

Departament d'Economia Aplicada

Sobre los subsistemas input-output en
el análisis de emisiones contaminantes.
Una aplicación a las emisiones de CH₄
en Cataluña

Francisco M. Navarro Gálvez
Vicent Alcántara Escolano

**D
O
C
U
M
E
N
T

D
E

T
R
E
B
A
L
L**

09.01



Universitat Autònoma de Barcelona

Facultat de Ciències Econòmiques i Empresarials

Aquest document pertany al Departament d'Economia Aplicada.

Data de publicació : **Març 2009**

Departament d'Economia Aplicada
Edifici B
Campus de Bellaterra
08193 Bellaterra

Telèfon: (93) 581 1680
Fax:(93) 581 2292
E-mail: d.econ.aplicada@uab.es
<http://www.ecap.uab.es>

**Sobre los subsistemas input-output en el análisis de emisiones
contaminantes. Una aplicación a las emisiones de CH₄ en
Cataluña**

**FRANCISCO M. NAVARRO GÁLVEZ
VICENT ALCÁNTARA ESCOLANO**



Enero 2009

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

Sobre los subsistemas input-output en el análisis de emisiones contaminantes. Una aplicación a las emisiones de CH₄ en Cataluña

Francisco Navarro Gálvez y Vicent Alcántara Escolano

Departamento de Economía Aplicada, Universidad Autónoma de Barcelona, 08193 Bellaterra

RESUMEN

En el presente trabajo se desarrolla un estudio de las emisiones de CH₄ relacionadas con el sector agroalimentario catalán a través de un análisis alternativo, o al menos complementario, de subsistemas input-output. Una herramienta de gran utilidad para estudiar la estructura productiva de los diferentes sectores que componen una economía. La aplicación de esta técnica permite la descomposición del subsistema en distintos efectos en función de los vínculos intersectoriales existentes con el conjunto de las ramas productivas de la economía, dentro y fuera del subsistema. De los resultados obtenidos destaca la importancia de las relaciones intrasectoriales del subsistema agroalimentario, que muestra una relevante autonomía en cuanto a este tipo de emisiones respecto al resto de la economía. Esta característica orienta el tipo de políticas medioambientales a implementar con el objetivo de reducir el impacto atmosférico de dicha actividad.

Palabras: Input-output, subsistemas, integración vertical y emisiones de CH₄

1.- Introducción

El metano (CH₄), es un contaminante atmosférico con gran potencial de efecto invernadero¹. A lo largo de este trabajo nos ocuparemos del análisis de las emisiones de este gas realizadas por las ramas productivas agrarias y de productos alimenticios en Cataluña. Con el fin de calibrar la importancia de estas emisiones en Cataluña, conviene considerar que las emisiones de CH₄ en esta comunidad en 2005 supusieron el 17,3 % de las emisiones totales de España, un porcentaje nada despreciable. Por otra parte, los efectos inducidos

¹ En realidad, su *potencial de calentamiento de la tierra* es de 21 unidades de CO₂ equivalente por unidad de CH₄. (fuente: metodología sobre las cuentas satélite de emisiones atmosféricas. INE)

por las industrias de alimentación suponen un considerable efecto de arrastre, en particular a la agricultura y los servicios de saneamiento, tal como se muestra en estas páginas. Para hacernos una idea de ello, conviene destacar que la emisión total, directa e indirecta, atribuible a la rama de Alimentación, bebidas y tabaco en Cataluña suponen el 29,5 % del total catalán y la Agricultura y ganadería el 16,1 %, lo que hace un total para el subsistema productivo formado por estas dos ramas de producción del 45,7 %, más de una tercera parte. Parece razonable, pues, analizar con cierto rigor metodológico el papel de esos dos sectores en las emisiones así como los efectos explicativos de las mismas, con el fin de disponer de una información relevante para el diseño futuro de políticas ambientales relacionadas con estas emisiones. Nos ocupamos de ello aplicando el concepto de subsistema input-output.

En ciertos casos, existen sectores productivos con suficiente entidad contaminante como para ser analizados de forma individual dentro de todo el sistema económico. Como es el caso del presente trabajo, en el cual nos interesa ver la importancia de un sector en toda su complejidad, atendiendo a sus relaciones con el conjunto del sistema productivo. La técnica que nos permite analizar la estructura productiva particular de cada una de las industrias que conforman el sistema económico, sin desvincularlo del resto de sectores, es el artificio de los subsistemas planteado por Sraffa (1960), dentro del marco del análisis input-output. Como el mismo Sraffa señala, si consideramos un sistema de industrias en el que cada una produce una mercancía diferente (tal como ocurre en una tabla input - output), “tal sistema puede ser dividido en tantas partes como mercancías haya en su producto neto, de tal modo que cada parte forme un sistema de auto-reemplazamiento menor cuyo producto neto se componga de una sola clase de mercancía. Estas partes serán denominadas *subsistemas*”.

Es evidente el interés que esta técnica de análisis tiene no sólo para el estudio de los impactos medioambientales de las distintas industrias, sino en muy distintos aspectos tanto teóricos como aplicados.

Aunque encontramos en Pasinetti (1977) una primera elaboración del planteamiento de Sraffa (1960), y más tarde también un provechoso desarrollo en Heimler (1991)², no es hasta Alcántara (1995 y 1999) donde se desarrolla el artilingio de los subsistemas desde una perspectiva medioambiental. En el trabajo citado se realiza la construcción de subsistemas generadores de contaminación de forma ampliamente desagregada, lo que permite analizar las interconexiones contaminantes que tienen lugar en un sistema productivo con el fin de obtener la demanda final de un sector cualquiera. La utilidad analítica del proceso de integración vertical de los distintos sectores de la economía queda ilustrada en el uso que se realiza en ese trabajo, analizando el enfoque de los sectores clave (ver Rasmussen, 1956) bajo un punto de vista alternativo, o al menos complementario, de acuerdo con la técnica de los subsistemas.

La desagregación en subsistemas tiene interés en tanto en cuanto las decisiones de política económico - ambiental no pueden ser ajenas a las múltiples relaciones intersectoriales que vinculan a cualquier industria con el resto del sistema productivo. Por otro lado, la técnica relaja gran parte de las limitaciones que presentaba el enfoque convencional de los sectores clave, y aumenta el potencial explicativo de la clasificación basada en esta propuesta metodológica. La principal ventaja en este sentido es que el nivel de desagregación que la metodología permite, en cuanto a los vínculos intersectoriales, hace que puedan separarse del potencial de un subsistema en cuanto a sus ligazones “hacia atrás” y “hacia adelante” con otros sectores, aquellos aspectos que no deberían considerarse en la determinación de sectores clave.

Un trabajo interesante en esta línea es Sánchez-Chóliz y Duarte (2003), que en cierta manera complementa y esclarece la propuesta realizada en Alcántara (1995). En una aplicación de la metodología desarrollada en Pasinetti (1977) para la contaminación del agua por la actividad económica en la región

² La integración vertical ha sido aplicada al análisis de estructuras productivas, así como al estudio de las relaciones entre determinadas variables económicas y el sistema económico como un todo. En Alcántara (1995) pueden verse una lista con los más destacables.

de Aragón, los autores obtienen cinco índices de medición correspondiente a cada rama productiva y cada tipo de contaminación. Estos índices representan una significativa mejora respecto a los tradicionales desarrollados por Rasmussen, solucionando algunas de sus deficiencias. Los autores comparan metodológicamente ambos enfoques y demuestran dicha mejora. Asimismo analizan los resultados de la aplicación de acuerdo con un estudio más completo en el sentido de identificación de sectores claves en la contaminación del agua, basado en la metodología citada, la cual permite un análisis de los vínculos intersectoriales “hacia atrás” y “hacia adelante” de cada subsistema de forma ampliamente desagregada, mejorando su medición a través de índices específicos.

En un trabajo reciente Alcántara y Padilla (2009), se propone una técnica alternativa para la construcción de subsistemas y se aplica al análisis de las emisiones de CO₂ relacionadas con el conjunto de ramas productivas que conforman el sector servicios. Esta técnica permite un análisis detallado de los diferentes componentes o efectos que conforman las relaciones intersectoriales entre las distintas ramas productivas del sector servicios, y entre éstas y el resto de sectores económicos de la estructura productiva. Aunque la metodología propuesta se basa en la desarrollada en el trabajo de Alcántara (1995), ofrece algunos cambios que, en cierto modo, la mejoran desde el punto de vista de los resultados obtenibles. Destaca en este sentido la técnica de particionar la matriz tecnológica y la Inversa de Leontief, así como el vector de demanda final, con el objetivo de separar el conjunto de relaciones correspondientes a las ramas productivas del sector servicios del resto. Esta descomposición, permite una mejora interpretativa de la estructura del modelo y la técnica de los subsistemas, así como de los resultados obtenidos y su análisis desagregado.

2.-Planteamiento metodológico

Como señalábamos al principio de estas páginas, no siempre estamos interesados en el análisis de los impactos contaminantes de todo el sistema económico. Pueden existir sectores productivos con la suficiente entidad

contaminante como para ser analizados por sí mismos. No obstante, nos interesa ver la importancia en cuanto a la emisión de contaminación de una rama productiva o un conjunto de ramas en toda su complejidad. Esto es, atendiendo a sus relaciones con el conjunto del sistema productivo. En el marco del análisis input-output, el estudio de un sector particular sin desvincularlo del resto del sistema es posible realizarlo tratando a dicho sector o grupo de ramas productivas como un subsistema que genera un único output final, el del propio sector.

El de subsistema es un concepto relativamente sencillo, pero con un potencial explicativo relevante como veremos enseguida. Un subsistema nos permite ver la estructura productiva particular de cada una de las n industrias que conforman el sistema económico. Parece evidente, pues, el interés que tendría que despertar un útil de este tipo de cara al análisis de las emisiones contaminantes de una industria concreta. Mostraremos en este apartado como es posible realizar ese tipo de análisis y plantearemos un desarrollo analítico alternativo basado en el desarrollo de la inversa por partes de la matriz de Leontief.

2.1.-El proceso de construcción de subsistemas económicos

Consideremos el producto matricial siguiente, en el que $\hat{}$ expresa diagonalización:

$$(1) \quad (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \hat{\mathbf{y}}$$

En la que $(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}$ no es sino la conocida inversa de Leontief. Este producto determina un conjunto de vectores $\mathbf{x}^{(i)}$ que expresan la cantidad de output que todos los sectores han de realizar para la obtención de la demanda final del sector i -ésimo. Esto es, la producción sectorial verticalmente integrada para cada uno de los sectores. De tal manera que,

$$(2) \quad \sum_i \mathbf{x}^{(i)} = \mathbf{x}$$

reproduce el output total de la economía.

Supongamos que estamos interesados en el análisis de un conjunto S de ramas productivas que conforman nuestro subsistema de tal manera que $i, j \in S$. Y llamemos R al conjunto de ramas productivas que no pertenecen a S . Esto es, si $i, j \notin S \rightarrow i, j \in R$.

Sea ahora $\begin{pmatrix} \mathbf{y}^s \\ 0 \end{pmatrix}$ el vector de demandas finales de las ramas productivas que pertenecen al conjunto S . En el que el conjunto de demandas finales de las ramas productivas que pertenecen al conjunto R son igual a cero.

El modelo de Leontief puede ser ahora expresado en forma particionada como sigue:

$$(3) \quad \begin{pmatrix} \mathbf{A}_{ss} & \mathbf{A}_{sr} \\ \mathbf{A}_{rs} & \mathbf{A}_{rr} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \mathbf{x}_s^s \\ \mathbf{x}_r^s \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \mathbf{y}^s \\ \mathbf{0} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{x}_s^s \\ \mathbf{x}_r^s \end{pmatrix}$$

donde

\mathbf{A}_{ss} : representa los coeficientes técnicos relativos a las ramas pertenecientes al subsistema objeto de análisis. Esto es, las necesidades de inputs procedentes de las ramas constitutivas del subsistema necesarias por unidad de producto de estas mismas ramas.

\mathbf{A}_{sr} : coeficientes técnicos que expresan las necesidades de inputs procedentes de las ramas constitutivas del subsistema necesarias por unidad de producto de las ramas productivas que no pertenecen al subsistema.

\mathbf{A}_{rs} : coeficientes técnicos que expresan las necesidades de inputs procedentes de las ramas productivas no pertenecientes al subsistema necesarias por unidad de producto de las ramas productivas que pertenecen al subsistema.

\mathbf{A}_{ss} : representa los coeficientes técnicos relativos a las ramas no pertenecientes al subsistema objeto de análisis. Esto es, las necesidades de

inputs, procedentes de las ramas que no constituyen el subsistema, por unidad de producto de estas mismas ramas.

El vector $\begin{pmatrix} \mathbf{x}_s^s \\ \mathbf{x}_r^s \end{pmatrix}$ expresa las producciones sectoriales tanto de las ramas pertenecientes al subsistema como del resto necesarias para la obtención de la producción neta de este.

Si expresamos la inversa de Leontief en forma particionada:

$$(4) \quad \begin{pmatrix} \mathbf{B}_{ss} & \mathbf{B}_{sr} \\ \mathbf{B}_{rs} & \mathbf{B}_{rr} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \mathbf{y}^s \\ \mathbf{0} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{x}_s^s \\ \mathbf{x}_r^s \end{pmatrix}$$

Podemos escribir:

$$(5) \quad \left[\begin{pmatrix} \mathbf{B}_{ss} & \mathbf{B}_{sr} \\ \mathbf{B}_{rs} & \mathbf{B}_{rr} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \mathbf{I} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{I} \end{pmatrix} \right] \times \begin{pmatrix} \mathbf{y}^s \\ \mathbf{0} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \mathbf{y}^s \\ \mathbf{0} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{x}_s^s \\ \mathbf{x}_r^s \end{pmatrix}$$

De tal manera que la solución al sistema (3) dada en (5) podría ser reescrita como sigue:

$$(6) \quad \begin{aligned} (\mathbf{B}_{ss} - \mathbf{I})\mathbf{y}^s + \mathbf{y}^s &= \mathbf{x}_s^s \\ \mathbf{B}_{rs}\mathbf{y}^s &= \mathbf{x}_r^s \end{aligned}$$

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

- 1) La producción final de las ramas del subsistema que viene dada por el vector \mathbf{y}^s

- 2) La producción de las ramas del propio subsistema necesarias para satisfacer la demanda final del mismo y que vendría dada por la expresión $(\mathbf{B}_{ss} - \mathbf{I})\mathbf{y}^s$
- 3) La producción que el resto de ramas productivas no pertenecientes al subsistema tendrían que realizar para atender las necesidades del subsistema analizado como muestra la expresión $\mathbf{B}_{rs}\mathbf{y}^s$

Como veremos a continuación, aún podemos perfilar una descomposición más amplia de la producción, aunque lo haremos vinculando la misma a la emisión de contaminantes atmosféricos. El lector notará que la técnica analítica desarrollada es generalizable al estudio de cualquier variable inequívocamente relacionada con los niveles productivos de la economía.

2.2.-Construcción de subsistemas generadores de contaminación

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

Sea \mathbf{e} un vector de emisiones contaminantes de un tipo cualquiera, directamente generadas por las distintas ramas productivas del sistema de producción. Podemos obtener entonces un vector de emisiones unitarias sin más que computar la siguiente expresión:

$$(7) \quad \mathbf{c} = \hat{\mathbf{x}}^{-1}\mathbf{e}$$

En la que \mathbf{x} es el vector de producciones totales sectoriales expresado como matriz diagonal. Por tanto, el elemento característico c_i del vector \mathbf{c} expresa la

cantidad de contaminación, en nuestro caso metano (CH₄), por unidad producida por el sector *i*.

Si en la expresión (7), distinguimos entre las emisiones generadas en el proceso de producción del subsistema objeto de análisis y el resto de ramas productivas, podemos escribir:

$$(8) \quad \begin{pmatrix} \mathbf{e}^s \\ \mathbf{e}^r \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{c}^s & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{c}^r \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \mathbf{x}_r^s \\ \mathbf{x}_r^s \end{pmatrix}$$

Y teniendo en cuenta la (6), tendríamos:

$$(9) \quad \begin{aligned} \mathbf{c}^{s'} (\mathbf{B}_{ss} - \mathbf{I}) \mathbf{y}^s + \mathbf{c}^{s'} \mathbf{y}^s &= \mathbf{c}^{s'} \mathbf{x}_s^s \\ \mathbf{c}^{r'} \mathbf{B}_{rs} \mathbf{y}^s &= \mathbf{c}^{r'} \mathbf{x}_r^s \end{aligned}$$

Nótese que cada elemento de la expresión (9) es ahora un escalar. Si sumamos las dos igualdades tendríamos:

$$(10) \quad \mathbf{c}^{s'} (\mathbf{B}_{ss} - \mathbf{I}) \mathbf{y}^s + \mathbf{c}^{r'} \mathbf{B}_{rs} \mathbf{y}^s + \mathbf{c}^{s'} \mathbf{y}^s = \mathbf{c}^{s'} \mathbf{x}_s^s + \mathbf{c}^{r'} \mathbf{x}_r^s = \mathbf{c}' \mathbf{x}^s$$

Como vemos, la contaminación total generada, de forma directa e indirecta, por el subsistema queda descompuesta en tres elementos vinculados a la descomposición de la producción a los que nos referíamos al comentar la (6).

Aunque esta descomposición no deja de ser interesante, conviene notar que el primer sumando a la izquierda esconde información relevante que la expresión no pone de manifiesto. En efecto, esta expresión muestra la emisión total generada por las distintas ramas pertenecientes al subsistema con el fin de hacer posible los inputs del propio subsistema que se utilizan en la obtención de su demanda final. Sin embargo, este total tiene, al menos, dos componentes, 1) los inputs del propio subsistema que son incorporados en la

demanda final y 2) aquellos que han sido utilizados por el resto de ramas en la producción de inputs para el subsistema. La determinación de estos dos elementos es fácil si tenemos en cuenta la inversión por partes de una matriz, como vamos a ver.

Del cómputo de la inversión por partes de una matriz cuadrada, se deduce:

$$(11) \quad \mathbf{B}_{ss} = (\mathbf{I} - \mathbf{A}_{ss})^{-1} (\mathbf{I} + \mathbf{A}_{sr} \mathbf{B}_{rs})$$

Por tanto, después de pequeñas manipulaciones, el sistema de ecuaciones (9) podemos volver a escribirlo como sigue:

$$(12) \quad \begin{aligned} \mathbf{c}^{s'} [(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{ss}) - \mathbf{I}] \mathbf{y}^s + \mathbf{c}^{s'} (\mathbf{I} - \mathbf{A}_{ss}) \mathbf{A}_{sr} \mathbf{B}_{rs} \mathbf{y}^s + \mathbf{c}^{s'} \mathbf{y}^s &= \mathbf{c}^{s'} \mathbf{x}_s^s \\ \mathbf{c}^{r'} \mathbf{B}_{rs} \mathbf{y}^s &= \mathbf{c}^{r'} \mathbf{x}_r^s \end{aligned}$$

El primer sumando a la izquierda de la primera ecuación no es sino la emisión total debida a la naturaleza productiva del propio subsistema. Podemos llamar a las emisiones relativas a este elemento propio, **efecto propio**. El segundo sumando, a la izquierda, recoge las emisiones a las que se ve inducido el propio subsistema por sus necesidades de inputs de otros sectores. Podemos llamar a esta cantidad, **efecto feed-back**. El tercer sumando es la emisión directamente relacionada con la demanda final del subsistema y dependerá de la escala de la demanda. Podemos llamar a este sumando, **efecto escala o efecto demanda final**.

Por último, la segunda ecuación recoge el volumen de emisión generado por el resto de sectores en la producción de los inputs que han sido vendidos al subsistema objeto de análisis. Podemos llamar a este montante **efecto spill-over**. Nótese que este efecto es un *backward linkage* puro.

Hemos presentado hasta aquí los efectos explicativos de la generación de emisiones como magnitudes totales, como es obvio, si atendemos a las

expresiones que los representan. No obstante, podemos determinar la parte correspondiente a cada una de las ramas productivas que constituyen el subsistema.

Veamos, ahora, cual es la responsabilidad particular de cada una de las ramas productivas en los totales. Nos basta con expresar \mathbf{y}^s como una matriz diagonal, para obtener los vectores fila que muestran los distintos efectos debidamente sectorializados.

Efecto escala

$$(13) \quad \mathbf{c}^{s'} \hat{\mathbf{y}}^s$$

Efecto propio

$$(14) \quad \mathbf{c}^{s'} [(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{ss}) - \mathbf{I}] \hat{\mathbf{y}}^s$$

Efecto feed-back

$$(15) \quad \mathbf{c}^{s'} (\mathbf{I} - \mathbf{A}_{ss}) \mathbf{A}_{sr} \mathbf{B}_{rs} \hat{\mathbf{y}}^s$$

Efecto spill-over

$$(16) \quad \mathbf{c}^{r'} \mathbf{B}_{rs} \hat{\mathbf{y}}^s$$

Los resultados obtenidos tras la computación de las expresiones (13) a (16) para Cataluña, referidas a las emisiones de CH₄ y para el subsistema agroalimentario, se comentan en el apartado siguiente.

3.- Aplicación y resultados

Atendiendo a la información que proporciona el IDESCAT correspondientes a las Tablas Input-Output para el año 2001 (TIOC-2001) y a las emisiones atmosféricas correspondientes a Cataluña, la emisión total de CH₄ en el año 2001 ascendió a 289.906,8 toneladas, las distribuciones sectoriales de las cuales se presentan en la tabla 1³. Para la elaboración de la contabilidad de emisiones atmosféricas requeridas por el trabajo, de acuerdo con el sistema NAMEA⁴ (*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, y ésta ha sido la utilizada para este trabajo. 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, por lo tanto, consiste en asignar a cada uno de los 23 sectores de nuestra TIOC agregada, 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 España. En lo que sigue, nuestros comentarios están referidos a las 289.906,8 toneladas de CH₄ generadas por los distintos sectores productivos.

Con el objetivo de establecer una visión general de la situación de los distintos sectores económicos en cuanto a las emisiones de metano, hemos elaborado la tabla 1.

³ La emisión sectorial directa se ha obtenido en el desarrollo del convenio 9703/proyecto 180570: "Elaboració de la comptabilitat satèl.lit del medi ambient a Catalunya, la corresponent a l'aire", dirigido por Vicent Alcántara (UAB). Financiado por Generalitat de Catalunya. Departament de medi Ambient i Habitatge.

⁴ Sistema 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).

Tabla 1.- Emisiones directas y totales (directas e indirectas) de CH₄ generadas por el total de sectores (en t)				
RAMAS PRODUCTIVAS	emisión directa de CH₄	% emisión directa economía	Emisión total CH₄	% emisión total economía
Agricultura, ganadería, caza, selvicultura	158784,4	54,8%	46801,4	16,1%
Pesca	3,5	0,0%	41,4	0,0%
Coquerías, refino e industrias extractivas	3182,7	1,1%	1931,1	0,7%
Industrias alimenticias, bebidas y tabaco	60,4	0,0%	85634,9	29,5%
Industria textil, peletería y cuero	33,3	0,0%	1410,2	0,5%
Industria de la madera y corcho	8,4	0,0%	1323,3	0,5%
Industria del papel , Edición y artes gráficas	40,6	0,0%	801,5	0,3%
Industria química	1429,7	0,5%	3707,3	1,3%
Industria del caucho y plástico	16,3	0,0%	558,3	0,2%
Fabricación de otros productos minerales no metálicos	211,2	0,1%	747,3	0,3%
Metalurgia y productos metálicos	38,4	0,0%	655,0	0,2%
Maquinaria y equipo mecánico	9,5	0,0%	426,4	0,1%
Equipo eléctrico, electrónico y precisión	10,6	0,0%	531,0	0,2%
Industria de vehículos de transporte	17,6	0,0%	894,1	0,3%
Industrias manufactureras diversas	10,8	0,0%	655,9	0,2%
Producción y distribución de energía (incluido agua)	24967,4	8,6%	13672,6	4,7%
Construcción	4,6	0,0%	2401,4	0,8%
Vehículos y reparación	30,5	0,0%	3123,5	1,1%
Hostelería	12,3	0,0%	20908,2	7,2%
Transportes y comunicaciones	1033,9	0,4%	2021,1	0,7%
Intermediación financiera	3,5	0,0%	285,7	0,1%
Inmobiliarias y servicios empresariales	25,1	0,0%	1292,1	0,4%
Actividades sociales y otros servicios	99972,1	34,5%	100083,0	34,5%
TOTAL SECTORES	289906,8	100,0%	289906,8	100,0%
<i>Fuente: Elaboración propia a partir de datos IDESCAT y CORINAIR</i>				

La emisión total, directa e indirecta, generada para satisfacer la demanda final de los sectores de la Agricultura, ganadería, caza, selvicultura y las Industrias alimenticias, bebidas y tabaco, supuso el 45,6% de la emisión generada por el total de las ramas productivas. En este sentido, vemos la importancia de estas actividades en la emisión de este importante Gas de Efecto Invernadero y por lo tanto el interés que suscita el análisis de éstas en forma de un subsistema integrado. Asimismo las relaciones intersectoriales entre estas dos ramas productivas son muy importantes para ambas, de manera que gran parte de las ventas totales de output de este sector primario tienen como destino la industria agroalimentaria, y lo mismo ocurre en el sentido inverso, es decir, gran parte del consumo de inputs intermedios realizados por la industria alimenticia son producidos por la rama productiva de Agricultura, ganadería, caza y silvicultura (ver TIOC-2001)⁵.

⁵ Un ejemplo que evidencia este hecho es el llamado modelo de ganadero industrial de Cataluña, rasgo más distintivo de la industrialización del sector primario en la economía catalana.

No obstante, estos sectores tienen características diferentes en cuanto a su peso total y las interrelaciones con el resto de sectores de la economía. Respecto al primero, vemos como su emisión directa supone más de la mitad – el 54,8%- del total generado en la economía. Si comparamos este porcentaje con el 16,1% de la emisión total tras la integración vertical, vemos como esto muestra el hecho de que las ramas productivas de las actividades agrícolas y ganaderas producen en buena parte para el resto de ramas productivas, que necesitan de sus outputs y, por tanto, llevan a que este sector emita CH₄ para satisfacer estas demandas.

En cambio el sector de las Industrias alimenticias, bebidas y tabaco destaca por el sentido inverso de sus interrelaciones con el resto de ramas productivas respecto al que se ha comentado en el párrafo anterior. Si comparamos el peso de su emisión total, directa más indirecta, –29,5%– con la emisión generada de forma directa –el 0,02%– prácticamente nula, vemos que los efectos de arrastre (*backward linkage*) en la emisión de metano por parte de este sector son muy importantes, tanto que componen la totalidad de la responsabilidad de esta actividad en la economía en cuanto a las emisiones de CH₄.

Cabe destacar otro sector que también es importante desde la óptica del poder de arrastre sobre las otras ramas productivas como es el sector de la hostelería. En lo correspondiente a la emisión de CH₄ este sector presenta fuertes vínculos de carácter *backward linkage* con los sectores de la Agricultura, ganadería, caza, selvicultura y las Industrias alimenticias, lo que queda plasmado en el peso sobre el total de la economía de su emisión, directa más indirecta, –el 7,2%- tras la integración vertical, teniendo una importancia irrelevante en cuanto a su emisión directa.

También es necesario destacar la importancia que la rama productiva de Actividades sociales y otros servicios tiene sobre la emisión de metano total generada en la economía, principalmente causado por la actividad de saneamiento público, llegando a representar el 34,% de la emisión total, directa más indirecta.

Por último, un sector importante por el peso en el total de su emisión directa es el de la Producción y distribución de energía (incluida agua), representando un 8,6%. 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, pasando a representar su emisión total, directa más indirecta, tan sólo el 4,7% del total de las ramas productivas.

En el siguiente apartado empleamos la metodología desarrollada en la sección previa para analizar la importancia de los diferentes factores allí descritos en la evolución de las emisiones causadas por las diferentes ramas productivas del subsistema agregado correspondientes a la integración de las dos ramas productivas mencionados: Agricultura, ganadería, caza, selvicultura y las Industrias alimenticias, bebidas y tabaco. A este subsistema lo denominaremos agroalimentario. Es necesario, pues, hacer un análisis detallado sobre el comportamiento de las dos ramas que componen el subsistema construido para poder llegar a conclusiones sobre su impacto sobre las emisiones, las causas de estos impactos y, por tanto, obtener información que nos permita ayudar a orientar las políticas energéticas y climáticas en el futuro.

3.1.- Análisis del subsistema agroalimentario agregado

En la tabla 2 se muestra el resultado conjunto de los diferentes efectos sobre el subsistema considerado y desagregados por las ramas productivas que componen dicho subsistema agregado. Así la emisión total se descompone en cuatro efectos relacionados con el funcionamiento interno del sector en relación a sus vínculos intersectoriales en la economía. Por un lado encontramos el **efecto propio**, el cual recordemos depende de la demanda de outputs de estos dos sectores por parte de cada rama productiva de ellos mismos para satisfacer su demanda final, éste representa el 66,1% de la emisión total correspondiente al subsistema agroalimentario.

Por otro lado encontramos el denominado **efecto escala**, el cual depende de forma exclusiva del volumen total de la demanda del subsistema en cuestión y su importancia es de un 32,8% de la emisiones totales generadas por el subsistema.

El efecto que hemos denominado como **spillover**, no deja de ser el resultado de los conocidos *backward linkages* de las ramas que forman este subsistema respecto al resto de sectores, es decir, los efectos de arrastre de estas ramas. Este efecto apenas llega a representar un 1% de las emisiones totales del subsistema agroalimentario. De igual forma sucede con el efecto **feedback**, el cual depende de la relación de las dos ramas consideradas con el resto de la economía, proveyendo inputs para que el resto de sectores produzcan los inputs demandados por las dos ramas que forman el subsistema para la elaboración de su demanda final. Éste efecto aún es menor que el último, representando el 0,2% de la emisión total del subsistema.

Entre estos dos últimos efectos apenas llegan a representar el 0,6% de las emisiones totales generadas en la economía. Un porcentaje insignificante que no explica en absoluto la importancia del subsistema agroalimentario en las emisiones totales de CH₄ de la actividad económica de Cataluña. Es decir, este dato nos indica que no se puede explicar las emisiones correspondientes a dicho subsistema a través de los eslabonamientos hacia atrás o, en otras palabras, de acuerdo con su potencial de arrastre de otros sectores fuera del subsistema.

Tabla 2.- Emisiones directas y totales (directas e indirectas) de CH ₄ generadas por el total de sectores (en t)							
EFFECTOS	Rama agricultura y ganadería (1)	% sobre total rama1	Rama industria alimenticia (2)	% sobre total rama 2	Efecto total subsistema Agroalim. (3)	% sobre total subs. Agroalim.	% sobre total economía
Efecto Propio	3313,3	2,5%	84209,6	63,6%	87522,8	66,1%	30,2%
Efecto Feedback	9,3	0,0%	191,6	0,1%	200,9	0,2%	0,1%
Efecto Spillover	135,1	0,1%	1189,3	0,9%	1324,4	1,0%	0,5%
Efecto Escala (volumen demanda)	43343,6	32,7%	44,6	0,0%	43388,2	32,8%	15,0%
Emisión total CH ₄ (dir+ind)	46801,4		85635,0		132436,3		45,7%
% emisión sobre subsistema agregado		35,3%		64,7%		100%	
Fuente: Elaboración propia a partir de datos IDESCAT y CORINAIR							

Como podemos ver en la tabla 2, la explicación del importante peso de este subsistema en el total de las emisiones productivas la encontramos en dos de los tres efectos que consideramos como propios del sector, el **efecto escala**- con un 15% de las emisiones totales- y sobre todo, el **efecto propio**- con un 30,2%- (el tercero sería el efecto feedback que no es relevante). Es un resultado realmente interesante y plausible con las características del subsistema analizado, que puede hacernos una idea del tipo de políticas aplicables con el objetivos de reducir las emisiones de metano en la economía, las cuales no deben basarse en políticas de demanda sino de oferta, como nos indica la distribución de las emisiones entre los distintos efectos analizados.

Dentro del efecto escala destaca por su exclusividad la rama de la Agricultura, ganadería, caza, selvicultura, con un 32,7% sobre el total de las emisiones del subsistema agroalimentario. Esto no es extraño, puesto que por un lado ya hemos comentado el nulo efecto *backward linkage* de esta rama sobre el resto de los sectores de la economía (inclusive la industria alimenticia), y por otro lado debe señalarse la importancia de la demanda final en el consumo directo de los outputs finales de esta rama productiva, ésta supone el 25% aproximadamente. Es decir, el único efecto asignable a la responsabilidad del subsistema agroalimentario en las emisiones totales a través de esta rama es el producido por el volumen de la demanda final de su output.

En el caso del efecto propio, el más relevante como factor explicativo de la importancia de este sector en el total de emisiones de metano, destaca principalmente la rama productiva correspondiente a las Industrias alimenticias, bebidas y tabaco. Este efecto en este sector supone el 66,1% de la totalidad de emisiones del subsistema agroalimentario. La explicación de este aspecto la encontramos en lo comentado anteriormente, en realidad este dato nos esta informando de que la mayoría de la emisión total, directa e indirecta, correspondiente al subsistema agroalimentario se genera en su interior, de acuerdo con las relaciones intersectoriales de las ramas productivas que lo forman.

Así el peso de las emisiones totales de CH₄, directas e indirectas, generadas por el subsistema agroalimentario sobre las emisiones totales productivas es del 45,7%, un porcentaje menor al que representa la suma de

las emisiones generadas directamente por las ramas productivas que forma el subsistema, un 54,8%, correspondiente exclusivamente al sector de la Agricultura, ganadería, caza, selvicultura. Con lo que vemos el carácter del subsistema agregado en relación con los otros sectores económicos, siendo arrastrado en parte por la demanda final de éstos, aunque gran parte de las emisiones directas de las ramas productivas que forman el subsistema construido mantienen su posición dentro del subsistema agregado. Es decir, la responsabilidad de la mayoría de dichas emisiones siguen correspondiendo a la actividad agroalimentaria, la cual engloba, como ya hemos comentado, las dos ramas mencionadas.

4.- Conclusiones

El análisis de subsistemas input-output se presenta como una herramienta verdaderamente útil en el estudio de la estructura productiva de cada sector de acuerdo con las relaciones intersectoriales con el resto de ramas productivas que componen la economía. Mediante esta técnica hemos analizado los sectores de la Agricultura, ganadería, caza, selvicultura y las Industrias alimenticias, bebidas y tabaco de la economía catalana, en relación a las emisiones de CH₄ cuya responsabilidad corresponde a estas actividades analizadas como un subsistema integrado. La aplicación de la metodología presentada nos permite la descomposición del subsistema en distintos efectos en función de los vínculos intersectoriales existentes con el resto de los sectores económicos, dentro y fuera del subsistema considerado.

En este sentido presentamos un planteamiento alternativo, o al menos complementario al realizado en Alcántara y Padilla (2008), basado en el análisis metodológico teniendo en cuenta la inversión por partes de las matrices tecnológicas que facilita considerablemente la interpretación de la metodología y su aplicación en cuanto a los resultados obtenidos.

Del análisis realizado destaca en primer lugar el importante peso que tiene el subsistema agroalimentario construido, siendo la principal actividad en términos de las emisiones totales, directas e indirectas, generadas por el conjunto de las ramas productivas. La estimación realizada nos indica que las emisiones totales de CH₄, directas e indirectas, por el subsistema considerado ascienden a 132.436,3 toneladas, un 45,7% del total generado por la economía catalana.

En segundo lugar cabe señalar la necesidad considerar los distintos comportamientos que presentan las dos ramas productivas que forman el subsistema construido, los cuales tienen un carácter opuesto en relación a los efectos estimados. Respecto a la Agricultura, ganadería, caza, selvicultura vemos como el efecto de escala o correspondiente al volumen de su demanda final, representa prácticamente la totalidad de la asignación a esta actividad de las emisiones totales generadas por el subsistema, representando sobre éstas últimas un 32,7%.

Por otro lado, en las Industrias alimenticias, bebidas y tabaco destaca el efecto propio con un 63,3% de la emisión total, directa más indirecta, generada por el subsistema. Este efecto se relaciona directamente con el elevado poder de arrastre que esta actividad tiene sobre la Agricultura, ganadería, caza, selvicultura, que al estar incluido dentro de este subsistema construido no se presenta como un efecto *spillover*, sino como un efecto propio. En realidad, tanto el efecto *spillover* como el efecto *feedback* tienen nula importancia dentro del subsistema en cuestión, lo que junto con lo analizado anteriormente nos indica que prácticamente todas las emisiones totales, directas más indirectas, generadas por el subsistema agro alimenticio se generan directamente en su interior por la rama productiva de la Agricultura, ganadería, caza, selvicultura.

En cualquier caso los resultados obtenidos orientan la implementación de políticas ambientales de oferta, dirigidas directamente sobre la estructura productiva que lleva la actividad correspondiente a este subsistema. Dentro del cual, de forma desagregada en las actividades que lo componen, puede distinguirse un posible enfoque de política ambiental de demanda para la rama productiva de las Industrias alimenticias, bebidas y tabaco, con un alto poder de arrastre de la otra rama productiva que forma el subsistema, Agricultura,

ganadería, caza, selvicultura. No obstante, considerando el subsistema como una actividad agregada, no tendría efecto alguno la aplicación de una política ambiental de demanda.

Agradecimientos

Agradecemos al Programa FPU del Ministerio de Educación y Ciencia por la financiación del proyecto.

Referencias

Alcántara V. y Padilla E. (2009) 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

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. (2003). Propuesta de cuentas ambientales para Cataluña, Institut d'Estadística de Catalunya (Idescat), en Taules input - output de Catalunya 2001. Extensions del marc central de la comptabilitat nacional.
<http://www.idescat.net/cat/idescat/formaciorecerca/formacio/CS%20Medi%20Ambient.pdf>

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.

CE (2003) Directiva 2003/87/CE del Parlamento europeo y del Consejo de 12 de octubre de 2003 por la que se establece un régimen para el comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero en la Comunidad y por la que se modifica la Directiva 96/61/CE del Consejo.

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

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

Pasinetti, L. (1977). *Contributi alla teoria della produzione congiunta*, Bologna, Società Editrice il Mulino

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

Ricaldi, T. (1999): *La economía ecológica: una nueva mirada a la ecología humana*. Ed. CESU (UMSS)- UNESCO

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.

Últims documents de treball publicats

NUM	TÍTOL	AUTOR	DATA
09.01	Sobre los subsistemas input-output en el análisis de emisiones contaminantes. Una aplicación a las emisiones de CH4 en Cataluña	Francisco M. Navarro Gálvez Vicent Alcántara	Març 2009
08.10	The monetary policy rules in EU-15: before and after the euro	Borek Vasicek	Desembre 2008
08.09	Agglomeration and inequality across space: What can we learn from the European experience?	Rosella Nicolini	Desembre 2008
08.08	Labor Supply Response to International Migration and Remittances in the Republic of Haiti	Evans Jadotte	Setembre 2008
08.07	Industrial districts, innovation and I-district effect: territory or industrial specialization?	Rafael Boix	Juny 2008
08.06	Why Catalonia will see its energy metabolism increase in the near future: an application of MuSIASEM	J. Ramos-Martin, S. Cañellas-Bolta	Juny 2008
08.05	Do creative industries cluster? Mapping Creative Local Production Systems in Italy and Spain	Luciana Lazzeretti, Rafael Boix, Francesco Capone	Març 2008
08.04	Los distritos industriales en la Europa Mediterránea: los mapas de Italia y España	Rafael Boix	Febrer 2008
08.03	Different trajectories of exosomatic energy metabolism for Brazil, Chile and Venezuela: using the MSIASM approach	Jesus Ramos-Martin, Nina Eisenmenger, Heinz Schandl	Gener 2008
08.02	An application of MSIASM to Chinese exosomatic energy metabolism	Mario Giampietro, Kozo Mayumi, Jesus Ramos-Martin	Gener 2008
08.01	Multi-Scale Integrated Analysis of Societal and Ecosystem Metabolism (MUSIASEM): An Outline of Rationale and Theory	Mario Giampietro, Kozo Mayumi, Jesus Ramos-Martin	Gener 2008
07.10	Actividad económica y emisiones de CO2 derivadas del consumo de energía en Cataluña, 1990-2005. Análisis mediante el uso de los balances energéticos desde una	Vicent Alcántara Escolano, Emilio Padilla Rosa,	Novembre 2007
07.09	Actividad económica, consumo final de energía y requerimientos de energía primaria en Cataluña, 1990-2005. Análisis mediante el uso de los balances	Jordi Roca Jusmet, Vicent Alcántara Escolano,	Novembre 2007
07.08	SUBSISTEMAS INPUT-OUTPUT Y CONTAMINACIÓN: UNA APLICACIÓN AL SECTOR SERVICIOS Y LAS EMISIONES DE CO2 EN ESPAÑA	Vicent Alcántara Escolano, Emilio Padilla Rosa	Novembre 2007
07.07	Effects of Competition over Quality-Adjusted Price Indexes: An Application to the Spanish Automobile Market	Ana Isabel Guerra Hernández	Octubre 2007