiental incorporado en el comercio entre distintas regiones. El objetivo de esta sección es construir una estructura input-output interregional para Cataluña (como región 1) y el resto de España (como región 2), que interrelacione los distintos sectores entre y dentro de las dos regiones consideradas en cuanto a CO₂ incorporado en dichas relaciones comerciales. El objetivo es obtener una metodología que permita analizar e interpretar estos “*feedbacks ambientales*” interregionales y estimar dicho balance de emisiones.

Una primera representación del modelo MRIO puede comenzar por la extensión del modelo input-output singular, ya que, como podrá comprobarse, la base metodológica del modelo MRIO es endogenizar las relaciones comerciales (importaciones y exportaciones) y la tecnología de las regiones interrelacionadas en un análisis input-output integrado. En un primer estadio, se asume que todo flujo comercial intermedio se produce entre las dos regiones consideradas, Cataluña (región 1) y el resto de España (región 2), por lo que el sistema económico es cerrado en este sentido (no están incluidas las importaciones de origen extranjero). Aunque en la matriz de demanda final se incluirá las exportaciones al exterior de ambas regiones. De esta manera las relaciones interregionales e intersectoriales quedan formalizadas por

$$A_{11}x_1 + A_{12}x_2 + y_{11} + y_{12} + y_{1w} = x_1 \quad (2-1)$$

$$A_{21}x_1 + A_{22}x_2 + y_{21} + y_{22} + y_{2w} = x_2$$

donde x_i es un vector ($N \times 1$) en el que cada elemento x_{il} representa el output total del sector-i en la región 1, y A_{ii} es una matriz ($N \times N$) input-output intraregional de coeficientes técnicos correspondiente a la región 1, en la que cada elemento a_{ij}^{11} indica la cantidad de output del sector-i producido en la región 1, utilizado como input por el sector j de la región 1, para producir una unidad de output j (en la región 1). De forma análoga para la región 2. En este sentido, A_{12} y A_{21} , son matrices ($N \times N$) input-output interregionales de coeficientes técnicos, en las que por ejemplo, los elementos de A_{12} representados por a_{ij}^{12} indican la cantidad de output del sector-i producido en la región 1, utilizado como input por el sector j de la región 2, para producir un unidad de output j (en la región 2). De forma simétrica y análoga para A_{21} . En realidad, A_{12} es la cantidad de cada producto-i de la región 1 importado por cada sector de la región 2, información disponible en las TIO estándares de importaciones

Cabe destacar el supuesto del presente modelo acorde con la metodología input-output, en el que las relaciones comerciales y la estructura de producción interregionales e

intrarregionales se asumen invariantes¹¹, por lo que por ejemplo, se asume implícitamente no competitividad entre mismos sectores de distintas regiones. Este supuesto, junto con la gran cantidad de datos que el modelo MRIO requiere, se presentan como las principales limitaciones metodológicas de este modelo en particular.

Por otro lado, $y_{11}; y_{12}; y_{1w}$ son vectores ($N \times 1$) de demanda final del output por sector producido en la región 1 y que tiene como destino el consumo de la región 1,2 y w respectivamente (exportaciones al exterior, no endogeneizadas). De forma análoga para la demanda final del output producido en la región 2: $y_{21}; y_{22}; y_{2w}$.

A partir de la expresión (2-1) y con $y_1 = y_{11} + y_{12} + y_{1w}$ e $y_2 = y_{21} + y_{22} + y_{2w}$, el sistema de ecuaciones del modelo queda

$$y_1 = x_1(I - A_{11}) - A_{12}x_2 \quad (2-2)$$

$$y_2 = x_2(I - A_{22}) - A_{21}x_1$$

y despejando los output totales regionales

$$x_1 = (I - A_{11})^{-1}(y_1 + A_{12}x_2) \quad (2-3)$$

$$x_2 = (I - A_{22})^{-1}(y_2 + A_{21}x_1)$$

El sistema de ecuaciones de la expresión (2-3) nos indica las relaciones intra e interregionales de ambas estructuras productivas (*feedbacks*), directa e indirectamente, tanto en términos de output como de demanda. Estos vínculos espaciales entre las regiones, son los que distinguen, principalmente, el modelo multi-región del modelo regional singular¹². Cabe señalar, que en el caso de no existir relación comercial entre ambas regiones $A_{12} = A_{21} = 0$, el modelo equivale, por separado, a dos modelos singulares independientes, uno para cada región (sin incluir las importaciones), representado por la expresión (1-2).

El modelo puede reformularse de forma matricial de la siguiente manera

$$\begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} y_{11} + y_{12} + y_{1w} \\ y_{21} + y_{22} + y_{2w} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} \quad (2-4)$$

donde de manera resumida, la matriz tecnológica particionada multi-región, de tamaño

(2Nx2N), es $\begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} = A$ para la que cada elemento a_{ij}^{cs} indica la cantidad de output

producido por el sector-i en región c, x_{ij}^{cs} , requerida como input por el sector j en región s,

por unidad de output total, X_j^s , de manera que

$$a_{ij}^{cs} = \frac{x_{ij}^{cs}}{X_j^s}$$

Rescribiendo (2-4) despejamos el vector de outputs regionales

$$\left\{ \begin{bmatrix} I & 0 \\ 0 & I \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} \right\} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_{11} + y_{12} + y_{1w} \\ y_{21} + y_{22} + y_{2w} \end{bmatrix}$$

operando

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I - A_{11} & -A_{12} \\ -A_{21} & I - A_{22} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} y_{11} + y_{12} + y_{1w} \\ y_{21} + y_{22} + y_{2w} \end{bmatrix} \quad (2-5)$$

donde la matriz particionada $(I - A)^{-1}$ de tamaño (2Nx2N) es la conocida matriz Inversa de

Leontief para el modelo MROI que podemos representar por

$$\begin{bmatrix} I - A_{11} & -A_{12} \\ -A_{21} & I - A_{22} \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} L_{11} & L_{12} \\ L_{21} & L_{22} \end{bmatrix}$$

en la que cada elemento ℓ_{ij}^{cs} indica la cantidad de output producido por el sector-i en la región c requerido por unidad de demanda final total de output j en la región s (recordar que se incluye en la demanda final total de cada región las exportaciones al exterior).

En definitiva, dada la matriz-A particionada de coeficientes técnicos de demanda intermedia local e importada para cada región, más el vector de demanda final doméstica y consumo final de importaciones para cada región, puede determinarse el nivel de *feedbacks* y *spillovers* interregionales en términos de cómo una actividad en una región se interrelaciona con otra en otra región.

En la ecuación (2-5), desagregando horizontalmente la matriz de demanda final, se puede distinguir que cantidad de output total sectorial producido en cada región es consumido por la demanda final de cada territorio. De modo que la expresión se transforma en

$$\begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & X_{1w} \\ X_{21} & X_{22} & X_{2w} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{11} & L_{12} \\ L_{21} & L_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{y}_{11} & \hat{y}_{12} & \hat{y}_{1w} \\ \hat{y}_{21} & \hat{y}_{22} & \hat{y}_{2w} \end{bmatrix} \quad (2-6)$$

en la que, x_{11} ; x_{12} y x_{1w} es el output producido en la región 1 consumido por la demanda final de la región 1; la región 2 y exportado al extranjero, respectivamente. De forma análoga para el output de la región 2. Más adelante se explica los componentes de la matriz resultante.

En realidad los outputs de cada región están desagregados por sector, por lo que X_i^{cs} representa el output total producido en la región c por el sector i, consumido por la demanda final de la región s, para $s = (1, 2, w)$ Cataluña, resto de España y resto del mundo, respectivamente. Como valor añadido, la diagonalización de la matriz de demanda final¹³ permite la obtención de los resultados con las estructuras productivas verticalmente integradas. De este modo puede establecerse una asignación local de destino final de la

emisión desde una perspectiva de demanda, con sectores verticalmente integrados como se analiza metodológicamente desde la óptica de los subsistemas¹⁴. Realizar esta puntualización es muy importante (como se pone de manifiesto en Alcántara (1995;1999)) para el análisis que nos concierne, puesto que una vez se asigne unos coeficientes de polución de forma sectorial, la carga de emisión de CO₂ será atribuida a cada sector de acuerdo con el principio contable de consumo, de manera que a cada sector le corresponderán las emisiones, directa e indirectamente requeridas por el proceso de producción para la satisfacción de su demanda final, y además, en nuestro caso podrá distinguirse entre el consumo final de cada región. Es decir, paralelamente a la carga atribuida a la demanda final de cada región en el balance estimado de CO₂ incorporado en el comercio entre ellas, cabe repartir sectorialmente, a través de la integración vertical, la responsabilidad de dicha polución. Cosa que permite la expresada formalización matricial¹⁵.

La metodología permite la realización de un doble análisis, por un lado, aplicando el modelo MRIO asignamos a cada región, a través del comercio interregional, las emisiones domésticas que éste incorpora de acuerdo con el consumo final regional del output de cada sector. Por otro lado, bajo la óptica de los subsistemas podemos analizar la responsabilidad de cada sector territorialmente agregado sobre cada región de forma desagregada. Es decir, podemos estimar las emisiones totales, directas e indirectas, generadas por ejemplo, por el sector de la construcción español para la demanda final de Cataluña de este sector, independientemente de la localización regional del sector, formando así un subsistema para Cataluña. Por lo tanto, la determinación del subsistema en este modelo se produce a través de la demanda final de un determinado territorio sobre el output de un sector agregado territorialmente. En definitiva, nos permite desagregar el impacto del subsistema desarrollado en Alcántara (1995) por la demanda final regional. Más adelante volveremos a esto.

A continuación, completamos el modelo de acuerdo con nuestro propósito, incluyendo en la expresión (2-6) los vectores diagonalizados de coeficientes de emisiones directas domésticas para cada región, tal que

$$\begin{bmatrix} f_{11}^y & f_{12}^y & f_{1w}^y \\ f_{21}^y & f_{22}^y & f_{2w}^y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{E}_{x1} & 0 \\ 0 & \hat{E}_{x2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L_{11} & L_{12} \\ L_{21} & L_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{y}_{11} & \hat{y}_{12} & \hat{y}_{1w} \\ \hat{y}_{21} & \hat{y}_{22} & \hat{y}_{2w} \end{bmatrix} \quad (2-7)$$

donde \hat{E}_{x1} es la matriz diagonal ($N \times N$) de coeficientes directos de emisión de CO₂ por unidad de output, de modo que cada elemento e_j^1 de la diagonal representa la cantidad directa de emisión por output producido en la región 1 por el sector j. De forma análoga para la región 2.

Por otro lado, y antes de continuar con la expresión (2-7), es interesante representar una matriz particionada ($2N \times 2N$) que indique los multiplicadores (Miller and Blair; 1985) de polución por unidad de output para la demanda final de la producción sectorial en cada región, de la siguiente manera

$$\begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} \\ P_{21} & P_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{E}_{x1} & 0 \\ 0 & \hat{E}_{x2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I - A_{11} & -A_{12} \\ -A_{21} & I - A_{22} \end{bmatrix}^{-1} \quad (2-8)$$

para la que, la submatriz P_{cs} , de tamaño ($N \times N$), representa la cantidad de polución por unidad de output generada por la región c 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}^{cs} , muestra la cantidad de emisión unitaria generada por el sector-i en la región c 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 muestra en Alcántara (1995;1999), es un operador lineal que convierte cualquier incremento de demanda final en un vector de emisiones contaminantes. Si premultiplicamos cada submatriz P_{cs} por un vector fila de dimensión (1xN), tal como $p'_{cs} = u p_{cs}$, obtendremos un vector fila (1xN) que mostrará las emisiones unitarias totales, directas e indirectas, generadas en la región c y requeridas por cada sector de la región s para la producción de una unidad de su output consumido finalmente en la misma región s. Es decir, p'_{cs} expresa el efecto multiplicador de la demanda final de cada sector en la región s sobre las emisiones totales generadas en la región c. Son los conocidos multiplicadores input-output interregionales (ver Miller and Blair, 1985) que estiman los efectos de cambios

exógenos en la demanda final de un determinado territorio sobre, en el caso del modelo presentado aquí, la polución generada en cada región. De este modo, al tratar con un modelo MRIO los multiplicadores indican los efectos intra e interregionales.

Volviendo a la interpretación de la expresión (2-7), el valor del resultado representado por f_{cs}^y indica la cantidad de CO₂ total generada por la producción de cada sector en c para la demanda final de s, siendo en este caso c={Cataluña, resto de España} y s={Cataluña, resto de España, resto del mundo}¹⁶. Como se ha comentado con anterioridad, la integración vertical sectorial realizada, a través de la diagonalización de la demanda final, es un valor añadido a la metodología usualmente utilizada para este tipo de análisis, en la que se determinaba únicamente la polución directa de cada sector en cada región¹⁷. Continuando con la interpretación del resultado, éste puede desagregarse con el objetivo de aumentar su capacidad explicativa e interpretativa, tal que cada submatriz del resultado final f_{cs}^y , de tamaño (NxN)¹⁸, puede expresarse, de acuerdo con el modelo presentado en Turner et al.(2007), como

$$f_{11}^y = \hat{E}_{x1} L_{11} \hat{y}_{11} + \hat{E}_{x1} L_{12} \hat{y}_{21} \quad (2-9) \quad f_{21}^y = \hat{E}_{x2} L_{21} \hat{y}_{11} + \hat{E}_{x2} L_{22} \hat{y}_{21} \quad (2-12)$$

$$f_{12}^y = \hat{E}_{x1} L_{11} \hat{y}_{12} + \hat{E}_{x1} L_{12} \hat{y}_{22} \quad (2-10) \quad f_{22}^y = \hat{E}_{x2} L_{21} \hat{y}_{12} + \hat{E}_{x2} L_{22} \hat{y}_{22} \quad (2-13)$$

$$f_{1w}^y = \hat{E}_{x1} L_{11} \hat{y}_{1w} + \hat{E}_{x1} L_{12} \hat{y}_{2w} \quad (2-11) \quad f_{2w}^y = \hat{E}_{x2} L_{21} \hat{y}_{1w} + \hat{E}_{x2} L_{22} \hat{y}_{2w} \quad (2-14)$$

donde las expresiones de la (2-9) a (2-11) representan la polución correspondiente a la producción en la región 1 para la demanda de las distintas regiones, como se ha definido anteriormente para la expresión f_{cs}^y . De forma análoga para las expresiones de la (2-12) a (2-14) de la región 2.

Cada expresión está formada básicamente por la suma de dos términos (en realidad son dos matrices de tamaño (NxN) cada una). Concretamente en la expresión (2-9), que indica la polución correspondiente a la producción realizada en la región 1 para la demanda final de la misma región, el primer término, $\hat{E}_{x1} L_{11} \hat{y}_{11}$, representa la contaminación correspondiente a los bienes y servicios producidos en la región 1 y consumidos por la demanda final de la región 1. Sin embargo, el segundo término, $\hat{E}_{x1} L_{12} \hat{y}_{21}$, muestra la contaminación incorporada en los bienes y servicios producidos en la región 1 y exportados a la demanda intermedia de la región 2, y que en última instancia son consumidos por la demanda final de la región 1 en forma de importaciones procedentes de la región 2, directamente consumidas por la demanda final de la región 1. De forma análoga para la expresión (2-13) de la región 2.

Asimismo, en las expresiones (2-10) y (2-11), que indican la polución incorporada en la producción realizada en la región 1 para la demanda final de la región 2 y resto del mundo respectivamente, el primer término de cada expresión, $\hat{E}_{x1} L_{11} \hat{y}_{12}$ y $\hat{E}_{x1} L_{11} \hat{y}_{1w}$, muestra la polución correspondiente a la producción en la región 1 de bienes y servicios exportados directamente para la demanda final de la región 2 y del resto del mundo, respectivamente. En cambio, el segundo término $\hat{E}_{x1} L_{12} \hat{y}_{22}$ y $\hat{E}_{x1} L_{12} \hat{y}_{2w}$, representa la contaminación incorporada en la producción de bienes y servicios en la región 1 y exportados para la demanda intermedia de la región 2, y que en última instancia son consumidos por la demanda final de la región 2 y del resto del mundo, respectivamente (éstas últimas, en forma de exportaciones de la región 2 al resto del mundo). De forma análoga para las expresiones (2-12) y (2-14) de la región 2.

Las expresiones analizadas nos indican, al máximo nivel de desagregación, los *feedbacks* y *spillovers* inter e intraregionales entre los distintos sectores. En realidad, aunque con otra denominación, son los conocidos *forward* y *backward linkages* analizados ampliamente en Alcántara (1995;1999) y Sánchez-Chóliz y Duarte (2003). Y por ejemplo, el efecto *spillover*, nos indica el esfuerzo que tienen que hacer las distintas ramas productivas de las diferentes regiones para hacer frente a la demanda final de un determinado sector de una determinada región, visto como un subsistema. Por otro lado, el efecto *feedback* indica el esfuerzo que un sector determinado, el subsistema anterior, de una región tiene que realizar con tal de proveer al resto de ramas productivas de las distintas regiones para que produzcan

los inputs necesarios que el subsistema en cuestión requiere para su demanda final. En los resultados presentados ambos efectos intersectoriales estarán agregados. Aunque a nivel regional los efectos interregionales de cada subsistema sí mostrarán los efectos desagregados que indican los sumandos de las expresión (2-9) a (2-14), y aunque se podría adaptar a nuestros resultados las denominaciones de los distintos efectos que se realiza en Padilla y Alcántara (2008), nos limitaremos a denominarlos como efecto directo o indirecto, en función de si la producción local va directamente dirigida a la demanda final como output (p.e. primer sumando de 2-9), en el efecto directo, o a la demanda intermedia como input (p.e. segundo sumando 2-9), en el indirecto (ver tabla 9 del anexo II).

Las matrices ($N \times N$) resultantes de las expresiones (2-9) a (2-14) deben ser premultiplicadas individualmente por un vector fila unitario ($1 \times N$), con el objetivo de obtener un vector fila resultante ($1 \times N$) que indique la emisión de CO_2 correspondiente, directa e indirectamente, a la demanda final de cada sector en cada región, de acuerdo con la explicación interpretativa realizada de dichas expresiones. De manera que $f_{cs}^T = u f_{cs}^y$, representa la polución total generada directamente en la región c correspondiente, directa e indirectamente, a la demanda final de cada sector de la región s . Es decir, por ejemplo f_{21}^T representa la polución total, directa e indirecta, correspondiente a la demanda final de cada sector de la región 1, de las emisiones totales generadas directamente en la región 2. Es decir, nos dice que cantidad de polución total generada en la región 2 requiere la demanda final de cada output sectorial de la región 1. De forma análoga para f_{12}^T . Estos vectores son sumamente importantes, puesto que por un lado nos muestran los vínculos interregionales comentados, y por otro nos sirven para el cálculo del balance neto interregional en CO_2 incorporado, desde un punto de vista alternativo que más adelante veremos.

En el caso de f_{11}^T es más sencillo, puesto que cada valor del vector representa las emisiones directas e indirectas correspondientes a la demanda final de cada sector en la región 1, de aquellas emisiones generadas directamente por cada sector en la región 1.

De acuerdo con la metodología presentada por McGregor et al. (2004a) y Turner et al.(2007) puede realizarse ahora, una primera estimación del balance en la emisión de CO_2 incorporado en el comercio entre Cataluña y el resto de España.

Antes de esto, se estima las emisiones totales generadas en el estado español para el consumo interior correspondientes a la demanda final de cada región analizada, tal que

$$f_1^T = f_{11}^T + f_{21}^T \quad (2-15) \quad \text{para la región 1}$$

$$f_2^T = f_{12}^T + f_{22}^T \quad (2-16) \quad \text{para la región 2}$$

Similarmente para el caso de n-regiones la expresión sería, por ejemplo, para la región 1

$$f_1^T = f_{11}^T + f_{21}^T + \dots + f_{n1}^T$$

De otra parte, a través de las expresiones (2-15) y (2-16) se calcula el balance comercial entre las demandas finales de los distintos outputs en términos de polución incorporada, entre la región 1 y 2

$$B_{C-RE}^E = f_{12}^T - f_{21}^T \quad (2-18)$$

en la que, la positividad del valor indicará un superávit en emisiones de CO₂ para la región 1 respecto al comercio con la región 2. Es decir, la polución generada por la producción de bienes y servicios en la región 1 para satisfacer la demanda final de la región 2, es mayor que la polución generada por la producción de bienes y servicios en la región 2 para satisfacer la demanda final de la región 1. De acuerdo con el principio de contabilidad de consumo de Munksgaard and Pedersen (2001), diríamos que la región 1 soporta una polución cuya responsabilidad corresponde a la región 2 desde la perspectiva del consumo y debería tenerse en cuenta en asuntos de política medioambiental a nivel estatal. Es la base teórica para la determinación de la huella ecológica. Un punto de vista discutible y, en cierta forma, excesivamente simplificador, ya que hasta qué punto una región puede responsabilizar a otra con similar nivel de desarrollo y recursos, de su mayor intensidad de polución en su proceso productivo?

Cabe recordar que dicho balance será calculado por sectores verticalmente integrados, por lo que cada balance neto sectorial, de manera individual, indicará lo que la demanda final del sector j en la región 2 hace contaminar, directa e indirectamente, a la región 1, menos lo que la demanda final del sector j (de la región 1) hace contaminar, directa e indirectamente, a la región 2. Es decir, por ejemplo, lo que este resultado nos dirá para el sector de la pesca es la diferencia entre las emisiones totales generadas en Cataluña por los diferentes sectores para satisfacer la demanda final de productos pesqueros en el resto de España y las emisiones totales generas en el resto de España por los diferentes sectores para satisfacer la demanda final de productos pesqueros en Cataluña. Lógicamente, como muestra las expresiones de la (2-9) a la (2-14), el objetivo final es la satisfacción de la demanda de productos pesqueros de la región vecina, pero el output local puede ir dirigido a la demanda intermedia o directamente a la demanda final (efecto indirecto o directo respectivamente, tabla 9 anexo II). De esta manera, el resultado se fija en la diferencia entre los impactos de la demanda de cada output sectorial y no de su producción directa, por lo que aunque el resultado total agregado sea el mismo, no lo es su asignación sectorial, ya que en este caso lo determinará la demanda final de cada sector.

Es una visión alternativa del balance en polución incorporado, centrándose en mayor medida en el impacto del consumo local de cada output en el exterior proveyendo de mayor información en este sentido. Puesto que los balances interregionales entre producciones directas, aunque son útiles para conocer en primera instancia en qué sector se genera la emisión, no nos informan del destino sectorial de su producción, es decir, no capta el impacto del consumo en una región de un determinado bien sobre la región de origen de ese bien.

Por otro lado, como hemos comentado, los resultados de las expresiones (2-15) y (2-16) también se obtienen verticalmente integrados por sector nacional para la demanda final de cada región, de manera que, f_1^T es un vector ($1 \times N$) que muestra la cantidad de polución directa e indirectamente generada por cada sector agregado territorialmente (en el conjunto de la economía española), observado como un subsistema en este sentido en el proceso de obtención de su demanda final en la región 1 (el ejemplo de la construcción para el total de la economía española que comentamos anteriormente). Como se ha señalado, esta formalización de los resultados es de gran utilidad para el análisis de los impactos ambientales de cada sector atendiendo a sus relaciones con todo el sistema productivo, gracias a la integración vertical²⁰.

Hasta el momento no se han tenido en cuenta las emisiones incorporadas en las importaciones que las regiones consideradas realizan procedentes del resto del mundo, por lo que las expresiones de (2-15) a (2-17) no contabilizan totalmente las emisiones regionales bajo el principio contable de demanda de Munksgaard and Pedersen (2001). Aún más considerando las importantes relaciones comerciales con el resto del mundo que ambas regiones tienen, así como la importante dependencia energética exterior sobradamente conocida.

2.3.- Modelo multi-región input-output (MRIO): el caso de 2 regiones bajo el análisis TELAS (trade endogenised linear attribution system) con sectores verticalmente integrados

Según el análisis MRIO realizado en Turner et al. (2007), en el cálculo de la huella ecológica total en CO₂, cada región/nación externa con relaciones comerciales con alguna de las dos regiones consideradas deben incluirse como regiones adicionales en la ecuación (2-7). Esto permitiría estimar con gran precisión las emisiones incorporadas en el comercio interregional y mejorar sustancialmente el análisis. Sin embargo, no se aplicará esta estructura para este trabajo, principalmente por dos razones. En primer lugar, la gran cantidad de información no disponible que el modelo necesitaría, puesto que más del 35% de las importaciones que llegan a Cataluña y el resto de España del extranjero proceden de lugares como China, Corea del Sur, África, la Europa del Este, etc...(según datos del INE para el 2001) para las cuales no se dispone de la información necesaria para una aplicación suficientemente rigurosa de la metodología. Sin embargo, la inclusión de algunos países Europeos y otros como México y Estados Unidos, con gran peso en el comercio exterior de las regiones aquí tratadas, y con la disponibilidad de los datos requeridos, mejoraría de forma sustancial nuestra estimación en futuros trabajos.

En segundo lugar, como se argumenta en el trabajo de McGregor et al. (2004 a), bajo el enfoque político que marca el Protocolo de Kyoto, al responsabilizar al territorio donde se producen las emisiones de su reducción, nos interesa en mayor medida analizar un posible “criterio de responsabilidad” de la polución generada en los bienes exportados por la economía española para su asignación interna entre las distintas regiones, el cual se realizará

en este trabajo en función de la demanda final de importaciones del extranjero de cada una bajo el supuesto neoclásico aplicado a economías abiertas, en el cual las exportaciones financian las importaciones (Dixit and Norman, 1980). A parte de las discutibles conclusiones en cuanto al criterio de responsabilidad regional de las emisiones que la siguiente técnica presenta, la principal razón de su uso para este trabajo consiste en la mejora interpretativa que supone en cuanto a las interrelaciones regionales e intensidad en polución. Por lo que se pretende que sirva más como mecanismo de análisis de dichas relaciones interregionales y comparación de la intensidad de polución de las estructuras productivas, que como un utensilio de política medioambiental nacional.

En el siguiente apartado se aplicará la estructura metodológica del análisis TELAS para la consideración de la actividad productiva del resto del mundo por el modelo MRIO de acuerdo con el trabajo de McGregor et al. (2004 a;b). La metodología consiste en endogeneizar el comercio con el resto del mundo de la misma forma que se realiza con el consumo final de los hogares en los análisis estándares tipo II (ver Miller and Blair (1985) y McGregor et al. (2004 a,b)). Los modelos input-output abiertos descansan en unas hipótesis excesivamente simplificadoras, como son la exogeneidad de la demanda final y los valores añadidos (curvas de demanda y oferta, vertical y horizontal respectivamente), así como unas relaciones lineales entre todas las variables. Especialmente en el caso de la demanda de los hogares, la caracterización de exogeneidad entra en tensión con la teoría económica básica. El consumo por parte de las familias de los outputs de cada sector desde la perspectiva de los usos esta relacionado con los ingresos que reciben como salarios de los diferentes sectores desde la perspectiva de los recursos; es decir, la cantidad de sus compras están relacionadas con su ingreso salarial, el cual depende del output de cada sector, de forma general. Por este motivo, los análisis tipo II endogenizan los hogares como un sector adicional, moviendo su actividad de la columna de demanda final a la tabla tecnológicamente interrelacionada²¹. De esta manera se relaja el primer supuesto de exogeneidad de demanda final.

De acuerdo con este enfoque, se desarrolla el análisis metodológico TELAS para el comercio con el resto del mundo de las regiones consideradas en el apartado anterior. De esta manera, se endogeniza la demanda final correspondiente al resto del mundo (RM a partir de ahora) en la matriz tecnológica multi-región, de igual forma que se realiza en los análisis estándares tipo II mencionados. Es decir, cerramos el modelo respecto al RM. Este proceso

requiere añadir a la matriz tecnológica multi-región una fila y columna extra correspondiente al nuevo sector construido que representa al RM, es decir, en lugar de incluir las exportaciones al RM para cada región por sector como un vector de demanda final, y_{cw} , se crea un sector productivo estatal adicional en la matriz particionada A. Un nuevo sector R, el cual produce las importaciones requeridas por cada sector en ambas regiones (fila extra), las cuales financia a través de las exportaciones que recibe de cada sector de cada región (columna extra).

De este modo, para esta formalización, la columna extra incluirá las exportaciones realizadas al resto del mundo (región w), vía ventas al sector R por cada sector i, producidas en la región c, x_{iR}^{cw} , y éstas por unidad total de importaciones requeridas en la economía española (ESP) como un todo, M_j^{ESP} para determinar los coeficientes técnicos del sector R, tal que

$$a_{iR}^{cw} = \frac{x_{iR}^{cw}}{M_j^{ESP}} \quad (3-1)$$

donde M_j^{ESP} se interpreta como el output total del sector R (incluye las importaciones para el consumo final de cada región) a efectos del modelo.

Por otro lado, las entradas de la fila extra de la particionada matriz-A incluye las importaciones consumidas por cada sector j en cada región s procedentes del resto del mundo, vía compras al sector R, m_{Rj}^{ws} , por unidad de output total del sector j de la región s, X_j^s .

$$a_{Rj}^{ws} = \frac{m_{Rj}^{ws}}{X_j^s} \quad (3-2)$$

Los coeficientes de la emisión generada en la producción de los bienes y servicios importados por el conjunto de la economía española, correspondientes al output del sector R, e_R^{ESP} , se supone igual a cero. Es decir, no se le atribuyen a su producción las emisiones

generadas directamente, sino que las emisiones generadas directamente por las regiones 1 y 2 en su proceso productivo, son incorporadas indirectamente en las ventas intermedias realizadas al sector R (exportaciones al RM antes). De modo que, al calcular la expresión (2-7) bajo la estructura metodológica TELAS para la demanda final del RM, a cada sector o demanda final de cada región que importa inputs procedentes del RM se le atribuirá la parte de la polución incorporada en las exportaciones totales realizadas por cada sector en cada región al sector R, requeridas por éste para financiar dichas importaciones.

En realidad no se trata de estimar la polución incorporada en las importaciones, es decir, no se trata de calcular las emisiones generadas en el exterior de España (considerada en conjunto) para satisfacer la demanda final de España, sino contabilizar las emisiones generadas dentro del estado para satisfacer el consumo final del estado (emisiones incorporadas en las exportaciones que vuelven incorporadas en las importaciones para la demanda doméstica). Según esta metodología, como explica el autor en McGregor et al. (2004 a,b), se considera la aplicación del principio contable de producción de Munksgaard and Pedersen (2001) para el comercio entre el conjunto de la economía española y el resto del mundo (RM), y la aplicación del principio contable de consumo para el comercio entre las regiones de Cataluña y el resto de España²². Es decir, la polución total generada en el proceso productivo doméstico de la economía española de bienes y servicios exportados corresponderá en su totalidad a la demanda final total estatal, y no a la demanda del RM, con el objetivo de atribuir la responsabilidad al territorio donde se produce. Entonces se asignan interiormente entre las regiones 1 y 2 en función de la demanda final de las importaciones del RM de cada región.

Cabe mencionar el hecho de que la economía española presenta un importante déficit comercial con el exterior, y así mismo en el caso de cada región considerada por separado. Además distintos estudios nos hacen pensar que la intensidad media de la polución incorporada en las importaciones procedentes del RM para la demanda final española (y de cada región), como economía desarrollada y fuerte propensión importadora, es mayor a la incorporada en las exportaciones al RM²³. Por lo que el impacto en cuanto a emisión de CO₂ de la demanda final de las regiones 1 y 2, es decir, la huella ecológica en estos términos, estará sustancialmente subestimada. Sin embargo, puede ser de gran utilidad para el análisis del balance comercial en polución incorporada entre las regiones, puesto que el valor del éste

puede variar considerablemente, ya que por ejemplo, puede considerarse que las exportaciones de una región pueden ser requeridas para financiar las importaciones de la otra. En este sentido, el balance comercial de cada región por separado con el RM puede ser determinante (ver McGregor et al. (2004 a))

A continuación incluimos en la expresión (2-7) la columna y la fila adicional representadas por las expresiones (3-1) y (3-2) y el resto de modificaciones necesarias, tal que

$$\left[\begin{array}{cc} f_{11}^y & f_{12}^y \\ f_{21}^y & f_{22}^y \end{array} \right] = \left[\begin{array}{cc|c} \hat{E}_{x1} & 0 & 0 \\ 0 & \hat{E}_{x2} & 0 \\ \hline 0 & 0 & e_T \end{array} \right] \left[\begin{array}{cc|c} L_{11} & L_{12} & l_{1R} \\ L_{21} & L_{22} & l_{2R} \\ \hline l_{R1} & l_{R2} & l_{RR} \end{array} \right] \left[\begin{array}{cc} \hat{y}_{11} & \hat{y}_{12} \\ \hat{y}_{21} & \hat{y}_{22} \\ \hline y_{R1} & y_{R2} \end{array} \right] \quad (3-3)$$

donde las filas y columnas adicionales se separan con una línea con el objetivo de visualizar la formalización del modelo bajo la metodología TELAS para el resto del mundo²⁴.

$\begin{bmatrix} l_{1R} \\ l_{2R} \\ l_{RR} \end{bmatrix}$ y $[l_{R1} \ l_{R2} \ | \ l_{RR}]$ Son vectores de dimensión (Nx1) y (1xN) respectivamente, situados dentro de la Inversa de Leontief, resultantes de añadir a la matriz tecnológica particionada la fila y columna representadas por las entradas mostradas en las expresiones (3-1) y (3-2).

En (3-3) y_{R1} e y_{R2} son dos escalares correspondientes a las importaciones del RM directamente consumidas por la demanda final de la región 1 y 2 respectivamente.

Como ya se ha comentado $e_T = 0$.

Las submatrices f_{cs}^y resultantes incluyen ahora las emisiones incorporadas en las importaciones consumidas por la demanda intermedia y demanda final de cada región (no se analizan las coincidentes con las expresiones (2-9) a (2-14), puesto que la interpretación es la misma que en la sección anterior incluyendo el efecto de las importaciones).

$$f_{11}^y = \hat{E}_{x1} L_{11} \hat{y}_{11} + \hat{E}_{x1} L_{12} \hat{y}_{21} + E_{x1} l_{1R} y_{R1} \quad (3-4)$$

$$f_{12}^y = \hat{E}_{x1} L_{11} \hat{y}_{12} + \hat{E}_{x1} L_{12} \hat{y}_{22} + E_{x1} l_{1R} y_{R2} \quad (3-5)$$

$$f_{21}^y = \hat{E}_{x2} L_{21} \hat{y}_{11} + \hat{E}_{x2} L_{22} \hat{y}_{21} + E_{x2} l_{2R} y_{R1} \quad (3-6)$$

$$f_{22}^y = \hat{E}_{x2} L_{21} \hat{y}_{12} + \hat{E}_{x2} L_{22} \hat{y}_{22} + E_{x2} l_{2R} y_{R2} \quad (3-7)$$

en la expresión (3-4), $E_{x1} l_{1R} y_{R1}$, muestra la emisión, directa e indirecta, incorporada en la parte de los outputs producidos en la región 1 y vendidos (exportados) al sector R (resto del mundo) que éste requiere para financiar su output en forma de importaciones directamente consumidas por la demanda final de la región 1 procedente del sector R.

De la expresión (3-5), $E_{x1} l_{1R} y_{R2}$, muestra la emisión, directa e indirecta, incorporada en la parte de los outputs producidos en la región 1 y vendidos (exportados) al sector R (resto del mundo) que éste requiere para financiar su output en forma de importaciones directamente consumidas por la demanda final de la región 2 procedente del sector R.

De forma análoga para las expresiones (3-6) y (3-7).

Ahora el cálculo del balance en CO₂ incorporado en el comercio, realizado a través de la expresión (2-18) del apartado anterior, incluye las emisiones domésticas incorporadas en las exportaciones que “retornan en forma de importaciones”, con el objetivo de atribuir la responsabilidad al productor doméstico respecto de la polución incorporada en las exportaciones al exterior, de acuerdo con el principio contable de producción de Munksgaard and Pedersen (2001) y acorde con la metodología de estimación de la responsabilidad territorial de las emisiones del Protocolo de Kyoto. Así mismo, también las incluirán las expresiones (2-15) y (2-16) estimadas bajo la técnica TELAS, así el resultado indicará qué parte de las emisiones totales generadas en el territorio español (tanto para demanda nacional

como extrajera) corresponden a cada región en función de su consumo total tanto de producción interior como de importaciones.

En definitiva, el modelo asigna a cada región las emisiones incorporadas en las exportaciones de la producción interior de acuerdo con el consumo de importaciones de la demanda final de cada una, es decir, en realidad asigna la emisiones incorporadas a las exportaciones entre las importaciones recibidas. Por lo que, el impacto de la demanda final de cada territorio en la atmósfera estará acotado por el total de emisiones generadas en el proceso productivo local, de manera que no puede considerarse, y así se ha tenido en cuenta en el trabajo, como una estimación de la huella ecológica en CO₂, excesivamente subestimada para la tipología de regiones consideradas. Sin embargo, su aplicación es útil en el análisis del balance interregional y en su interpretación, ya que nos permite analizar los impactos relativos de ambas regiones respecto al RM, en función de la intensidad en la emisión y las relaciones comerciales nacionales e internacionales.

3.- BASE DE DATOS Y PREPARACIÓN

Para toda investigación, la recopilación de los datos necesarios y su preparación forman una de las tareas más importantes y a su vez, en muchas ocasiones, más laboriosas del trabajo. Este es el caso de los modelos multi-región input-output a los que el trabajo de Isard W(1951) da nombre. Como dice el autor en Pulido (1992): “*el usuario del análisis input-output a escala regional puede caer en el espejismo de imaginar tablas completas, actualizadas y fiables, que admitan todo tipo de maravillosos inventos metodológicos. Pero la realidad es muy distinta y la disponibilidad de la información, con todos sus matices, tiene necesariamente que ser el punto de partida*”.

A continuación se explica la preparación de la base de datos para hacerla funcional a las necesidades que el presente trabajo requiere. La base de datos principal son las tablas input-output simétricas para Cataluña 2001 (TIOC-2001) elaboradas por el Institut d' Estadística de Catalunya (IDESCAT), la tablas de origen y destino (producto x industria) de la economía española para el 2001 elaboradas por el Instituto Nacional de Estadística (INE) y

la información procedente del inventario de emisiones atmosféricas CORINAIR (Core Inventory of Air Emissions Environment) que pública el Ministerio de Medio Ambiente a nivel nacional y regional.

3.1.- Requerimientos de datos para el modelo multi-región input-output

En esta sección se señala los datos requeridos y los métodos utilizados para la obtención de las tablas del modelo MRIO. La tabla siguiente muestra la estructura esquemática de trabajo para el análisis realizado en la sección 2.3,

Tabla 1. Estructura esquemática del modelo MRIO para Cataluña-resto de España. Aplicación TELAS para el comercio exterior

		CATALUÑA		RESTO DE ESPAÑA		RESTO DEL MUNDO
	INPUT PARA OUTPUT DE ↓	DEMANDA INTERMEDIA SECTORES i=1...N	DEMANDA FINAL C+I+X	DEMANDA INTERMEDIA SECTORES i=1...N	DEMANDA FINAL C+I+X	
CATALUÑA	SECTORES i=1 " " " N	TABLA INPUT-OUPUT INTERIOR PARA CATALUÑA MATRIZ DEMANDA INTERMEDIA	TABLA INPUT-OUPUT INTERIOR PARA CATALUÑA MATRIZ DEMANDA FINAL	TABLA DE DESTINO DE IMPORTACIONES DE CATALUÑA MATRIZ DEMANDA INTERMEDIA	TABLA DE DESTINO DE IMPORTACIONES DE CATALUÑA MATRIZ DEMANDA FINAL	ESPORTACIONES AL RESTO DEL MUNDO VECTOR POR SECTOR
RESTO DE ESPAÑA	SECTORES i=1 " " " N	TABLA DE DESTINO DE IMPORTACIONES DEL RESTO DE ESPAÑA MATRIZ DEMANDA INTERMEDIA	TABLA DE DESTINO DE IMPORTACIONES DEL RESTO DE ESPAÑA MATRIZ DEMANDA FINAL	TABLA INPUT-OUPUT INTERIOR PARA RESTO DE ESPAÑA MATRIZ DEMANDA INTERMEDIA	TABLA INPUT-OUPUT INTERIOR PARA RESTO DE ESPAÑA MATRIZ DEMANDA FINAL	ESPORTACIONES AL RESTO DEL MUNDO VECTOR POR SECTOR
R.M.		TABLA DE DESTINO DE IMPORTACIONES DEL RESTO DEL MUNDO MATRIZ DEMANDA INTERMEDIA	TABLA DE DESTINO DE IMPORTACIONES DEL RESTO DEL MUNDO MATRIZ DEMANDA FINAL	TABLA DE DESTINO DE IMPORTACIONES DEL RESTO DEL MUNDO MATRIZ DEMANDA INTERMEDIA	TABLA DE DESTINO DE IMPORTACIONES DEL RESTO DEL MUNDO MATRIZ DEMANDA FINAL	

Por columnas se muestra los inputs requeridos por el proceso productivo de cada sector y el gasto de la demanda final, para las dos regiones, así como la demanda total por parte del resto del mundo (RM) de las exportaciones. Las filas indican el destino del output por sector de cada región, incluyendo las importaciones procedentes del RM. Puede deducirse de la tabla 1 los datos requeridos para construir un modelo MRIO para Cataluña y el resto de España para

el año 2001, aplicando la metodología TELAS para el comercio exterior²⁵. De este modo se requiere:

- Las tablas input-output (TIO) simétricas (industria por industria, o producto por producto) a precios básicos para cada región para el año 2001. Desagregadas sectorialmente con la correspondencia entre los distintos sectores de ambas regiones (la comparabilidad sectorial entre ambas TIO es prácticamente directa, no ha habido problema en este aspecto). Las TIO deben estar desagregadas en la tabla correspondiente a la producción interior regional y a las importaciones, tanto de las procedentes de la otra región considerada como del resto del mundo.
- Las exportaciones realizadas por cada sector de cada región al resto del mundo y a la otra región considerada. La información respecto al comercio entre las regiones consideradas en un modelo MRIO son esenciales para su estudio. La problemática respecto a la disponibilidad de estos datos es causa de numerosos estudios de investigación, con el objetivo de establecer metodologías de estimación de estos flujos comerciales interregionales. Trabajos como Llano,C (2004), Allan,G et al.(2004), McGregor et al.(2004 b), Benvenuti et al.(1996) o Lenzen et al.(2004), A.Pulido (1992) entre muchos otros, tratan este asunto con distintas aportaciones.

Como se muestra a continuación, el caso de España no es la situación idílica representada por la tabla 1²⁶.

3.2.- Preparación de la base de datos para la región Cataluña

Los datos requeridos para Cataluña se encuentran de forma directa en las TIOC-2001 (tabla input-output de Cataluña). De esta manera disponemos de las TIO necesarias, todas ellas a precios básicos, correspondientes a la producción interior de Cataluña y a las importaciones procedentes del resto de España y del extranjero. Las TIOC también disponen de las exportaciones al extranjero y al resto de España como demanda final desagregadas por sector. Por lo tanto se dispone directamente de las submatrices A_{11} y A_{21} de la matriz

tecnológica multi-región, de los vectores de demanda final y_{11} , y_{21} , y_{w1} e y_{1w} y del total de las importaciones del resto del mundo por sector $M_j^{W,CAT}$.

A efectos de cálculo se ha utilizado un nivel de desagregación de 44 sectores, aunque los resultados se presentarán de forma más agregada, en 17 ramas productivas. Esto, aunque complica el cálculo matricial, permite una imputación de las emisiones atmosféricas a los sectores productivos más rigurosa, aunque aún lejos de la deseada.

3.3.- Preparación de la base de datos para la región resto de España

Los datos correspondientes a la región del resto de España no están disponibles de forma directa, han sido estimados a partir de las tablas de origen y destino nacionales, elaboradas por el INE para el 2001, y las TIOC-2001 elaboradas por el IDESCAT.

Paso 1: estimar la TIO-2001 simétrica para España

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 asignando 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. Se ha seguido para estas dos operaciones de aproximación metodológica el supuesto de *tecnología de industria* (United Nations,1999).

La estimación de la TIO simétrica a partir del supuesto de tecnología de industria asume que todos los productos de una rama de actividad se producen con la misma tecnología o misma estructura de insumos. 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). De esta manera tenemos que la relación básica de la tabla de destino puede expresarse como sigue

$$q = Bg + Y \quad (4-1)$$

con

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

donde U es la matriz de destino, \hat{g} es la diagonal del vector de output industrial, q es la producción de outputs e Y la 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

$$g = D \cdot q \quad (4-3)$$

para

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

donde M es la matriz de origen.

De este modo, sustituyendo (4-3) en (4-1) se obtiene la relación básica de la tabla input-output simétrica

$$q = BDq + Y \quad (4-5)$$

donde BD es la matriz de coeficientes técnicos estándar A .

Paso 2: estimar la TIO para las importaciones procedentes del resto del mundo

Para la estimación de las importaciones realizadas por la región resto de España procedentes del resto del mundo se ha utilizado los coeficientes de destino de la TIO española de las importaciones, para las importaciones resultantes de restar al total de las realizadas por la economía española, las importaciones realizadas por Cataluña procedentes del resto del mundo, presentes en la TIOC. Metodología utilizada, por ejemplo, por los autores en Lenzen et al.(2004) y Llano C (2004).

De esta manera, cada valor intersectorial de la TIO de las importaciones procedentes del resto del mundo (W) para la región del resto de España (RE), $m_{ij}^{W,RE}$, se representa por

$$m_{ij}^{W,RE} = M_i^{W,RE} \cdot \left(\frac{m_{ij}^{ESP}}{M_i^{ESP}} \right)$$

donde²⁷ $M_i^{W,RE}$, es el vector de dimensión (44x1) que representa las importaciones totales recibidas, desagregadas por tipo de output sectorial i, cuya rama sectorial coincide con la del sector interior i. Las cuales se reparten entre lo consumido como input por cada sector j, formando la matriz de destino de las importaciones del RM con elementos $m_{ij}^{W,RE}$. M_i^{ESP} indica el vector (44x1) del total de importaciones procedentes del resto del mundo realizadas por la economía española por tipo de output, si tenemos que $M_i^{W,CAT}$ son las correspondientes a la región de Cataluña, entonces

$$M_i^{W,RE} = M_i^{ESP} - M_i^{W,CAT}$$

donde $M_i^{ESP} = \sum_{j=1}^n m_{ij}^{ESP} + y_i^{M,ESP}$ (de forma análoga para $M_i^{W,CAT}$)

para la que m_{ij}^{ESP} son los elementos de la TIO española de importaciones, matriz de dimensión (44x44), y en la que $y_i^{M,ESP}$ es el vector (44x1) correspondiente al consumo final de las importaciones realizadas por la economía española. De la misma forma, puede estimarse las importaciones del RM consumidas directamente por la demanda final del resto de España, $y_i^{M,W(RE)}$, como sigue

$$y_i^{M,W(RE)} = M_i^{W,RE} \bullet \left(\frac{y_i^{M,ESP}}{M_i^{ESP}} \right)$$

las cuales son requeridas para la formación del vector de demanda final y_{2w} del modelo MRIO. De modo que el total de importaciones del resto de España procedentes del RM, queda en forma de vector (1x44), tal que

$$M_i^{W,RE} = \sum_{j=1}^n m_{ij}^{W,RE} + y_i^{M,W(RE)}$$

El supuesto implícito de esta metodología es la igualdad entre los coeficientes de distribución de las importaciones procedentes del resto del mundo que realiza el resto de España y los totales nacionales. No ha sido posible aplicar la opción metodológica aportada por McGregor et al.(2004 b) y Allan G et al.(2004) por insalvables incongruencias en los resultados de la matriz resultante, debido muy probablemente, a los distintos métodos de elaboración de la TIO para España y Cataluña. Esta metodología se basa en restar a la TIO nacional de importaciones la TIO regional disponible de importaciones (del RM), casilla por casilla de cada tabla. La presencia de determinados valores negativos (y positivos pero incongruentes) muestra las limitaciones en la comparabilidad de la TIO española y la TIOC, que hace pensar en una urgente integración de criterios metodológicos en la elaboración de las TIO regionales y nacional.

Paso 3: estimar la tabla TIO para las importaciones procedentes de Cataluña

Para el cálculo de la TIO correspondiente a las importaciones procedentes de Cataluña realizadas por el resto de España, vector (44x1) $M_i^{CAT,RE}$, se ha utilizado el vector de exportaciones al resto del estado, $Z_i^{CAT,RE}$ (note que $M_i^{CAT,RE} = Z_i^{CAT,RE}$), que incluye la demanda final de las TIOC desagregadas por sector productivo. De este modo, es necesario la obtención de los valores de dicha TIO, tales como $m_{ij}^{CAT,RE}$, para la obtención de la submatriz A_{12} de la matriz tecnológica multi-región.

La metodología aplicada se basa en la utilizada en el trabajo de Allan G et al.(2004) bajo la suposición de que los sectores y la demanda final de la región del resto de España utilizan como input (consumo) el output por sector producido en Cataluña en la misma proporción que lo hace la economía española. Esto se traduce en asignar al resto de España las importaciones por sector procedentes de Cataluña, de acuerdo con los coeficientes de distribución de la producción sectorial interior española presente en la TIO (interior), tal que

$$m_{ij}^{CAT,RE} = M_i^{CAT,RE} \bullet \left(\frac{\mathbf{x}_{ij}^{ESP}}{X_i^{ESP}} \right)$$

donde \mathbf{x}_{ij}^{ESP} son los elementos de la matriz (44x44) correspondiente a la TIO española de producción interior agregada (output producido en España por el sector-i y consumido como input por el sector j) y X_i^{ESP} representa el output total por sector i.

Por otro lado, la parte del consumo de las importaciones procedentes de Cataluña correspondiente a la demanda final del resto de España, $y_i^{M,CAT(RE)}$, se estima de forma similar

$$y_i^{M,CAT(RE)} = M_i^{CAT,RE} \bullet \left(\frac{\mathbf{y}_i^{ESP}}{X_i^{ESP}} \right)$$

De este modo obtenemos el vector de demanda final y_{12} del modelo MRIO. De modo que el total de importaciones del resto de España procedentes de Cataluña, queda tal que

$$M_i^{CAT,RE} = \sum_{j=1}^n m_{ij}^{CAT,RE} + y_i^{M,CAT(RE)}$$

Puesto que

$$\left(\frac{y_i^{ESP}}{X_i^{ESP}} \right) + \left(\frac{x_{ij}^{ESP}}{X_i^{ESP}} \right) = 1$$

Paso 4: estimar la TIO para producción interior del resto de España

La tabla de relaciones intersectoriales interna ha sido determinada a través de la TIO de producción interior española simétrica y la TIOC, ambas para el año 2001, a precios básicos²⁸ y agregadas a 44 sectores. Una situación de disponibilidad estadística ideal para el modelo MRIO, en la que la elaboración de ambas tablas se basase en criterios metodológicamente integrados, permitiría la opción de obtener directamente la TIO de producción interior para la región del resto de España, restando a la TIO simétrica española de producción interior la análoga catalana, incluyendo las importaciones del resto de España, y la TIO simétrica del resto de España correspondiente a las importaciones procedentes de Cataluña. Así lo hacen en Allan G et al.(2004) en su investigación para el Reino Unido. Como se ha comentado anteriormente, no ha sido esta una opción válida para este trabajo, los valores resultantes de dicho método han provocado que, entre la negatividad e incongruencia de éstos, se haya optado por una metodología alternativa para la estimación.

En primer lugar se obtiene el consumo de inputs intermedios totales por sector j (por columnas) de la producción interior del resto de España CI_j^{RE} , como sigue

$$CI_j^{RE} = CI_j^{ESP} - CI_j^{CAT} - Z_j^{RE,CAT} - M_j^{CAT,RE}$$

donde CI_j^s muestra el consumo total de inputs intermedios por el sector j, producidos en la región s por los distintos sectores. $Z_j^{RE,CAT}$ indica la parte de inputs intermedios consumidos por el sector j en Cataluña, correspondiente a las exportaciones que el resto de España realiza para la demanda intermedia de Cataluña (suma vertical de la submatriz A_{21}) y $M_j^{CAT,RE}$ muestra la parte de inputs intermedios consumidos por el sector j correspondiente a las importaciones que el resto de España realiza procedentes de Cataluña. Es decir, estos dos últimos datos indican el consumo intermedio contabilizado como interno para la TIO española, pero que corresponden a relaciones interregionales para la TIO del resto de España y Cataluña.

Una vez obtenido CI_j^{RE} cabe asignar su valor a los diferentes sectores de acuerdo con los coeficientes nacionales de participación en la producción (mix de producción), pudiendo llegar, de esta forma, a determinar los consumos intermedios por rama compradora. Implícitamente estamos suponiendo igualdad entre la tecnología de los sectores del resto de España y los nacionales. Un supuesto aplicado por diferentes autores en los modelos MRIO, para aquellas regiones sin disponibilidad de TIO regional, como es el caso de Llano C (2004) y Boomsma et al. (1992), y recomendado en A. Pulido (1992).

Formalmente las entradas x_{ij}^{RE} , que forman la TIO de la producción interior para el resto de España, se expresan de manera que

$$x_{ij}^{RE} = CI_j^{RE} \cdot \left(\frac{x_{ij}^{ESP}}{CI_j^{ESP}} \right)$$

Con la producción efectiva conocida por ramas productivas, lo siguiente es determinar los vectores de reparto de la demanda final. Siguiendo la metodología utilizada en Allan G et al.(2004) y McGregor et al.(2004 b), se obtiene la demanda final correspondiente al resto de España, DF^{RE} , tal que

$$DF^{RE} = DFI^{ESP} - DFI^{CAT} + (Z^{ESP,W} - Z^{CAT,W}) + Z^{RE,CAT}$$

donde DFI^{ESP} y DFI^{CAT} representan el total de la demanda final interna de la producción interior de España y Cataluña respectivamente. $(Z^{ESP,W} - Z^{CAT,W})$ resulta el vector de exportaciones del resto de España al RM, y $Z^{RE,CAT}$ es el vector de exportaciones del resto de España a Cataluña.

De modo que si cada elemento de DF^{RE} se expresa como y_i^{RE} , tenemos que, el output total interior correspondiente al sector-i del resto de España, X_i^{RE} , se expresa tal que

$$X_i^{RE} = \sum_{j=1}^n X_{ij}^{RE} + y_i^{RE}$$

Obteniendo así la matriz A_{22} y el vector y_{22} del modelo MRIO.

3.3.- Obtención de las emisiones contaminantes atmosféricas por sector

Para la elaboración de la contabilidad de emisiones atmosféricas requeridas por el trabajo, de acuerdo con el sistema NAMEA²⁹ (*National accounting matrix including environmental accounts*), se ha utilizado como base de datos las estadísticas de emisiones atmosféricas del inventario CORINAIR (Core Inventory of Air Emissions Environment) que publica el Ministerio de Medio Ambiente. El ministerio, a partir del inventario estatal procede a su regionalización, ambas han sido utilizadas para este trabajo. La correspondiente a las emisiones de la región del resto de España se obtiene de la diferencia de las totales estatales y las regionales para Cataluña. La información que proporciona este inventario se encuentra desagregada por procesos de producción, y no por ramas productivas, de acuerdo con la clasificación SNAP (Selected Nomenclature for sources of Air Pollution). El primer paso consiste en asignar a cada uno de los 44 sectores de nuestras TIO regionales, las emisiones correspondientes a los distintos procesos de producción de la clasificación SNAP, teniendo en cuenta las experiencias piloto publicadas por la Unión Europea y los criterios de imputación seguidos por el INE en España³⁰.

Cabe mencionar que las emisiones contaminantes consideradas para este trabajo corresponden a la cantidad de dióxido de carbono emitido a la atmósfera en unidades equivalentes, correspondiente a los denominados gases de efecto invernadero, que la siguiente tabla muestra con su correspondiente “*potencial del calentamiento de la Tierra*” medido en toneladas de CO₂ equivalentes definidas en el Panel Internacional sobre el Cambio Climático en 1995.

Gas de calentamiento de la Tierra	CO ₂	N ₂ O	CH ₄	CFC	HCFC	PFC	SF ₆
Factores de GWP ₁₀₀	1	310	21	3400-1300	140-1800	4500-6200	23900

Fuente: INE

Con el objetivo de simplificar los cálculos, únicamente se han considerado los gases CO₂, N₂O, CH₄ y SF₆ por su equivalencia directa con el CO₂

4.- ANÁLISIS EMPÍRICO

Atendiendo a las diferentes metodologías analizadas y a la base de datos disponible tras su preparación, pasa a mostrarse y analizarse los diferentes resultados consecuentes de su aplicación, que tratan de aproximar una estimación del CO₂ “equivalente” incorporado en el comercio entre Cataluña y el exterior, y especialmente, entre Cataluña y el resto de España para el año 2001. Desde una perspectiva de responsabilidad interregional y sectorial. En primer lugar, con el objetivo de establecer una visión general de la situación de cada sector en ambas regiones se presentan seguidamente las tablas 2 y 3

Asimismo, a título informativo, en la tabla 15 del anexo II se presentan los coeficientes directos de emisión unitarios desagregados en 44 sectores para ambas regiones. Esta información complementa los resultados obtenidos y es básica para el análisis y argumentación de los resultados de los próximos apartados de esta sección, por lo que se recomienda su observación para la interpretación de éstos.

La emisión total de CO₂ “equivalente” generada en el estado español en el 2001 por las ramas productivas (sin incluir la realizada por las unidades familiares) según los datos del inventario CORINAIR, fue de 339.127 kt, en las que tampoco se incluyen las emisiones correspondientes al transporte por carretera realizado por los hogares para el uso privado. Una limitación importante es que en los datos presentados no están presentes las emisiones generadas en la actividad de consumo del output final. La actividad productiva de Cataluña generó directamente algo más del 12% del total de emisiones estatales, un total de 38.290,9 kt. Por lo que, el total de las emisiones restantes 300.836,1 kt; corresponden a la actividad del resto de España.

Tabla 2.-EMISIONES TOTALES (DIR+IND) GENERADAS EN CATALUÑA POR SECTOR (EN KT)

RAMAS PRODUCTIVAS	Emisión directa de CO ₂ (1)	% emisión directa	Emisión total de CO ₂ (2)	% emisión total	multiplicador sectorial (2)/(1)
Agricultura, ganadería, caza, selvicultura y pesca	6056,5	15,8%	1757,8	4,6%	0,3
Coquerías, refino, combustibles nucleares e industrias extractivas	5111,62	13,3%	2499,67	6,5%	0,5
Producción y distribución de energía (incluido agua)	2241,13	5,9%	1398,65	3,7%	0,6
Industrias alimenticias, bebidas y tabaco	496,48	1,3%	4783,04	12,5%	9,6
Industria textil, peletería y cuero	277,54	0,7%	892,08	2,3%	3,2
Industria de la madera, corcho, papel y artes gráficas	425,5	1,1%	620,6	1,6%	1,5
Industria química, caucho y plástico	3098,4	8,1%	3443,0	9,0%	1,1
Fabricación de otros productos minerales no metálicos	9027,8	23,6%	4025,1	10,5%	0,4
Metalurgia, prod metálicos, maquinaria, eléctrico, electrónico y precisión	651,2	1,7%	1473,3	3,8%	2,3
Industria de vehículos de transporte	167,5	0,4%	968,7	2,5%	5,8
Reciclaje y otras industrias	105,1	0,3%	277,8	0,7%	2,6
Construcción	129,2	0,3%	4263,8	11,1%	33,0
Vehículos y reparación	255,2	0,7%	1603,1	4,2%	6,3
Hostelería	92,1	0,2%	1382,9	3,6%	15,0
Transporte	6939,9	18,1%	3865,2	10,1%	0,6
Actividades anexas a los transportes y comunicaciones	200,0	0,5%	850,9	2,2%	4,3
Actividades sociales y otros servicios	3015,8	7,9%	4185,2	10,9%	1,4
TOTAL	38290,9	100,0%	38290,9	100,0%	

Fuente: Elaboración propia a partir datos INE, Idescat y CORINAIR

Tabla 3.-EMISIONES TOTALES (DIR+IND) GENERADAS EN EL RESTO DE ESPAÑA POR SECTOR (EN KT)

RAMAS PRODUCTIVAS	Emisión directa de CO ₂ (1)	% emisión directa	Emisión total de CO ₂ (2)	% emisión total	multiplicador sectorial (2)/(1)
Agricultura, ganadería, caza, selvicultura y pesca	45308,2	15,1%	22613,6	7,5%	0,5
Coquerías, refino, combustibles nucleares e industrias extractivas	24947,11	8,3%	13557,37	4,5%	0,5
Producción y distribución de energía (incluido agua)	98160,69	32,6%	33631,01	11,2%	0,3
Industrias alimenticias, bebidas y tabaco	1501,66	0,5%	27129,66	9,0%	18,1
Industria textil, peletería y cuero	766,67	0,3%	4247,54	1,4%	5,5
Industria de la madera, corcho, papel y artes gráficas	1740,6	0,6%	3473,5	1,2%	2,0
Industria química, caucho y plástico	17221,1	5,7%	16007,5	5,3%	0,9
Fabricación de otros productos minerales no metálicos	37900,1	12,6%	11785,1	3,9%	0,3
Metalurgia, prod metálicos, maquinaria, eléctrico, electrónico y precisión	12253,1	4,1%	16227,7	5,4%	1,3
Industria de vehículos de transporte	627,4	0,2%	11281,2	3,7%	18,0
Reciclaje y otras industrias	565,7	0,2%	2768,9	0,9%	4,9
Construcción	2546,8	0,8%	40044,9	13,3%	15,7
Vehículos y reparación	1194,7	0,4%	17690,9	5,9%	14,8
Hostelería	692,6	0,2%	12970,4	4,3%	18,7
Transporte	42613,4	14,2%	23110,0	7,7%	0,5
Actividades anexas a los transportes y comunicaciones	520,0	0,2%	3891,5	1,3%	7,5
Actividades sociales y otros servicios	12276,2	4,1%	40405,2	13,4%	3,3
TOTAL	300836,1	100,0%	300836,1	100,0%	

En las tablas 2 y 3 se muestra las emisiones directas generadas por cada sector en ambas regiones, distribución realizada siguiendo la metodología NAMEA comentado en la sección anterior. Aplicando a las emisiones sectoriales directas de cada región la expresión (1-6) mostrada en la metodología, se obtienen las emisiones totales, directas e indirectas, generadas por cada sector en la obtención de su demanda final. De este modo podemos ver cuales son los sectores más importantes en la emisión total de cada región de acuerdo con la población requerida para satisfacer la demanda final de su output, sin aún considerar las relaciones interregionales entre ambas economías (ver tablas 2 y 3). De este modo, si comparamos la emisión total con la directa en cada caso, puede verse de forma implícita el efecto de arrastre en la emisión de ciertos sectores, para los que las emisiones totales son superiores a las directas. Por lo que su efecto multiplicador de la población, el ratio que indica la última columna, será mayor que 1 (esta tipología de multiplicadores se desarrollan metodológicamente en el anexo I).

Pueden observarse algunos rasgos comunes en ambas regiones, acorde con la lógica económica y del sistema productivo, en cuanto a los sectores con efectos de arrastre más importantes. Destacan en este sentido, el sector de la hostelería, las industrias alimenticias y prácticamente la totalidad de las ramas del sector servicios (excepto el transporte)³¹, así como un habitual en los *backward linkage*³², la construcción. Actividades destinadas principalmente a la demanda final y con fuertes vínculos hacia los sectores precedentes del proceso productivo³³. 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 primario³⁴, el sector energético y determinadas industrias destinadas a la demanda intermedia, como es el caso sobre todo, de la fabricación de productos minerales no metálicos, 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. Siendo en el resto de España responsable de casi una tercera parte del total de emisiones generadas de forma directa por la actividad productiva en esta región, en cambio su emisión total desciende a algo más del 11%, atendiendo a su característica de suministrador de inputs, en última instancia, a otras ramas. Puede observarse como el multiplicador sectorial de la emisión para

esta rama productiva es uno de los más bajos. En cambio, en el caso de Cataluña la importancia en este aspecto de este sector es muy inferior, de forma directa la polución generada no llega al 6% y la emisión total desciende al 3,7%. La diferencia se explica por el peso de las centrales termoeléctricas en el resto de España en los procesos de combustión y transformación de la energía. La mayor dependencia de la energía nuclear en el caso de Cataluña, y la existencia de centrales térmicas de carbón con elevadas cantidades de emisiones de CO₂ en algunas regiones del resto de España, explican gran parte de esta importante diferencia entre estas regiones³⁵. Un dato que no deja lugar a dudas a lo comentado, es el coeficiente de emisión de este sector en ambas regiones, siendo el del resto de España más de diez veces superior al de Cataluña (ver tabla 15 del anexo II).

4.1.- Resultados del análisis input-output básico

A continuación se aplicará la metodología analizada en la sección 2.1 con el objetivo de estimar las emisiones de CO₂ incorporadas en el comercio exterior de Cataluña (incluido el resto de España). Cabe recordar las limitaciones que los resultados incorporan, puesto que se realiza el análisis bajo el supuesto de que las economías de las cuales proceden las importaciones que Cataluña realiza tienen la misma tecnología e intensidad de polución que las domésticas. En las tablas 4 y 5 del anexo II se muestran los principales resultados obtenidos de forma desagregada por sector y por componente del Balance Neto final.

Un primer resultado importante es la relación entre la cantidad de emisiones totales incorporadas en la producción de bienes y servicios para satisfacer la demanda total de Cataluña (incluye las exportaciones) y la polución local emitida. La primera incluye tanto las emisiones generadas por la economía doméstica en el proceso productivo del output local ((2) en tabla 4), como las generadas en el exterior para producir los bienes y servicios importados ((5) en tabla 4). La tabla 5 nos muestra esta ratio en la columna (2). De esta manera tenemos que el 64% de las emisiones totales generadas en la producción de outputs para la demanda final total de Cataluña corresponden al proceso productivo doméstico (ver columna (1) tabla 5). En consecuencia, tenemos que el 36% de las emisiones totales correspondientes a la demanda final total de Cataluña se generan en el exterior del territorio catalán, y es importado tanto por la demanda intermedia como por el consumo final, representando las emisiones

incorporadas de cada una un 77% y 33% respectivamente, sobre el total del CO₂ incorporado en las importaciones. Entre la tipología de inputs importados destacan sustancialmente la polución incorporada en las importaciones correspondientes al sector de la construcción, la industria química, caucho y plástico, y las industria alimenticias. En los dos primeros destaca especialmente la demanda interna local de inputs extranjeros, en cambio en el último tiene un papel relevante el consumo directo por parte de la demanda final doméstica de estas importaciones.

De otra parte, podemos destacar brevemente los sectores del transporte, fabricación de otros productos minerales no metálicos; y la producción y distribución de energía, como los sectores con un porcentaje mayor en cuanto a la relación entre la emisión generada localmente y la total. La explicación es lógica, ya que la mayor parte de la emisión correspondiente a estos sectores se produce en el consumo de energía del proceso productivo de su output, como ocurre por ejemplo, en el caso de las cementeras y las centrales termoeléctricas.

Por otro lado, en la demanda final de los outputs producidos en Cataluña se incluye la correspondiente a la demanda final del exterior, la cual requiere la emisión de unas 27.554 kt tanto dentro como fuera de Cataluña (estimadas a través del fuerte supuesto mencionado), un 46% de las emisiones generadas para la demanda final total. El 29% del total de CO₂ incorporado en las exportaciones, corresponden a la parte de las emisiones incorporadas en las importaciones que son incluidas, en última instancia, en estas exportaciones. Si lo observamos desde una perspectiva únicamente doméstica, vemos que las emisiones generadas localmente incorporadas en las exportaciones, 19514,8 kt; representan un 50% de la polución doméstica, demostrando así la importancia de la demanda exterior en este aspecto.

La ratio entre las emisiones incorporadas en las exportaciones y las incorporadas en las importaciones (segunda columna tabla 5), nos indica la mayor o menor propensión a exportar polución respecto a la importación de CO₂. Sectores como la industria química, caucho y plástico; la fabricación de otros productos minerales no metálicos y el transporte, presentan los valores más altos de esta ratio. Son sectores que dadas sus relaciones intersectoriales y su alta intensidad de emisión son, principalmente, distribuidores de contaminación (ver tabla 2), por lo que sus exportaciones aumentan el superávit en el CO₂ incorporado en el comercio de Cataluña con el exterior. Tienen, por lo tanto un gran potencial

de impulso sectorial en cuanto a polución (Rasmussen,P. 1956). En este sentido, si observamos la tercera columna de la tabla 5 puede comprobarse como estos tres sectores son los principales causantes del Balance Neto resultante, es decir, individualmente presentan altos superávits con el exterior en polución incorporada. Destaca especialmente la fabricación de otros productos minerales no metálicos, con un superávit de 3.736,4 kt.

En cambio, el sector de la construcción, la hostelería y el resto del sector servicios presentan los menores valores en la ratio entre las emisiones incorporadas en las exportaciones y las incorporadas en las importaciones. En los dos primeros su valor es cero, acorde con las características propias sectoriales de carácter exclusivamente (en los dos primeros) local en cuanto a la demanda final de su output. Son sectores que individualmente presentan altos déficits con el exterior en polución incorporada. Destaca principalmente el sector de la construcción, con un déficit de 2.444,9 kt. Cabe resaltar la importante limitación de este último resultado, puesto que el output correspondiente al sector de la construcción tiene como destino en más de un 60% la formación bruta de capital fijo (FBKF), por lo que, el consumo por parte de otros sectores de este output se considera como inversión, y no está presente en las relaciones intersectoriales de consumos intermedios básica de la TIO. Sería en consecuencia interesante y necesario (aunque no se realiza en este trabajo), endogenizar la FBKF a través de un modelo estándar tipo II, como puede verse en Miller and Blair (1985). De este modo, únicamente sería assignable al sector de la construcción aquellas emisiones necesarias para producir outputs que tengan como destino el consumo final por parte de los hogares, el sector público y entidades sin ánimo de lucro (y exportaciones, si procede).

Por último, el resultado final de la tabla 4 nos muestra que el Balance Neto en polución incorporada para Cataluña asciende a un superávit de 6007,1 kt; un 10% del total de la emisión generada para la demanda final total de Cataluña 59837,7 kt y un 16% de las emisiones domésticas 38290,9 kt. De esta manera, bajo los fuertes supuestos iniciales, el resultado nos indica que las emisiones requeridas a la actividad productiva de Cataluña por parte de la demanda final exterior es superior a las que la demanda final doméstica requiere en el exterior para ser satisfecha. El superávit comercial de la economía catalana con el resto de España, superando el déficit con el resto del mundo, hace que el resultado sea plausible, bajo la consideración inicial de valorar el impacto de las importaciones con la tecnología e intensidad contaminadora doméstica. Sin embargo, desde otra perspectiva, como comentan

los autores en Sánchez-Chóliz and Duarte (2003), una política orientada a un proceso de sustitución de las compras exteriores por producción doméstica causaría una incremento sustancial de las emisiones locales, lo que nos ayuda a entender los efectos de la demanda final total de Cataluña en cuanto a su impacto atmosférico que se produce en el exterior con tal de satisfacerla.

Solo como apunte puesto que su estimación carece completamente de rigurosidad, en la penúltima columna de la tabla 5 se muestra el impacto total de la demanda final doméstica que los datos disponibles nos permiten calcular en la aplicación de la expresión (1-11). Por lo tanto, de acuerdo con el principio contable de consumo de Munksgaard and Pedersen (2001) la responsabilidad de la demanda final doméstica de Cataluña se limita a 32283,7 kt, una cantidad inferior a la estimada a través de la perspectiva de la producción 38290,9 kt, que marca la política del Protocolo de Kyoto. Destaca los sectores de la Construcción (20,8%); Industrias alimenticias, bebidas y tabaco (14,9%); Actividades sociales y otros servicios (14,9%) como los sectores con mayor participación en la cantidad de emisiones total correspondiente a la demanda final de Cataluña. Como hemos comentado a lo largo del trabajo una estimación más exhaustiva de la intensidad en emisión de las importaciones cambian totalmente la situación presentada. En este caso las aplicaciones realizadas a continuación dan evidencia empírica a esta idea.

4.2.- Resultados de la aplicación del modelo MRIO “convencional” con integración vertical

A continuación se aplica la metodología analizada en la sección 2.2 a través de la cual tratamos de estimar las emisiones incorporadas en el comercio entre Cataluña y el resto de España, con el objetivo de analizar las relaciones interregionales y el Balance Neto resultante. Este primer análisis no tiene en cuenta las importaciones procedentes del resto del mundo, sin embargo, en la demanda final de ambas regiones si se incluirá las exportaciones al extranjero. Es necesario incidir en que no es objetivo de este trabajo estimar el impacto global de la demanda regional de cada territorio, sino analizar los efectos del comercio regional a nivel estatal y comparar ambas estructuras productivas en cuanto a la intensidad de emisión.

Ya se comentó en la primera parte de esta sección que las emisiones directas generadas en Cataluña suponían el 12% del total generado en España. No obstante, en este apartado se presentan unos resultados desde una óptica distinta, basada en la demanda final total de cada región considerando únicamente las emisiones domésticas. La tabla 6, muestra una primera aproximación de manera muy agregada a los resultados obtenidos .

Tabla 6.-BALANCE CO ₂ INCORPORADO ENTRE CATALUÑA Y RESTA DE ESPAÑA (EN MILES DE kt)-ANÁLISIS TIPO I				
	POLUCIÓN CORRESPONDIENTE A LA DEMANDA FINAL DE:			
	CATALUÑA	RESTO DE ESPAÑA	RESTO DEL MUNDO	TOTAL EMISIONES REGIONALES
POLUCIÓN GENERADA EN:				
CATALUÑA	14,07(36,76%)	12,36(32,27%)	11,86(30,96%)	38,29(100%)
RESTO ESPAÑA	22,38(7,44%)	184,82(61,44%)	93,63(31,12%)	300,84(100%)
TOTAL ESPAÑA	36,45(10,75%)	197,18(58,14%)	105,49(31,1%)	339,13(100%)
BALANCE COMERCIAL EN POLUCIÓN:		POLUCIÓN TOTAL DF REGIONAL:		
Polución generada en Cat para demanda final de RE	12,36	CATALUÑA	36,45	
Polución generada en RE para demanda final de Cat	22,38	RESTO DE ESPAÑA	197,18	
Balance de Cat en CO ₂	-10,02			
Fuente: Elaboración propia a partir datos INE, Idescat y CORINAIR				

Podemos ver como únicamente el 36,76% de las emisiones generadas en Cataluña son necesarias para satisfacer la demanda regional doméstica. El resto de la polución generada corresponde a la demanda del resto de España y del resto del mundo, con un 32,27% y 30,96% respectivamente. En el caso del resto de España, la “responsabilidad” de las emisiones de acuerdo con el principio de demanda se reparte de manera que las requeridas por el consumo doméstico regional supone el 61,44%, mientras que el resto corresponde a la demanda de Cataluña y el resto del mundo, con un 7,44% y 31,12% respectivamente. De

forma implícita se observa la importancia del comercio interregional para ambas regiones, cosa que refuerza el sentido del análisis que estamos realizando.

De esta manera, la tabla 6 muestra como del total de la polución generada en el conjunto de España, le corresponde en un 58,14% al proceso productivo requerido para satisfacer la demanda final del resto de España y, en un 10,75% y 31,1% a la demanda final de Cataluña y el resto del mundo respectivamente, de acuerdo con el criterio de asignación vía demanda final.

A partir de los datos mencionados, vemos como se produce un déficit para Cataluña de 10022,5 kt en el balance regional de CO₂ incorporado para el año 2001. Lógicamente, la otra cara de la moneda nos indica un superávit para el resto de España de la misma cantidad. Lo que implica que la polución generada en Cataluña para satisfacer la demanda del resto de España es menor que las emisiones generadas en el resto de España para producir los outputs consumidos por la demanda final de Cataluña. Proporcionalmente, por cada unidad de CO₂ emitida en Cataluña para la demanda final del resto de España, en esta última se emite 1,81 unidades de CO₂ para satisfacer la demanda de la primera. El déficit de polución es relativamente importante para Cataluña, puesto que representa el 26,17% de la polución directa total doméstica.

Aún sin considerar las importaciones del resto del mundo, y únicamente teniendo en cuenta la tecnología y los coeficientes de emisión de las importaciones procedentes del resto de España, el superávit en el balance neto internacional en CO₂ incorporado para Cataluña calculado en el apartado anterior disminuye de forma significativa. Y es así, por la mayor intensidad en la emisión de CO₂ de los procesos productivos del resto de España que provoca que Cataluña, aún teniendo un superávit comercial sustancial con el resto de España, sostenga un importante déficit en cuanto a CO₂ incorporado en este comercio interregional. En este sentido, todo hace prever que al incluir las importaciones del resto del mundo en el análisis, el Balance Neto total para Cataluña será deficitario. En cambio, para el resto de España las relaciones comerciales con Cataluña mejoran su situación en cuanto a la polución total generada para satisfacer su demanda final, es decir el cambio de principio contable (de producción a demanda) disminuye el impacto de su demanda final.

Aunque en este caso sería imprudente realizar una predicción del balance total sin antes realizar un exhaustiva estimación del impacto de las importaciones procedentes del resto del mundo, la creciente participación en las importaciones nacionales de productos

procedentes de China y el resto del sureste asiático (según datos del INE), economías con procesos de producción donde los coeficientes de emisión son muy superiores a los locales, junto con el creciente déficit comercial, nos hacen pensar en un importante déficit en CO₂ incorporado también para el resto de España.

La tabla 7 muestra los componentes del Balance calculado entre el resto de España y Cataluña de forma desagregada por sector económico. Estos datos se presentan integrados verticalmente como se señaló en la explicación metodológica de las expresiones (2-6) y (2-7), por lo que cada dato indica el efecto de la demanda final de cada sector en cada región sobre la generación de emisiones en la otra. La tabla 7 resulta de extraer los datos seleccionados de la tabla 8 del anexo II, en la que se presenta los principales resultados del análisis agregados en 17 sectores.

De esta manera la interpretación de los resultados es tal que, la primera columna de la tabla 7 representa la población total generada en Cataluña para satisfacer la demanda final de cada sector en el resto de España (la tabla 8 del anexo II se interpreta de la misma forma).

RAMAS PRODUCTIVAS	kt	Polución generada en Cat para demanda final de RE	Polución generada en RM para demanda final de Cat	Balance para Cat en CO ₂	% TOTAL BALANCE
		% TOTAL VERTICAL	% TOTAL VERTICAL	kt	
Agricultura, ganadería, caza, selvicultura y pesca	274,5	2,2%	1339,8	6,0%	-1065,3 10,6%
Coquerías, refino, combustibles nucleares e industrias extractivas	180,4	1,5%	1295,29	5,8%	-1114,9 11,1%
Producción y distribución de energía (incluido agua)	158,5	1,3%	3018,7	13,5%	-2860,2 28,5%
Industrias alimenticias, bebidas y tabaco	2449,4	19,8%	3019,0	13,5%	-569,6 5,7%
Industria textil, peletería y cuero	237,2	1,9%	378,2	1,7%	-141,0 1,4%
Industria de la madera, corcho, papel y artes gráficas	93,9	0,8%	158,1	0,7%	-64,2 0,6%
Industria química, caucho y plástico	535,4	4,3%	1163,1	5,2%	-627,7 6,3%
Fabricación de otros productos minerales no metálicos	192,2	1,6%	63,2	0,3%	129,0 -1,3%
Metalurgia, prod metálicos, maquinaria, eléctrico, electrónico y precisión	287,6	2,3%	692,5	3,1%	-404,8 4,0%
Industria de vehículos de transporte	184,3	1,5%	437,7	2,0%	-253,4 2,5%
Reciclaje y otras industrias	173,8	1,4%	268,3	1,2%	-94,5 0,9%
Construcción	3526,4	28,5%	3589,4	16,0%	-63,0 0,6%
Vehículos y reparación	729,8	5,9%	1305,3	5,8%	-575,4 5,7%
Hostelería	996,5	8,1%	2200,5	9,8%	-1204,0 12,0%
Transporte	436,0	3,5%	345,1	1,5%	90,9 -0,9%
Actividades anexas a los transportes y comunicaciones	208,4	1,7%	459,5	2,1%	-251,0 2,5%
Actividades sociales y otros servicios	1693,7	13,7%	2647,2	11,8%	-953,5 9,5%
TOTAL SECTORES	12358,2	100,0%	22380,7	100,0%	-10022,5 100,0%

Un primer resultado destacable es la presencia de déficit en polución incorporada en el comercio para Cataluña en prácticamente la totalidad de las relaciones sectoriales interregionales. Es decir, con una desagregación de 17 sectores, los “microbalances” en CO₂ resultantes de la demanda final de cada rama productiva por separado tienen forma de déficit para Cataluña, excepto en el caso del transporte y la fabricación de otros productos minerales no metálicos. Lo que nos indica que prácticamente en la totalidad de los sectores por separado, la demanda final de Cataluña provoca una generación mayor de polución en el proceso productivo del resto de España que la que provoca la demanda final del resto de España sobre el proceso productivo de Cataluña.

Destacan sustancialmente en este resultado, por su mayor peso en el Balance Neto interregional, los sectores de Agricultura, ganadería, caza, selvicultura y pesca; Coquerías, refino, combustibles nucleares e industrias extractivas; Hostelería; Actividades sociales y otros servicios y, en especial, Producción y distribución de energía (incluido agua). En el caso de este último es preciso señalar que su peso en el balance sin realizar la integración vertical, es decir, la generación directa de emisiones de este sector para satisfacer la demanda final total de Cataluña representa aproximadamente el 75% del balance interregional total. Sin embargo, tras la integración vertical, las emisiones directas de esta rama productiva están repartidas, indirectamente, entre los distintos subsistemas de Cataluña a los que este sector vende inputs. No obstante, como muestra la tabla 7, la diferencia entre lo que las demandas finales de este sector hacen contaminar al proceso productivo de la región vecina, supone el 28,5% del balance neto, con un saldo negativo para Cataluña de 2860,2 kt. Se establece así como el sector más importante en el balance de CO₂ incorporado entre ambas regiones. En realidad se corresponde de forma plausible con la situación energética de ambas regiones, comentado al inicio de esta sección.

Las tablas 8 y 9 del anexo II son de gran interés interpretativo y demuestran la importante aportación de la integración vertical para el análisis de los efectos *feedbacks* y *spillovers* interregionales, mostrando los resultados de la aplicación metodológica analizada en la sección (2.2)³⁶ de forma ampliamente desagregada. En este sentido, pueden observarse algunas características relevantes de los sectores más importantes en el Balance Neto calculado. En primer lugar, analizando de forma desagregada el saldo en CO₂ incorporado

entre ambas regiones para el caso de la demanda final de los sectores de Producción y distribución de energía (incluido agua); Coquerías, refino, combustibles nucleares e industrias extractivas; Agricultura, ganadería, caza, selvicultura y pesca; puede observarse como las exportaciones del resto de España a Cataluña que causan gran parte del déficit para la segunda, tienen como destino directo, casi de forma exclusiva la demanda final de Cataluña. Es decir, la columna (8) de la tabla 9, que es relevante para estos sectores en concreto, nos indica las emisiones generadas por la totalidad de los sectores en el proceso productivo del resto de España para satisfacer directamente la demanda final de cada sector en Cataluña.

En cambio, para el caso de los otros dos sectores considerados como relevantes en el balance estimado, Hostelería; Actividades sociales y otros servicios; el principal consumo de las importaciones procedentes del resto de España se realiza por parte de las distintas ramas productivas de la economía catalana para satisfacer la demanda final de estos sectores en Cataluña.

En consecuencia es, principalmente, la demanda final en Cataluña de los outputs de estos sectores, la que provoca que la actividad productiva del resto de España genere una cantidad de emisiones de CO₂ lo suficientemente elevada como para que el balance neto en polución incorporada en el comercio entre ambas regiones resulte con un importante déficit para Cataluña.

Es necesario destacar los sectores de la construcción e Industrias alimenticias, bebidas y tabaco por su importancia en cuanto a la emisión que hacen generar en Cataluña para satisfacer la demanda final de sus outputs en el resto de España. La otra cara de la moneda nos lleva al ya comentado sector de la Producción y distribución de energía (incluido agua); y los sectores de las Industrias alimenticias, bebidas y tabaco; y la construcción, como aquellas ramas productivas del resto de España cuya demanda final en Cataluña hace generar más emisiones en la primera (ver tabla 7).

Antes de pasar a la próxima aplicación, es necesario destacar otro resultado presente en la tabla 8 (columnas 15 y 17). Como es el peso de los diferentes sectores en la cantidad total de emisiones generadas en el conjunto del estado para la demanda final de cada región. Es decir, el impacto de la demanda final de cada región sobre el total de la polución doméstica generada en España desagregada por sector, aplicando la expresión (2-15) y (2-16). Así, cada

valor de las columnas señaladas, representa las emisiones totales, directas e indirectas, generadas por cada subsistema en la elaboración de su output requerido por la demanda final de cada región.

Así para el caso de Cataluña (col.15), los sectores con más peso en la emisión total correspondiente a la demanda final doméstica son la Construcción con un 19%; Actividades sociales y otros servicios con un 16,7%; Industrias alimenticias, bebidas y tabaco con un 10,9% y la Hostelería y; la Producción y distribución de energía (incluido agua) con un 9,9% cada una.

Para el caso del resto de España (col.17) los sectores con más peso en la emisión total correspondiente a la demanda final local son la Construcción con un 20,7%; Actividades sociales y otros servicios con un 19,1%; Producción y distribución de energía (incluido agua) 13,1%.

A modo de aclaración, por ejemplo, del conjunto de emisiones totales, directas e indirectas, generadas en España por el sector de la construcción, 47.673,3 kt; unas 6.916,7 kt fueron generadas por el proceso de elaboración de la demanda final de esta rama productiva en Cataluña. La suma de todos los subsistemas (col.15) indica el impacto total de la demanda final de Cataluña desagregado por sector verticalmente integrado. De forma análoga para la región del resto de España.

Vemos la importancia de los dos principales sectores en cuanto a la participación directa e indirecta en las emisiones correspondientes a cada región, como se ha comentado al inicio, son sectores con gran efecto de arrastre sobre las otras ramas productivas de ambas regiones y que son claves en este sentido de *backward linkage*, los cuales ya tenían esta importancia en primera instancia, sin tener en cuenta las relaciones interregionales. No obstante, en el caso de Cataluña, un sector incrementa sustancialmente su participación en la población total respecto al análisis anterior, en el que se consideró igual tecnología y emisión para todas las importaciones, éste es la Producción y distribución de energía (incluido agua), que como puede verse en la tabla 10, triplica prácticamente su participación en las emisiones totales correspondientes a la demanda de Cataluña. Así mismo, también lo hace en menor medida la Hostelería y; Actividades sociales y otros servicios. La razón es la importancia que estos sectores tienen en el Balance Neto calculado, cuyas emisiones provocan un déficit en CO₂ incorporado en el comercio para Cataluña que incrementa el impacto proporcional de su demanda final (faltan las importaciones del resto del mundo) en el estado, al incorporar a esta

responsabilidad un consumo de inputs/outputs con una mayor intensidad de emisión en su proceso productivo, respecto al supuesto anterior de igual tecnología e intensidad de emisión para todas las importaciones. En cambio para el resto de España ocurre lo contrario, teniendo en cuenta que únicamente consideramos las importaciones interregionales, por lo que hablamos de impacto acotado a la polución total generada en España.

En el trabajo de Lenzen et al.(2004) se realiza un comparación similar, y países como Noruega o Alemania ven aumentado el impacto de su demanda final al incorporar a las importaciones recibidas la tecnología y la intensidad de polución de las economías de origen, estructuras de producción con coeficientes de emisión más elevados (como por ejemplo Dinamarca).

RAMAS PRODUCTIVAS	POLUCIÓN TOTAL GENERADA PARA LA DF DE CATALUÑA		
	% Emisión total I-O	% Emisión total MRIO I	variación
Agricultura, ganadería, caza, selvicultura y pesca	6,4%	5,3%	-1,1%
Coquerías, refino, combustibles nucleares e industrias extractivas	6,6%	5,1%	-1,5%
Producción y distribución de energía (incluido agua)	3,5%	9,9%	6,4%
Industrias alimenticias, bebidas y tabaco	14,9%	10,9%	-3,9%
Industria textil, peletería y cuero	1,9%	1,2%	-0,6%
Industria de la madera, corcho, papel y artes gráficas	0,5%	0,5%	0,0%
Industria química, caucho y plástico	2,9%	3,6%	0,8%
Fabricación de otros productos minerales no metálicos	0,9%	0,5%	-0,3%
Metalurgia, prod metálicos, maquinaria, eléctrico, electrónico y precisión	3,4%	2,2%	-1,2%
Industria de vehículos de transporte	2,6%	1,3%	-1,3%
Reciclaje y otras industrias	1,1%	0,9%	-0,2%
Construcción	20,8%	19,0%	-1,8%
Vehículos y reparación	5,0%	5,9%	0,8%
Hostelería	7,3%	9,9%	2,6%
Transporte	5,3%	4,7%	-0,7%
Actividades anexas a los transportes y comunicaciones	2,0%	2,3%	0,3%
Actividades sociales y otros servicios	14,9%	16,7%	1,8%
TOTAL	100%	100,0%	

Fuente: Elaboración propia a partir datos INE, Idescat y CORINAIR

4.3.- Resultados de la aplicación del modelo MRIO-TELAS con integración vertical

En el apartado anterior no se han tenido en cuenta las emisiones incorporadas en las importaciones procedentes del resto del mundo, además los resultados de la aplicación MRIO “convencional” asignan a la demanda final del resto del mundo un 30,96% y un 31,12% de las emisiones domésticas generadas en Cataluña y el resto de España respectivamente. Esto es inconsistente con la idea de la huella ecológica del consumo final regional, centro de los problemas medioambientales e idea motivadora para el cálculo del impacto de la demanda final de las regiones. Ya hemos comentado que su estimación es extremadamente compleja y requiere una situación idílica de disponibilidad de datos que no coincide con la realidad. Por otro lado, la mayoría de tratados internacionales en estos asuntos de impacto medioambiental, como el Protocolo de Kyoto, asignan la responsabilidad de la contaminación al territorio en el cual se sucede, de acuerdo con el principio contable de producción de Munksgaard and Pedersen (2001).

Como ya se ha explicado en la sección 2.3, una posible alternativa es realizar un análisis de acuerdo con el principio contable de producción para las relaciones comerciales con el resto del mundo, y con el principio contable de consumo para las relaciones interregionales. El resultado es la aplicación del modelo MRIO-TELAS desarrollado metodológicamente en la sección 2.3.

En la tabla 11 se muestran los resultados de forma agregada. Mientras el nivel total de emisiones generadas directamente en cada región se muestra invariante, la asignación de éstas entre la demanda final de Cataluña y el resto de España cambia de forma importante. Los *spillovers* resultantes son muy superiores, de forma que el 71% (40,64 miles de kt) de las emisiones totales, directas e indirectas, correspondientes a la demanda final de Cataluña (57,03 miles de kt) son generadas en el resto de España. Y de forma simétrica, el 7,8% (21,9 miles de kt) de las emisiones totales, directas e indirectas, correspondientes a la demanda final del resto de España (282,1 miles de kt) son generadas por la actividad productiva de Cataluña. Recordemos que ahora se incluyen las emisiones incorporadas en las importaciones realizadas por cada región procedentes del resto del mundo, las cuales son financiadas con las exportaciones realizadas por ambas regiones al resto del mundo.

Al contrario de lo que sucede en el caso de Escocia y el resto del Reino Unido (McGregor et al.2004 a) donde el balance interregional cambia de signo a favor de la primera

al incluir el resto del mundo de forma endógena, a causa principalmente, del superávit de Escocia con el resto del mundo (al contrario que el resto del Reino Unido), en nuestro caso, Cataluña tiene un déficit comercial con el resto del mundo parecido al que tiene el resto de España, por lo que su situación deficitaria en cuanto a CO₂ incorporado en el comercio interregional aumenta sustancialmente en este tipo de análisis, siendo de 18,73 (miles de kt). Este hecho esta estrechamente relacionado con el mayor aumento proporcional del impacto de la demanda final de Cataluña respecto a la del resto de España sobre las emisiones totales generadas dentro del estado. En este sentido, el 16,82% (57,03 miles de kt) y 83,18% (282,1 miles de kt) del total de emisiones generadas en España, corresponden, directa e indirectamente, al proceso productivo requerido para satisfacer la demanda final de Cataluña y el resto de España, respectivamente. Si lo comparamos con la emisión directa de cada región, 12% para Cataluña y 88% para el resto de España, vemos el efecto indirecto producido para cada una al considerar las emisiones incorporadas en el comercio interregional.

Tabla 11.-BALANCE CO ₂ INCORPORADO CATALUÑA RESTA DE ESPAÑA (EN MILES DE kt)-ANÁLISIS TIPO II TELAS			
POLUCIÓN GENERADA EN:	POLUCIÓN CORRESPONDIENTE A LA DEMANDA FINAL DE:		
	CATALUÑA	RESTO DE ESPAÑA	TOTAL EMISIONES GENERADAS POR REGIÓN
CATALUÑA	16,39(42,8%) 40,64(13,51%)	21,9(57,2%)	38,29(100%)
RESTO ESPAÑA) 57,03(16,82%)	260,2(86,49%)	300,84(100%)
TOTAL ESPAÑA)	282,1(83,18%)	339,13(100%)
BALANCE COMERCIAL EN POLUCIÓN:		POLUCIÓN TOTAL DF REGIONAL	
Polución generada en Cat para demanda final de RE	21,9	CATALUÑA	57,03
Polución generada en RE para demanda final de Cat	40,64	RESTO DE ESPAÑA	282,1
Balance de Cat en CO ₂	-18,73		

Fuente: Elaboración propia a partir datos INE, Idescat y CORINAIR

Son resultados plausibles con lo analizado hasta el momento, ya que las importaciones del resto del mundo incorporan un mix de la polución generada en el interior de la economía española para la producción de los outputs exportados, que son utilizados como inputs por el sector “resto del mundo” para “producir” dichas importaciones. De esta manera cabe esperar que el déficit en CO₂ de Cataluña aumente, al responsabilizar a la demanda doméstica del consumo de un output proporcionalmente más intensivo en polución del que lo es para el resto de España. En definitiva, el modelo nos ayuda a ver como la actividad económica de Cataluña ve incrementado su impacto en polución desde la perspectiva del consumo de la demanda final de una manera realmente muy superior a lo que le sucede al resto de España. Resultado lógico, puesto que en nuestro caso es el resto de España la que genera emisiones de forma más intensiva, por lo que un intercambio comercial con una región con coeficientes de emisión muy inferiores (como es el caso de Cataluña) mejorará su situación, de acuerdo con el principio contable de consumo frente al de producción. Y los coeficientes de polución de las importaciones serán comparativamente superiores a los domésticos de Cataluña, e inferiores a los domésticos del resto de España.

Como se ha comentado, este resultado nos ayuda a entender los efectos de las relaciones comerciales interregionales e internacionales en cuanto a la polución incorporada y su efecto en el impacto de la demanda final de cada región en función de sus características tecnológicas, intensidad de emisión y relaciones comerciales con el exterior. No se pretende que se relacione con una posible visión política de distribución interregional de responsabilidad de las emisiones domésticas.

La tabla 12 nos muestra los componentes del Balance interregional calculado, en el cual incluye ahora el sector correspondiente al “resto del mundo”, que supone la partida más importante del balance neto resultante, con un déficit para Cataluña de 4458,8 kt. Este resultado nos indica el saldo entre la emisión incorporada en los inputs que el sector “resto del mundo” requiere del resto de España para satisfacer directamente la demanda final de Cataluña (importaciones directas para consumo final) y las análogas requeridas a Cataluña para satisfacer la demanda final del resto de España. En realidad el saldo indica la diferencia entre los balances de cada región por separado con el resto del mundo interiorizado a través del balance interregional, donde Cataluña exhibe un déficit muy superior por el mayor impacto comparativo de las importaciones, como se ha razonado con anterioridad.

Lógicamente, el resto de sectores pierden peso en el Balance Neto resultante respecto a la aplicación anterior, excepto aquellos sectores en los cuales la demanda final de éstos en Cataluña hace importar de forma neta (en relación al balance) al resto de España inputs del resto del mundo de forma relevante³⁷, como es el caso de la construcción, Industria de vehículos de transporte; y la Fabricación de otros productos minerales no metálicos.

Por último, la tabla 13 (extraída de la tabla 14 del anexo II), muestra el peso de los diferentes sectores, en forma de subsistemas nacionales, en cada región sobre las emisiones totales generadas en España y la diferencia con los mismos resultados de la anterior aplicación. Lo más destacable es la importancia en el impacto de la demanda final regional sobre la polución total generada en España de las emisiones correspondientes a las importaciones del resto del mundo consumidas directamente por la demanda final, siendo el 17,3% y 13,6% para Cataluña y el resto de España, respectivamente. En el caso de Cataluña, éstas se sitúan como las más importantes en el impacto total nacional de la demanda final de la región. Esto nos vuelven a demostrar el mayor impacto comparativo que supone para Cataluña el consumo de inputs importados del exterior.

Tabla 12.-BALANCE CO ₂ INCORPORADO TOTAL (DIR+IND) ENTRE CATALUÑA Y RESTA DE ESPAÑA POR SECTOR(EN KT)-ANÁLISIS TELAS-TIPO II						
RAMAS PRODUCTIVAS	Polución generada en Cat para demanda final de RE		Polución generada en RM para demanda final de Cat		Balance de Cat en CO ₂	
	kt	% TOTAL VERTICAL	kt	% TOTAL VERTICAL	kt	% TOTAL BALANCE
Agricultura, ganadería, caza, selvicultura y pesca	322,9	1,5%	1448,3	3,6%	-1125,3	6,0%
Coquerías, refino, combustibles nucleares e industrias extractivas	357,47	1,6%	1775,49	4,4%	-1418,0	7,6%
Producción y distribución de energía (incluido agua)	283,7	1,3%	3353,1	8,3%	-3069,4	16,4%
Industrias alimenticias, bebidas y tabaco	2912,4	13,3%	3892,2	9,6%	-979,8	5,2%
Industria textil, peletería y cuero	405,3	1,9%	712,5	1,8%	-307,1	1,6%
Industria de la madera, corcho, papel y artes gráficas	138,5	0,6%	263,3	0,6%	-124,9	0,7%
Industria química, caucho y plástico	687,7	3,1%	1594,8	3,9%	-907,1	4,8%
Fabricación de otros productos minerales no metálicos	198,2	0,9%	71,2	0,2%	127,0	-0,7%
Metalurgia, prod metálicos, maquinaria, eléctrico, electrónico y precisión	564,8	2,6%	1304,8	3,2%	-740,0	4,0%
Industria de vehículos de transporte	467,0	2,1%	1084,7	2,7%	-617,7	3,3%
Reciclaje y otras industrias	304,4	1,4%	503,8	1,2%	-199,4	1,1%
Construcción	4561,1	20,8%	4869,8	12,0%	-308,7	1,6%
Vehículos y reparación	1118,1	5,1%	2114,4	5,2%	-996,3	5,3%
Hostelería	1469,3	6,7%	3076,3	7,6%	-1607,0	8,6%
Transporte	530,4	2,4%	501,5	1,2%	28,9	-0,2%
Actividades anexas a los transportes y comunicaciones	343,7	1,6%	690,7	1,7%	-347,0	1,9%
Actividades sociales y otros servicios	2932,3	13,4%	4614,0	11,4%	-1681,7	9,0%
Resto del mundo	4305,7	19,7%	8764,5	21,6%	-4458,8	23,8%
TOTAL SECTORES	21903,1	100%	40635,4	100%	-18732,3	100%

La variabilidad que se produce en el peso de los restantes sectores (tabla 13) dependerá de su mayor o menor cantidad de consumo de importaciones por unidad de output, procedentes del resto del mundo, utilizadas como inputs en el proceso productivo para satisfacer su demanda final en cada región. Ya que ahora se incluye en el impacto de la demanda final regional de cada subsistema las importaciones que éste realiza para su producción. Como por ejemplo, en el caso de Industria de vehículos de transporte y la Metalurgia, prod metálicos, maquinaria, eléctrico, electrónico y precisión, los cuales ven incrementado incrementado el peso del impacto de su demanda final en ambas regiones, por su elevada propensión importadora del resto del mundo. Lo contrario sucede, por ejemplo, con sectores como las Actividades sociales y otros servicios; Industrias alimenticias, bebidas y tabaco. La mayoría de los sectores, no obstante, pierden peso, ya que la magnitud de las emisiones incorporadas en las importaciones procedentes del resto del mundo consumidas directamente por la demanda final, es muy importante en ambas regiones. Destacan en este sentido el consumo directo por la demanda final de outputs importados correspondientes a las ramas productivas de la Industria de vehículos de transporte; las Industrias alimenticias, bebidas y tabaco; y la Metalurgia, prod metálicos, maquinaria, eléctrico, electrónico y precisión.

Tabla 13.- VARIACIÓN EMISIONES TOTALES (DIR+IND) GENERADAS POR SECTOR (EN KT)

	POLUCIÓN TOTAL GENERADA PARA LA DF DE CATALUÑA			POLUCIÓN TOTAL GENERADA PARA LA DF DEL RESTO DE ESPAÑA		
	% Emisión total MROI I	% Emisión total MROI - TELAS	variación	% Emisión total MROI I	% Emisión total MROI - TELAS	variación
RAMAS PRODUCTIVAS						
Agricultura, ganadería, caza, selvicultura y pesca	5,3%	3,6%	-1,7%	3,9%	2,9%	-1,0%
Coquerías, refino, combustibles nucleares e industrias extractivas	5,1%	4,2%	-0,9%	3,0%	2,6%	-0,3%
Producción y distribución de energía (incluido agua)	9,9%	7,0%	-2,9%	13,1%	9,6%	-3,6%
Industrias alimenticias, bebidas y tabaco	10,9%	8,7%	-2,2%	9,7%	8,2%	-1,4%
Industria textil, peletería y cuero	1,2%	1,4%	0,2%	0,9%	1,2%	0,3%
Industria de la madera, corcho, papel y artes gráficas	0,5%	0,5%	0,0%	0,3%	0,3%	0,1%
Industria química, caucho y plástico	3,6%	3,2%	-0,5%	1,8%	1,7%	-0,1%
Fabricación de otros productos minerales no metálicos	0,5%	0,4%	-0,2%	0,6%	0,4%	-0,2%
Metalurgia, prod metálicos, maquinaria, eléctrico,	2,2%	2,6%	0,4%	1,8%	2,2%	0,3%

electrónico y precisión						
Industria de vehículos de transporte	1,3%	2,1%	0,8%	0,9%	1,5%	0,6%
Reciclaje y otras industrias	0,9%	1,1%	0,1%	0,8%	1,0%	0,2%
Construcción	19,0%	14,7%	-4,3%	20,7%	17,7%	-3,0%
Vehículos y reparación	5,9%	5,4%	-0,5%	8,6%	7,2%	-1,4%
Hostelería	9,9%	8,1%	-1,8%	8,0%	7,0%	-0,9%
Transporte	4,7%	3,3%	-1,4%	5,1%	3,9%	-1,2%
Actividades anexas a los transportes y comunicaciones	2,3%	1,9%	-0,4%	1,8%	1,7%	-0,1%
Actividades sociales y otros servicios	16,7%	14,5%	-2,1%	19,1%	17,3%	-1,9%
Resto del mundo	0,0%	17,3%	17,3%	0,0%	13,6%	13,6%
TOTAL	100%	100,0%		100,0%	100%	

Fuente: Elaboración propia a partir datos INE, Idescat y CORINAIR

5.- CONCLUSIONES Y REFLEXIONES FINALES

Dentro del estudio de los impactos medioambientales generados por la actividad económica, destaca en la actual evidencia empírica y teórica el análisis de las emisiones atmosféricas, uso de tierra y consumo de agua, entre otros factores, incorporados en el comercio internacional e interregional de bienes y servicios. El análisis de este indicador se presenta como imprescindible en la estimación de la *Ecological Footprint* (huella ecológica). Para este propósito, el marco estructural input-output ha adquirido una destacada importancia como herramienta metodológica de análisis, ya en Bicknell et al. (1998) y Lenzen and Murray (2001) se reconoce que únicamente a través del uso de estas técnicas puede aproximarse una estimación mínimamente rigurosa.

En este sentido, en este trabajo se analiza, básicamente, dos tipos de modelos input-output: el modelo básico o *single-región* y el multi-región. Así como una aplicación para la estimación de la cantidad de CO₂ “equivalente” incorporado en el comercio interregional entre Cataluña y el resto de España para el año 2001. En definitiva, el estudio trata de demostrar como el modelo MRIO (multi-región input-output) es el método más apropiado para dicho propósito, permitiendo, entre otras ventajas, analizar los vínculos interregionales e intersectoriales de las regiones consideradas.

Como valor añadido se incorpora al análisis la técnica de la integración vertical o *subsistemas*, lo que nos permite un enfoque alternativo para el Balance Neto resultante en cuanto a las emisiones incorporados en los intercambios comerciales entre ambas regiones. Un tratamiento centrado en el impacto del consumo de la demanda final regional, en última

instancia, de cada output sectorial. No tenemos constancia de que este enfoque haya sido utilizado con anterioridad en los análisis MRIO aplicados al estudio de los impactos medioambientales incorporados en el comercio. Tampoco la tenemos sobre la aplicación de los MRIO de forma general para estos impactos a nivel interregional de la economía española. En esta línea, el trabajo deja la puerta abierta a una ampliación que incluya economías con intercambios comerciales relevantes con las regiones consideradas aquí, con el objetivo de mejorar nuestro análisis y estimar de forma más exhaustiva el impacto del consumo doméstico.

Mientras los problemas encontrados en la base de datos disponible nos hace tener especial cuidado en la interpretación de los resultados cuantitativos, su análisis permite ilustrar algunos aspectos importantes, plausibles con el marco actual en el que se encuentran ambas regiones, especialmente en cuanto al consumo energético y sus consecuencias en la emisión de gases efecto invernadero. Deben remarcarse en este sentido distintos aspectos claves. En primer lugar, debido a las importantes relaciones comerciales entre ambas regiones se observan unos *spillovers medioambientales* muy importantes arraigados al comercio interregional, de manera que la demanda final de Cataluña es causante de forma indirecta de una parte importante de las emisiones de CO₂ generadas en el resto de España. Lo mismo sucede para las emisiones generadas en Cataluña.

En segundo lugar, destacamos el hecho de que aún teniendo Cataluña un importante superávit comercial con el resto de España, hemos comprobado la existencia de un importante déficit para la primera en cuanto a la polución incorporada en este comercio. Por lo que las emisiones generadas en el resto de España para satisfacer el consumo final de Cataluña, superan la emisión generada en esta última en el proceso de producción de los bienes y servicios consumidos en última instancia por la demanda final del resto de España. En la desagregación sectorial del resultado, destaca principalmente, por su importancia en el Balance Neto, el sector de la producción y distribución de energía, que muestra de forma plausible la diferencia existente entre los metabolismos energéticos de ambas regiones y sus consecuencias en la generación de gases efecto invernadero. Una conclusión que se deriva directamente de este último aspecto, es la mayor intensidad de emisión de estos gases contaminantes que supone producir en el resto de España respecto a Cataluña.

Por último, se desprende de la investigación el importante peso que representa las emisiones totales, directas e indirectas, generadas por el sector de la construcción y los

servicios en las emisiones totales, directas e indirectas, correspondientes a cada región. En este sentido, la introducción del comercio con el resto del mundo de forma endógena a través de la aplicación metodológica TELAS, nos permite hacernos una idea del impacto del consumo final doméstico en las economías de origen tanto en cuanto a los bienes importados en forma de inputs por la demanda intermedia, como los consumidos directamente por la demanda final. Así como la mayor divergencia para Cataluña, en cuanto a la asignación de responsabilidad en la generación de emisiones, entre la aplicación del principio contable de producción y el principio contable de consumo de Munksgaard and Pedersen (2001). Como se comenta en el trabajo, todo hace indicar que para ambas regiones las emisiones correspondientes al consumo final doméstico superarán la polución generada en el proceso productivo local.

Una limitación importante a tener en cuenta en futuros trabajos que traten de estimar el impacto medioambiental incorporado en las interrelaciones económicas entre regiones, es la necesidad de incorporar el impacto de la demanda de servicios turísticos en el Balance Neto. En el caso de las regiones aquí consideradas, la importancia de éste es realmente evidente y en definitiva, no puede hablarse de Huella Ecológica sin tener en cuenta el impacto de la demanda doméstica de esta actividad en el exterior. No obstante, su estimación se presenta realmente compleja.

No quisiera acabar sin antes hacer referencia a la limitación más determinante de las aplicaciones input-output a nivel interregional, superando las conocidas limitaciones metodológicas, y que tan relevante es en este trabajo, como es la disponibilidad de una base de datos integrada en la contabilidad nacional y regional, tanto a nivel metodológico como de resultados. Como comenta Pulido (1993) es necesario: “*integrar las TIO regionales en el sistema estadístico regional de forma tal que sea no sólo un subproducto de alto valor añadido deducido de las estadísticas básicas, si no también un instrumento para valorar la congruencia interna de las diferentes fuentes y una guía para actuaciones futuras, así como, convertir esfuerzos aislados (en el tiempo y en el espacio) en un esfuerzo permanente e integrado*”.

Agradecimientos

El autor agradece el apoyo de los proyectos ECO2009-10003 (Ministerio de Ciencia e Innovación), 2009SGR-600 y XREPP (DGR). Así como al Programa FPU del Ministerio de Educación y Ciencia por la financiación del proyecto.

NOTAS FINALES

¹ Ver el trabajo de Munkgaard y Pedersen (2001) para mayor información en cuanto a la discusión y diferencias metodológicas en la aplicación de un modelo basado en la idea de que la responsabilidad de la contaminación que se produce en una región recae sobre el consumo realizado en un determinado territorio, frente al modelo con la responsabilidad en la región que produce (de acuerdo con los principios contables de consumo y de producción respectivamente). Este razonamiento nos acerca a la definición de huella ecológica, muy presente en distintos ámbitos sociales y políticos actuales, ver también Proops (1999).

²A partir de este momento me referiré a estas emisiones de CO₂ "equivalente" por emisiones de CO₂ simplemente. Posteriormente se mencionará brevemente qué son las emisiones de equivalente y en qué forma han sido utilizadas para este trabajo.

³Otros trabajos relevantes en esta línea son Machado and Schaeffer (2001), Lenzen (1998) and Tunç and Türüt-Asik (2007).

⁴Ver Alcántara (1995) para mayor información sobre la metodología y aplicaciones en economía y medio ambiente a través de un enfoque input-output y la reconversión de los sectores en industrias verticalmente integradas. En este punto de la investigación podría realizarse un estudio paralelo, pero que no es objetivo de este trabajo, analizando los sectores clave en este tipo de polución, así como un estudio desde la óptica de los subsistemas. Ver, por ejemplo Padilla and Alcántara (2008) o Sánchez-Chóliz and Duarte (2003).

⁵En su trabajo, Lenzen calcula los multiplicadores input-output de CO₂ para Dinamarca a través de un modelo multiregional y, bajo diferentes escenarios, concluye que, con todas las limitaciones del modelo y los datos, tales supuestos son considerablemente relevantes en la diferencia de los resultados obtenidos. También en Proops (1999), el autor demuestra como países con fuerte propensión importadora como EUA y países europeos, ven como su índice de sostenibilidad decrece cuando son analizados en una estructura multiregional.

⁶Ver Mäenpää y Siikavirta (2007), el cual presenta distintas alternativas para la metodología input-output en función de los diferentes niveles de información respecto a la tecnología y emisiones incorporadas de los productos importados.

⁷Cabe destacar la aportación metodológica del trabajo de Sánchez-Chóliz y Duarte (2003) en el cálculo del balance comercial de la polución incorporada, añadiendo la polución importada y exportada después

$$B = s^d z - E^M = s^d z + s^m z - s^m y - s^d y^m = s^d [z - A^M (I - A)^{-1} (y - z) - y^m] = e^d (I - A)^{-1} [z - A^M (I - A)^{-1} (y - z) - y^m]$$

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

$$B = s^d (z - x^m) = e^d (I - A)^{-1} [z - A^M (I - A)^{-1} y - y^m]$$

⁸Debido a la importancia del comercio entre ambas regiones. Más del 40% de las importaciones de Cataluña provienen del resto de España en el 2001 (datos IDESCAT).

⁹El modelo presentado únicamente nos provee de información de, por ejemplo, Cataluña con el resto de regiones, las interrelaciones entre las otras regiones, por ejemplo, resto de España con el resto del mundo, deben estimarse con un análisis paralelo para el caso del resto de España.

¹⁰Distintos estudios han comparado aplicaciones bajo la perspectiva del modelo presentado versus al MRIO respecto a análisis sobre intensidad en polución y uso energético, demostrando la diferencia sustancial entre uno y otro en cuanto a los resultados obtenidos, multiplicadores y factor incorporado en el comercio. En esta línea destaca los trabajos de Proops (1999), Lenzen (2004) y Peters and Herwitch (2006a), entre otros.

¹¹Ver Miller and Blair (1985) para más información sobre este supuesto de coeficientes técnicos estáticos, de los modelos input-output en general y de los MRIO (A_{11} , A_{22} , A_{12} y A_{21}) en particular.

¹²De Miller and Blair (1985), trabajando la ecuación 1 de la expresión (2-3):

$$x_1 = (I - A_{11})^{-1} (y_1 + A_{12} x_2)$$

se asume para simplificar que $y_1=0$, de manera que el output de la región 1 queda

$$x_1 = (I - A_{11})^{-1} A_{12} x_2 ;$$

y sustituyendo x_1 en la ecuación 2 de la expresión (2-2), tenemos que

$$y_2 = x_2 (I - A_{22}) - A_{21} (I - A_{11})^{-1} A_{12} x_2 .$$

Siendo para el modelo uniregional

$$y_2 = x_2 (I - A_{22}) ,$$

el resto de la expresión $A_{21} (I - A_{11})^{-1} A_{12} x_2$ representa los *feedback* interregionales que determinan la demanda final de la región 2.

¹³El símbolo \wedge indica la diagonalización de un vector. Para la diagonalización de esta matriz es necesario diagonalizar cada vector fila por separado de manera que, por ejemplo, el primer vector a diagonalizar estará formado por

$y_i^{11}, y_i^{21} = \{y_1^{11}, \dots, y_n^{11}, y_1^{21}, \dots, y_n^{21}\}$ De este modo, el tamaño de la matriz de demanda final será (2Nx6N), ya que el tamaño de cada vector fila diagonalizado es (2Nx2N).

¹⁴Ver Alcántara (1995;1999) donde se desarrolla un análisis de los impactos ambientales desde la óptica de los subsistemas input-output, artificio planteado por Sraffa (1960).

¹⁵Se requiere sumar cada columna por separado para la integración vertical, de esta manera se obtiene el efecto directo e indirecto. Horizontalmente, sumando cada fila por separado, se obtiene únicamente el efecto directo, de la misma forma que resulta de operar sin diagonalizar la matriz de demanda final. Para esto será necesario la premultiplicación por un vector fila unitario del tamaño apropiado.

¹⁶Se asume que el destino de las exportaciones al resto del mundo son la demanda final de éste, tal supuesto no influye en el análisis.

¹⁷El resultado de la estimación de la carga de emisión atmosférica correspondiente a la demanda de cada región será la misma, con integración vertical sectorial que sin ella. Como veremos, el hecho de integrar verticalmente nos permite obtener un resultado transversal, en cuanto a la responsabilidad de la demanda final en la polución de cada sector de cada región .

¹⁸En primera instancia cada submatriz de resultados f_{cs}^y se presenta con el tamaño (Nx2N), no obstante, al sumar los dos términos del resultado desagregados (ver expresiones 2-9 a 2-14), es decir, las dos submatrices de tamaño (NxN), el resultado final f_{cs}^y se presenta en una matriz (NxN).

¹⁹Como una extensión del modelo, si añadimos a (2-16) las emisiones correspondientes a los hogares de forma exógena, tal que, sea f_1^H un escalar que indica la polución correspondiente a los hogares de la región 1, premultiplicando el resultado de la expresión por un vector columna unitario como u' (representando el símbolo

' la transposición del vector antes utilizado), tenemos que

$$(f_1^T u') + f_1^H = H \cdot E . \quad (2-17)$$

Donde el resultado es un escalar que indica la cantidad total de CO₂ emitida, dentro del territorio considerado formado por las dos regiones, necesaria para satisfacer el consumo final de la región 1, es decir, una primera estimación de la huella ecológica en términos de CO₂, extremadamente limitada, al no incorporar las emisiones incorporadas en las importaciones. De forma análoga para la región 2.

²⁰No se ha tratado su aspecto metodológico, sobradamente explicado en los trabajos de Alcántara (1995;1999) y Sánchez-Chóliz y Duarte (2003), ya que no es el objetivo de este trabajo, sino su aportación a los MRIO como un valor añadido interpretativo. Ver también Padilla y Alcántara (2008).

²¹Concretamente se añade a la matriz tecnológica una columna y una fila adicional. La primera estará compuesta por el consumo de los hogares de cada sector/producto y en la fila la retribuciones salariales recibidas por cada sector. En realidad, como se añade en McGregor et al.(2004 a,b), 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. Cabe mencionar, que la caracterización de la inversión en capital como demanda final exógena es también un supuesto que genera gran discusión teórica.

²²Desde un enfoque político tiene sentido, en relación a repartir la responsabilidad de las emisiones a nivel estatal de acuerdo con el principio de consumo por región, ya que la reducción de esta polución será el objetivo de la política estatal y no de las generadas en el exterior, de acuerdo con lo requerido en el Protocolo de Kyoto, en el cual la contabilización de las emisiones territoriales se basan en el principio contable de producción (ver Munkgaard y Pedersen (2001)).

²³En Turner (2007 part2) se realiza en revisión de la literatura relevante en cuanto al impacto medioambiental del comercio, donde varios trabajos concluyen en la línea de esta idea.

²⁴En realidad, la matriz final resultante en la expresión (3-3), de tamaño $[(2N+1) \times (2N+1)]$, presenta una última fila de ceros que se omite por simplicidad. (ver nota final 18)

²⁵Puede ampliarse directamente para el caso de n-regiones, donde cada región adicional requerirá la misma información que las regiones aquí tratadas. En el caso de ser un régión interna de España, los datos de la región resto de España se verán necesariamente modificados.

²⁶En Llano C. (Tesis doctoral 2004) se analiza profundamente la problemática en cuanto a la preparación de la información estadística para la realización de un modelo multi-región para la economía española. El trabajo tiene como objetivo aportar una metodología que permita estimar el comercio interregional español para 17 regiones. (la cuestión básica de qué se entiende por comercio interregional ya supone gran controversia)

²⁷Destacar que $\left(\frac{m_{ij}^{ESP}}{M_i^{ESP}} \right)$ son los conocidos coeficientes de distribución del *modelo de Ghosh*, en recuerdo de

quien propuso este enfoque en 1958.

²⁸ En los modelo input-output aplicados de impacto ambiental se utilizarán en todo momento los valores monetarios a precios básicos, con el objetivo de no distorsionar los coeficientes de contaminación.

²⁹Sistema diseñado por la Unión Europea, recomendado por las Naciones Unidas, basado en un marco analítico de las relaciones económico ambientales, que permite su contabilidad bajo una visión global de las relaciones entre la economía y los ecosistemas. Puede encontrarse el desarrollo detallado del sistema NAMEA en Alcántara (2003).Propuesta de cuentas ambientales para Cataluña, Institut d'Estadística de Catalunya (Idescat), en Taules input-output de Cataluña 2001. Extensions del marc central de la comptabilitat nacional. [http://www.idescat.net/cat/idescat/formacio/reicerca/formacio/CS%20Medi%20Ambient.pdf](http://www.idescat.net/cat/idescat/formacio/reerca/formacio/CS%20Medi%20Ambient.pdf)

³⁰Para más información sobre esta metodología de asignación, ver la realización de las cuentas ambientales de Cataluña por Alcántara V. (pendiente de publicar). El principal motivo del uso de esta base de datos y metodología ha sido la de disponer de una información homogénea, en este sentido, para las regiones consideradas. Como apunte metodológico importante, cabe decir que las emisiones de la rama “transporte por carretera” únicamente presentan las correspondientes a la actividad productiva, puesto que se han separado las correspondientes a los hogares.

³¹Ver el trabajo de Padilla y Alcántara (2008), donde realizan un análisis del potencial de emisión de los servicios en la economía de acuerdo con la metodología de los subsistemas. En nuestro caso el sector transporte engloba el transporte por carretera, el aéreo y el marítimo, aunque cabe mencionar que es el primero el más importante llegando a representar casi el 80% de las emisiones totales del sector.

³²Concepto utilizado para referirse a los eslabonamientos hacia atrás medidos a través de la integración vertical en la conocida matriz inversa de Leontief, expresando así el potencial de arrastre de un sector determinado sobre las otras ramas productivas. También conocido como *efecto spillover*. Los eslabonamientos hacia delante son denominados *forward linkage*.

³³En este sentido es interesante los análisis realizados en trabajos como Alcántara (1995;1999) y Lladós, J et al. (2001) sobre las relaciones intersectoriales, directas e indirectas, en cada región, a través de la clasificación Colin-Clark, coeficientes de Rasmussen o coeficientes de Streit; estableciendo diferentes clasificaciones en función del potencial de arrastre e impulso sectorial y determinando sectores clave en la economía.

³⁴Cabe recordar que hablamos de CO₂ equivalente, y que en este caso la actividad agrícola genera elevadas cantidades de emisión de metano (CH₄), un hidrocarburo alcano con gran potencial de efecto invernadero (21 veces más que el CO₂). Un ejemplo evidente es la importancia de la actividad porcina en las emisiones de gases efecto invernadero en Cataluña.

³⁵Ver el estudio AMEEC (Análisis del Metabolismo Energético de la Economía Catalana), Ramos, J et al. (2009). Disponible en www2.iec.cat/institucio/AMEEC. En el que, por ejemplo, se señala que las emisiones per-

cápita de las centrales termoeléctricas del conjunto de España triplican a las de Cataluña para el año 2006, por lo que en nuestro caso, al considerar únicamente al resto de España, la diferencia se incrementará aún más.

³⁶Destacaremos únicamente lo más importante en cuanto al asunto que nos concierne para este trabajo, la interpretación del balance neto en polución incorporada, ya que el análisis de los diferentes efectos interregionales puede extender el trabajo considerablemente y desviarnos del tema principal.

³⁷En realidad los multiplicadores input-output interregionales nos ayudarían a ver estos efectos *feedback* y *spillover*, pero la limitación de extensión del trabajo no lo permite.

6.- BIBLIOGRAFÍA

Ahmad and Wyckoff, (2003) Carbon dioxide emissions embodied in international trade of goods, STI Working Paper DSTI/DOC vol. 15, Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), Paris, France (2003).

Alcántara, V. (1995). Economía y contaminación atmosférica: hacia un nuevo enfoque desde el análisis input-output. Tesis doctoral. Universitat de Barcelona.

Alcántara, V. (1999): “Análisis de impactos ambientales desde una perspectiva input – output”, en Ricaldi, T. (1999)

Alcántara, V. y Padilla, E. (2006): “An input-output análisis of the “key” sectors in CO₂ emissions from a production perspective: an application to the Spanish economy”. Documento de Trabajo, 06.01. Departamento de Economía Aplicada, Universidad Autónoma de Barcelona.

Alcántara, V. (2007) “Actividad económica y emisiones de CO₂ en España”, en Martín Vide, J. (Coord.), Llebot Rabagliati, J.E., Padilla Rosa, E., Alcántara Escolano, V. (2007): *Aspectos Económicos del Cambio Climático en España*. Ed. Caixa Catalunya, Barcelona, pp. 42-64.

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.

Benvenuti, S.; Martellato, D., y Raffaelli, C. (1995): “INTEREG: A twenty-region Input-Output Model for Italy”, *Economic System Research*, vol. 7, núm. 2.

Bicknell, K.B., Ball, R.J., Cullen, R. and Bigsby, H.R. (1998), “New Methodology for the Ecological Footprint with an Application to the New Zealand Economy”, *Ecological Economics*, vol. 27, pp. 149-160.

Boomsma P. and Oosterhaven J. (1992). A double-entry method for the construction of bi-regional input output tables. *Journal of Regional science*, vol.32 nº3, pp.269-284

Butnar and Llop, (2007) Composition of greenhouse gas emissions in Spain: an input–output analysis, *Ecological Economics* 61 (2007), pp. 388–395.

CE (2002): Directiva 2002/358/CE, de 25 de abril de 2002, del Consejo Europeo, relativa a la aprobación, en nombre de la Comunidad Europea, del Protocolo de Kyoto de la Convención

Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y al cumplimiento conjunto de los compromisos contraídos con arreglo al mismo.

Chenery. (1958) Hollis and Watanbe. Tsunelhiko. An International Comparison of the Structure of Production. *Econométrica*. 26(4):487-521

Dixit, A.K. and Norman, V. (1980), *Theory of International Trade*, Cambridge University Press, Cambridge.

Ghosh, A. (1958), "Input-Output Approach in an Allocation System", *Economica*, vol. 25, pp. 58-64.

Hazari, Bharat R & Krishnamurty, J, (1970). "Employment Implications of India's Industrialization: Analysis in an Input Output Framework," *The Review of Economics and Statistics*, MIT Press, vol. 52(2), pages 181-86, May

Heimler, A. (1991): "Linkages and vertical integration in the chinese economy", *Review of Economics and Statistics*, 73, pp. 261-267.

Isard, W., (1951). Interregional and regional input-output analysis, a model of a space economy. *Review of Economics and Statistics* 33, 318–328.

Labandeira and Labeaga, (2002). Estimation and control of Spanish energy-related CO₂ emissions: an input-output approach, *Energy Policy* 30 (2002), pp. 597–611.

Lenzen, M., (1998). Primary energy and greenhouse gases embodied in Australian final consumption: an input-output analysis. *Energy Policy* 26, 495–506.

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 Barcelona

Machado, G., Schaeffer, R., Worrell, E., (2001). Energy and carbon embodied in the international trade of Brazil: an input-output approach. *Ecological Economics* 39, 409–424.

Mäenpää, I., Siikavirta, H., (2007). Greenhouse gases embodied in the international trade and final consumption of Finland: an input-output analysis. *Energy Policy* 35, 128–143.

McGregor, P.G., Swales, J.K., Turner, K., (2004a). 'The environmental 'trade balance' between Scotland and the rest of the UK: an inter-regional input-output and SAM analysis', mimeo, Strathclyde Discussion Papers in Economics, 0421.

McGregor, P.G., Swales, J.K., Turner, K.R., (2004b). 'An Input-Output Based Alternative to 'Ecological Footprints' for Tracking Pollution Generation in a Small Open Economy', mimeo, Strathclyde Papers in Economics, 04/04.

Miller, R.E., Blair, P.D., (1985). Input-Output Analysis: Foundations and Extensions. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, USA.

Munksgaard, J., Pedersen, K.A., (2001). CO₂ accounts for open economies: producer or consumer responsibility? *Energy Policy* 29, 327–334.

Muradian, R., O'Connor, M., Martinez-Alier, J., 2002. Embodied pollution in trade: estimating the ‘environmental load displacement’ of industrialised countries. *Ecological Economics* 41, 51–67.

Padilla E. y Alcántara V. 2008 Input–output subsystems and pollution: An application to the service sector and CO₂ emissions in Spain. *Ecological Economics*, Volume 68, Issue 3, 15 January 2009, Pages 905-914

Peters, G., Hertwich, E., (2004). Production Factors and Pollution Embodied in Trade: Theoretical Development. Hertwich, Edgar. Working Papers 5/2004. University of Science and Technology (NTNU), Trondheim, Norway. Industrial Ecology Programme (IndEcol).

Peters, G.P., Hertwich, E.G., (2006a). Pollution embodied in trade: the Norwegian case. *Global Environmental Change* 16, 379–387.

Peters,G.P.,Hertwich, E.G., (2006b). Structural analysis of international trade: environmental impacts of Norway. *Economic Systems Research* 18, 155–181.

Proops, J.L.R., Atkinson, G., Schlotheim, B.F., Simon, S., (1999). International trade and the sustainability footprint: a practical criterion for its assessment. *Ecological Economics* 28, 75–97.

Pulido A.(1992), “Propuesta metodológica para el diseño de un modelo de análisis regional integrado con desagregación sectorial”. Instituto L. R. Klein, documento 92/4, abril 1992.

Pulido A. y Fontanella, E.(1993) . Análisis Input-Output: modelos, datos y aplicaciones. Ed. Pirámide.

Ramos, J et al. (2009). AMEEC (Análisis del Metabolismo Energético de la Economía Catalana), Disponible en www2.iec.cat/institucio/AMEEC

Rasmussen, (1956) Paul Noregaard. *Studies in Inter-Sectoral Relations*. Amsterdam, North-Holland P.C.

Sánchez-Chóliz, J., Duarte, R., (2004). CO₂ emissions embodied in international trade: evidence for Spain. *Energy Policy* 32, 1999–2005.

Sánchez Chóliz, J. y Duarte, R.(2003): “Analysing pollution by vertically integrated coefficients, with an application to the water sector in Aragon”, *Cambridge Journal of Economics*, 27, pp. 433-448.

Sraffa (1960) *Production of Commodities by Means of Commodities*. Cambridge University Press, Cambridge.

Tunç, G.I, Türüt-Asik, S., Akbostancı, E., (2007). CO₂ emissions vs. CO₂ responsibility: An input–output approach for the Turkish economy. *Energy Policy* 35, 855–868.

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* 61, 6–10.

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*.

ANEXO I

Dentro de la extensa literatura respecto a los multiplicadores input-output, tanto a nivel singular, regional como multirregional, ver por ejemplo Miller and Blair (1985), encontramos un varias referencias a un tipo de multiplicadores alternativos basado en un ratio que indica el potencial multiplicador de una rama productiva determinada. En esta línea destacan los trabajos de Hazary R. and Krishnamurty (1970) y Proops J. (1988).

De esta forma si tenemos

A_{ij} : elementos de la matriz inversa de Leontief $(I-A)^{-1}$

e_i : vector fila de coeficientes directos de emisión del sector i

E_i : vector fila de emisión directa del sector i

tenemos que

$$\frac{\sum_{i=1}^n \hat{e}_i A_{ij}}{E_i} \quad (1)$$

Resulta un vector fila en el que cada valor indica el efecto multiplicar de la emisión de cada sector. El cual se utiliza en la sección 4 de los resultados (tablas 2 y 3).

La aportación metodológica principal de este multiplicador es que el efecto de arrastre que supone cada sector sobre él mismo, que muestra la diagonal principal de la matriz Inversa de Leontief, queda compensado al dividir por el efecto directo del sector. Informando de un efecto limpio sobre los otros sectores.

ANEXO II

Tabla 15.- COEFICIENTES DE CO₂ "EQUIVALENTE" PARA CATALUÑA Y EL RESTO DE ESPAÑA

RAMAS PRODUCTIVAS	Coeficiente CO₂ para Cataluña	Coeficiente CO₂ para el resto de España
Agricultura, ganadería, caza, selvicultura y serv relacionados	0,744	1,125
Pesca y acuicultura	0,104	0,556
Extracción de productos energéticos	0,064	0,132
Extracción de productos no energéticos	0,024	0,016
Coquerías, refino y combustibles nucleares	0,911	1,028
Producción y distribución de energía (excepto agua)	0,388	4,367
Captación, depuración y distribución de agua	0,046	0,101
Industrias alimenticias, bebidas y tabaco	0,021	0,020
Industria textil	0,033	0,062
Industria de la confección y la peletería	0,007	0,015
Industria del cuero y del calzado	0,008	0,006
Industria de la madera y el corcho	0,029	0,035
Industria del papel	0,052	0,103
Edición y artes gráficas	0,008	0,025
Industria química	0,117	0,422
Industria del caucho y materias plásticas	0,019	0,043
Fabricación de otros productos minerales no metálicos	1,689	1,586
Metalurgia	0,039	0,401
Fabricación de productos metálicos	0,020	0,029
Maquinaria y equipo mecánico	0,006	0,015
Máquinas de oficina y equipos informáticos	0,000	0,011
Fabricación de maquinaria y material eléctrico	0,011	0,015
Fabricación de material electrónico	0,001	0,003
Instrumentos médico-quirúrgicos y de precisión	0,005	0,003
Fabricación de vehículos de motor y remolques	0,007	0,008
Fabricación de otro material de transporte	0,019	0,011
Muebles y otras industrias manufactureras	0,011	0,009
Reciclaje	0,073	0,192
Construcción	0,006	0,021
Vehículos y reparación	0,008	0,012
Hostelería	0,006	0,011
Transporte por ferrocarril	0,136	0,177
Transporte terrestre y transporte por tubería	0,704	1,186
Transporte marítimo	0,969	1,310
Transporte aéreo y espacial	0,521	0,806
Actividades anexas a los transportes	0,015	0,017
Correos y telecomunicaciones	0,018	0,005
Intermediación financiera	0,003	0,002
Actividades inmobiliarias y servicios empresariales	0,005	0,002
Administración pública	0,009	0,010
Educación	0,006	0,010
Sanidad y servicios sociales	0,013	0,016
Actividades sociales y servicios	0,296	0,286
Hogares que emplean personal doméstico	0	0

*Kilogramos de CO₂ equivalente por euro (precios básicos)

Fuente: Elaboración propia a partir datos INE, Idescat y CORINAIR

Tabla 4.-COMPONENTES DEL BALANCE DE CATALUÑA EN EMISIONES DE CO₂ "EQUIVALENTE" INCORPORADO (EN kt)

RAMAS PRODUCTIVAS	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 exportacións domésticas	exportacións con CO ₂ importado	Total CO ₂ exportaciones	Balance Neto (10)=(9)-(5)	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(3)+(4)=(5)	(2)+(5)=(6)	(7)	(8)	(7)+(8)=(9)	(10)=(9)-(5)	
Agricultura, ganadería, caza, selvicultura y pesca	6056,5	1757,7	129,0	856,9	985,9	2743,6	625,4	45,1	670,4	-315,5	
Coquerías, refino, combustibles nucleares e industrias extractivas	5111,6	2499,7	286,9	835,5	1122,4	3622,0	1344,6	157,4	1502,0	379,6	
Producción y distribución de energía (incluido agua)	2241,1	1398,5	296,6	252,3	548,9	1947,5	671,4	136,1	807,5	258,6	
Industrias alimenticias, bebidas y tabaco	496,5	4782,7	3261,4	1356,1	4617,5	9400,3	2733,6	1864,0	4597,6	-19,9	
Industria textil, peletería y cuero	277,5	892,0	843,5	161,2	1004,7	1896,7	677,2	620,4	1297,6	292,9	
Industria de la madera, corcho, papel y artes gráficas	425,5	620,0	477,5	38,5	516,0	1135,9	556,1	419,1	975,2	459,2	
Industria química, caucho y plástico	3098,4	3442,6	1899,2	301,4	2200,5	5643,1	3034,3	1684,0	4718,3	2517,8	
Fabricación de otros productos minerales no metálicos	9027,8	4025,0	290,7	90,3	381,0	4406,0	3840,0	277,3	4117,4	3736,4	
Metalurgia, prod metálicos, maquinaria, eléctrico, electrónico v precisión	651,2	1461,0	1259,6	326,3	1585,9	3046,8	1072,8	880,1	1953,0	367,1	
Industria de vehículos de transporte	167,5	964,3	1046,2	248,2	1294,4	2258,7	675,8	735,2	1411,0	116,6	
Reciclaje y otras industrias	105,1	300,6	224,6	92,3	316,9	617,4	153,5	111,2	264,7	-52,1	
Construcción	129,2	4261,1	2444,9	0,0	2444,9	6706,0	0,0	0,0	0,0	-2444,9	
Vehículos y reparación	255,2	1602,6	941,2	0,0	941,2	2543,8	577,3	339,1	916,4	-24,8	
Hostelería	92,1	1382,7	973,8	0,0	973,8	2356,5	0,0	0,0	0,0	-973,8	
Transporte	6939,9	3865,1	525,2	208,2	733,5	4598,6	2541,9	337,1	2879,0	2145,5	
Actividades anexas a los transportes y comunicaciones	200,0	850,8	459,3	0,3	459,6	1310,4	420,9	232,8	653,7	194,1	
Actividades sociales y otros servicios	3015,8	4184,5	1363,9	56,0	1419,9	5604,5	589,9	200,4	790,3	-629,6	
TOTAL	38290,9	38290,9	3	4823,5	16723,	21546,	59837,	19514,	8039,2	27554,0	6007,1

Fuente: Elaboración propia a partir datos INE, Idescat y CORINAIR (diseño de Sánchez-Chóliz and Duarte (2003))

Tabla 5.-RATIOS Y PROCENTAJES DEL BALANCE EN EMISIONES DE CO₂ "EQUIVALENTE" INCORPORADO DE CATALUÑA (EN kt)

RAMAS PRODUCTIVAS											Impacto en CO ₂ demanda local (2)-(10)	% vertical sectores
	(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			
Agricultura, ganadería, caza, selvicultura y pesca	0,64	0,68	-5,3%	0,8%	17,8	4,6%	4,6%	0,6%	2,4%	2073,2	6,4%	
Coquerías, refino, combustibles nucleares e industrias	0,69	1,34	6,3%	1,7%	~ 17,3	5,2%	6,1%	2,0%	5,5%	2120,0	6,6%	
Producción y distribución de energía (incluido agua)	0,72	1,47	4,3%	1,8%	5,2%	2,5%	3,3%	1,7%	2,9%	1140,0	3,5%	
Industrias alimenticias, bebidas y tabaco	0,51	1,00	-0,3%	19,5	28,1	21,4%	15,7%	23,2	16,7%	4802,7	14,9%	
Industria textil, peletería y cuero	0,47	1,29	4,9%	5,0%	3,3%	4,7%	3,2%	7,7%	4,7%	599,0	1,9%	
Industria de la madera, corcho, papel y artes gráficas	0,55	1,89	7,6%	2,9%	0,8%	2,4%	1,9%	5,2%	3,5%	160,8	0,5%	
Industria química, caucho y plástico	0,61	2,14	41,9%	~ 11,4	6,2%	10,2%	9,4%	20,9	17,1%	924,8	2,9%	
Fabricación de otros productos minerales no metálicos	0,91	10,81	62,2%	1,7%	1,9%	1,8%	7,4%	3,4%	14,9%	288,6	0,9%	
Metalurgia, prod metálicos, maquinaria, eléctrico, electrónico y precisión	0,48	1,23	6,1%	7,5%	6,8%	7,4%	5,1%	10,9 %	7,1%	1093,9	3,4%	
Industria de vehículos de transporte	0,43	1,09	1,9%	6,3%	5,1%	6,0%	3,8%	9,1%	5,1%	847,7	2,6%	
Reciclaje y otras industrias	0,49	0,84	-0,9%	1,3%	1,9%	1,5%	1,0%	1,4%	1,0%	352,7	1,1%	
Construcción	0,64	0,00	-40,7%	~ 14,6	0,0%	11,3%	11,2%	0,0%	0,0%	6706,0	20,8%	
Vehículos y reparación	0,63	0,97	-0,4%	5,6%	0,0%	4,4%	4,3%	4,2%	3,3%	1627,4	5,0%	
Hostelería	0,59	0,00	-16,2%	5,8%	0,0%	4,5%	3,9%	0,0%	0,0%	2356,5	7,3%	
Transporte	0,84	3,93	35,7%	3,1%	4,3%	3,4%	7,7%	4,2%	10,4%	1719,6	5,3%	
Actividades anexas a los transportes y comunicaciones	0,65	1,42	3,2%	2,7%	0,0%	2,1%	2,2%	2,9%	2,4%	656,7	2,0%	
Actividades sociales y otros servicios	0,75	0,56	-10,5%	8,2%	1,2%	6,6%	9,4%	2,5%	2,9%	4814,2	14,9%	
TOTAL	0,64	1,28	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	32283,7	100%	

Fuente: Elaboración propia a partir datos INE, Idescat y CORINAIR (diseño de Sánchez-Chóliz and Duarte (2003))

Tabla 8.-DESTINO DEMANDA FINAL DE EMISIONES TOTALES (DIR+IND) GENERADAS EN CADA REGIÓN POR SECTOR (EN kt)-ANALISIS TIPO I

RAMAS PRODUCTIVAS	EMISIONES DE CO ₂ GENERADAS EN CATALUÑA						EMISIONES DE CO ₂ GENERADAS EN EL RESTO DE ESPAÑA						BALANCE EN CO ₂ PARA CATALUÑA	% TOTAL BALANCE	POLUCIÓN estatal GENERADA PARA LA DF DE CATALUÑA	POLUCIÓN estatal GENERADA PARA LA DF DEL RESTO DE ESPAÑA				
	DESTINO DF CATALUÑA		DESTINO DF RESTO ESTADO		DESTINO DF RESTO DEL MUNDO		DESTINO DF CATALUÑA		DESTINO DF RESTO ESTADO		DESTINO DF RESTO DEL MUNDO									
	Kt (1)	% total en Cat	Kt (3)	% total en Cat	Kt (5)	% total en Cat	Kt (7)	% total en RE	Kt (9)	% total en RE	Kt (11)	% total en RE								
Agricultura, ganadería, caza, selvicultura y pesca	594,6	1,6%	274,5	0,7%	889,8	2,3%	1339,8	0,4%	7430,5	2,5%	10984,6	3,7%	-1065,3	10,6%	1934,4	5,3%				
Coquerías, refino, combustibles nucleares e industrias extractivas	565,31	1,6%	180,44	0,5%	793,42	2,0%	1295,29	0,4%	5675,40	1,9%	7497,60	2,4%	-1114,9	11,1%	1860,6	5,1%				
Producción y distribución de energía (incluido agua)	595,53	1,6%	158,48	0,4%	12,99	0,0%	3018,67	1,0%	25737,8	8,6%	551,52	0,2%	-2860,2	28,5%	3614,2	9,9%				
Industrias alimenticias, bebidas y tabaco	965,97	2,5%	2449,42	6,4%	1241,89	3,2%	3018,98	1,0%	16591,0	5,5%	6637,05	2,2%	-569,6	5,7%	3985,0	10,9%				
Industria textil, peletería y cuero	62,56	0,2%	237,19	0,6%	362,46	0,9%	378,19	0,1%	1563,47	0,5%	2608,42	0,9%	-141,0	1,4%	440,8	1,2%				
Industria de la madera, corcho, papel y artes gráficas	25,2	0,1%	93,9	0,2%	314,5	0,8%	158,1	0,1%	446,1	0,1%	1947,2	0,6%	-64,2	0,6%	183,2	0,5%				
Industria química, caucho y plástico	164,6	0,4%	535,4	1,4%	1946,9	5,1%	1163,1	0,4%	2970,3	1,0%	15487,9	5,1%	-627,7	6,3%	1327,7	3,6%				
Fabricación de otros productos minerales no metálicos	137,2	0,4%	192,2	0,5%	1801,9	4,7%	63,2	0,0%	994,3	0,3%	9172,1	3,0%	129,0	-1,3%	200,4	0,5%				
Metalurgia, prod metálicos, maquinaria, eléctrico, electrónico y precisión	92,3	0,2%	287,6	0,8%	994,4	2,6%	692,5	0,2%	3333,2	1,1%	11733,4	3,9%	-404,8	4,0%	784,8	2,2%				
Industria de vehículos de transporte	53,2	0,1%	184,3	0,5%	791,2	2,1%	437,7	0,1%	1580,1	0,5%	8367,3	2,8%	-253,4	2,5%	490,9	1,3%				
Reciclaje y otras industrias	74,7	0,2%	173,8	0,5%	103,1	0,3%	268,3	0,1%	1472,7	0,5%	727,3	0,2%	-94,5	0,9%	343,0	0,9%				
Construcción	3327,3	8,7%	3526,4	9,2%	0,4	0,0%	3589,4	1,2%	37230,2	12,4%	4,7	0,0%	-63,0	0,6%	6916,7	19,0%				
Vehículos y reparación	841,3	2,2%	729,8	1,9%	268,3	0,7%	1305,3	0,4%	16193,8	5,4%	2353,5	0,8%	-575,4	5,7%	2146,6	5,9%				
Hostelería	1412,6	3,7%	996,5	2,6%	0,0	0,0%	2200,5	0,7%	14680,4	4,9%	0,0	0,0%	-1204,0	12,0%	3613,1	9,9%				
Transporte	1351,8	3,5%	436,0	1,1%	1880,2	4,9%	345,1	0,1%	9625,1	3,2%	12449,7	4,1%	90,9	-0,9%	1696,9	4,7%				
Actividades anexas a los transportes y comunicaciones	382,8	1,0%	208,4	0,5%	195,9	0,5%	459,5	0,2%	3270,8	1,1%	1109,1	0,4%	-251,0	2,5%	842,3	2,3%				
Actividades sociales y otros servicios	3429,0	9,0%	1693,7	4,4%	258,9	0,7%	2647,2	0,9%	36028,7	12,0%	2000,2	0,7%	-953,5	9,5%	6076,3	16,7%				
TOTAL	14076,2	36,8%	12358,2	32,3%	11856,5	31,0%	22380,7	7,4%	9	61,4%	93631,6	31,1%	-10022,5	100,0%	36456,9	100,0%				
Fuente: Elaboración propia a partir datos INE, Idescat y CORINAIR													184823,							

Tabla 9.- DESAGREGACIÓN TABLA 8 SEGÚN TIPO DE DEMANDA DE DESTINO EN PRIMERA INSTANCIA, DIRECTO O INDIRECTO(EXPRESIONES (2-9) A (2-14) (EN KT)-

ANALISIS TIPO I												
RAMAS PRODUCTIVAS	EMISIONES DE CO ₂ GENERADAS EN CATALUÑA						EMISIONES DE CO ₂ GENERADAS EN EL RESTO DE ESPAÑA					
	DESTINO DF CATALUÑA		DESTINO DF RESTO ESTADO		DESTINO DF RESTO DEL MUNDO		DESTINO DF CATALUÑA		DESTINO DF RESTO ESTADO		DESTINO DF RESTO DEL MUNDO	
	directo DF (1)	Indirecto (CI*) (2)	directo DF (3)	Indirecto (CI) (4)	directo DF (5)	Indirecto (CI) (6)	Indirecto (CI) (7)	directo DF (8)	Indirecto (CI) (9)	directo DF (10)	Indirecto (CI) (11)	directo DF (12)
Agricultura, ganadería, caza, selvicultura y pesca	580,0	14,6	190,6	83,9	773,5	116,3	62,0	1277,8	25,0	7405,5	76,0	10908,6
Coquerías, refino, combustibles nucleares e industrias extractivas	549,1	16,2	106,3	74,1	682,5	110,9	46,7	1248,6	8,6	5666,8	64,2	7433,4
Producción y distribución de energía (incluido agua)	581,9	13,7	0,0	158,5	10,2	2,8	356,0	2662,7	0,0	25737,8	4,4	547,1
Industrias alimenticias, bebidas y tabaco	873,2	92,8	1835,5	613,9	1005,8	236,1	750,9	2268,1	1578,3	15012,7	864,9	5772,1
Industria textil, peletería y cuero	43,5	19,1	147,2	90,0	234,9	127,6	103,8	274,4	331,4	1232,0	474,6	2133,8
Industria de la madera, corcho, papel y artes gráficas	18,6	6,6	80,7	13,2	243,5	71,0	46,1	111,9	203,4	242,8	385,4	1561,8
Industria química, caucho y plástico	130,1	34,5	451,6	83,9	1465,8	481,2	126,4	1036,7	438,9	2531,4	1516,2	13971,7
Fabricación de otros productos minerales no metálicos	136,2	1,0	172,5	19,7	1620,2	181,8	13,3	49,9	16,9	977,4	158,4	9013,8
Metalurgia, prod metálicos, maquinaria, electrico, electronico y mineria	60,0	32,3	121,9	165,8	545,7	448,7	149,2	543,3	321,0	3012,2	1313,4	10420,0
Industria de vehículos de transporte	32,6	20,7	105,5	78,8	351,1	440,2	93,2	344,5	297,1	1283,0	1036,1	7331,1
Reciclaje y otras industrias	62,9	11,8	73,6	100,1	56,2	46,9	109,7	158,6	128,4	1344,3	98,0	629,3
Construcción	3327,3	0,0	0,0	3526,4	0,0	0,4	3589,4	0,0	0,0	37230,2	0,0	4,7
Vehículos y reparación	841,3	0,0	0,0	729,8	174,4	93,9	1305,3	0,0	0,0	16193,8	270,6	2082,9
Hostelería	1412,6	0,0	0,0	996,5	0,0	0,0	2200,5	0,0	0,0	14680,4	0,0	0,0
Transporte	1350,1	1,7	270,8	165,2	1625,9	254,3	281,7	63,5	34,0	9591,1	243,3	12206,4
Actividades anexas a los transportes y comunicaciones	382,8	0,0	0,1	208,3	125,7	70,2	459,5	0,0	0,2	3270,6	127,7	981,3
Actividades sociales y otros servicios	3426,6	2,5	62,6	1631,2	153,7	105,2	2587,2	60,0	44,4	35984,3	148,4	1851,8
TOTAL	13808,8	267,4	3618,9	8739,3	9069,1	2787,4	12280,9	10099,8	3427,5	181396, 3	6781,6	86849,9

*CI = Consumo Intermedio

Fuente: Elaboración propia a partir datos INE, Idescat y CORINAIR

Tabla 14.-DESTINO DEMANDA FINAL DE EMISIÓNES TOTALES (DIR+IND) GENERADAS EN CADA REGIÓN POR SECTOR (EN kt)-ANALISIS TELAS -TIPO II

RAMAS PRODUCTIVAS	EMISIÓNES DE CO ₂ GENERADAS EN CATALUÑA				EMISIÓNES DE CO ₂ GENERADAS EN EL RESTO DE ESPAÑA				POLUCIÓN TOTAL GENERADA PARA LA DF DE CATALUÑA		POLUCIÓN TOTAL GENERADA PARA LA DF DEL RESTO DE ESPAÑA	
	DESTINO DF CATALUÑA		DESTINO DF RESTO ESTADO		DESTINO DF CATALUÑA		DESTINO DF RESTO ESTADO		BALANCE EN CO ₂ PARA CATALUÑA		% del total vertical	
	kt	% total en Cat	kt	% total en Cat	kt	% total en RE	kt	% total en RE	kt	% TOTAL BALANCE	kt	% del total vertical
Agricultura, ganadería, caza, selvicultura y pesca	608,3	1,59%	322,9	0,84%	1448,3	0,48%	7812,9	2,60%	-1125,3	6,0%	2056,6	3,6%
Coquerías, refino, combustibles nucleares e industrias extractivas	626,1	1,64%	357,5	0,93%	1775,5	0,59%	7073,4	2,35%	-1418,0	7,6%	2401,6	4,2%
Producción y distribución de energía (incluido agua)	637,9	1,67%	283,7	0,74%	3353,1	1,11%	26726,5	8,88%	-3069,4	16,4%	3991,0	7,0%
Industrias alimenticias, bebidas y tabaco	1076,5	2,81%	2912,4	7,61%	3892,2	1,29%	20247,3	6,73%	-979,8	5,2%	4968,7	8,7%
Industria textil, peletería y cuero	104,9	0,27%	405,3	1,06%	712,5	0,24%	2891,2	0,96%	-307,1	1,6%	817,4	1,4%
Industria de la madera, corcho, papel y artes gráficas	38,5	0,10%	138,5	0,36%	263,3	0,09%	798,1	0,27%	-124,9	0,7%	301,8	0,5%
Industria química, caucho y plástico	219,2	0,57%	687,7	1,80%	1594,8	0,53%	4173,0	1,39%	-907,1	4,8%	1814,1	3,2%
Fabricación de otros productos minerales no metálicos	138,3	0,36%	198,2	0,52%	71,2	0,02%	1041,9	0,35%	127,0	-0,7%	209,5	0,4%
Metalurgia, prod metálicos, maquinaria, electrico, electronico y precisión	169,9	0,44%	564,8	1,47%	1304,8	0,43%	5521,6	1,84%	-740,0	4,0%	1474,7	2,6%
Industria de vehículos de transporte	135,2	0,35%	467,0	1,22%	1084,7	0,36%	3812,9	1,27%	-617,7	3,3%	1219,8	2,1%
Reciclaje y otras industrias	104,6	0,27%	304,4	0,79%	503,8	0,17%	2504,3	0,83%	-199,4	1,1%	608,3	1,1%
Construcción	3489,4	9,11%	4561,1	11,91%	4869,8	1,62%	45401,2	15,09%	-308,7	1,6%	8359,2	14,7%
Vehículos y reparación	943,8	2,46%	1118,1	2,92%	2114,4	0,70%	19259,8	6,40%	-996,3	5,3%	3058,3	5,4%
Hostelería	1523,5	3,98%	1469,3	3,84%	3076,3	1,02%	18413,9	6,12%	-1607,0	8,6%	4599,8	8,1%
Transporte	1371,6	3,58%	530,4	1,39%	501,5	0,17%	10370,6	3,45%	28,9	-0,2%	1873,1	3,3%
Actividades anexas a los transportes y comunicaciones	412,1	1,08%	343,7	0,90%	690,7	0,23%	4339,4	1,44%	-347,0	1,9%	1102,9	1,9%
Actividades sociales y otros servicios	3678,1	9,61%	2932,3	7,66%	4614,0	1,53%	45809,9	15,23%	-1681,7	9,0%	8292,1	14,5%
Resto del mundo	1109,8	2,90%	4305,7	11,24%	8764,5	2,91%	34002,8	11,30%	-4458,8	23,8%	9874,3	17,3%
TOTAL	16387,8	42,80%	21903,1	57,20%	40635,4	13,51%	260200,7	86,49%	-18732,3	100,0%	57023,2	100,0%

Fuente: Elaboración propia a partir datos INE, Idescat y CORINAIR