



Las emisiones de metano (CH₄) en el subsistema agroalimentario catalán: un análisis input-output alternativo

Francisco Navarro^a y Vicent Alcántara^b

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 interrelaciones productivas 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 CLAVE: Input-output, subsistemas, integración vertical, emisiones de CH₄.

Clasificación JEL: D57, Q53, C67.

Emissions of methane (CH₄) in the Catalan agro-food subsystem: an alternative input-output analysis

SUMMARY: In this paper we carry out a research of the CH₄ emissions related to the Catalan agro-food sector through an alternative or at least complementary, input-output subsystems analysis, which is a useful tool to study the productive structure of the different sectors that make up an economy. The application of this technique allows the decomposition of the subsystem in different effects depending on the existing interindustry linkages with all the production sectors of the economy inside as well outside the subsystem. Results highlights the relevance of intrasectorial relations within the agro-food industry subsystem, which shows a significant autonomy respect to this type of emissions with regard to the rest of the economy. This feature guides the sort of environmental policies to be implemented in order to reduce the atmospheric impact of such activity.

KEYWORDS: Input-output, subsystems, vertical integration, CH₄ emissions.

JEL classification: D57, Q53, C67.

^a Departamento de Economía Aplicada. Universidad Autónoma de Barcelona.

^b Departamento de Economía Aplicada. Universidad Autónoma de Barcelona.

Agradecimientos: Los autores agradecen el apoyo de los proyectos ECO2009-10003 (Ministerio de Ciencia e Innovación), 2009SGR-600 y XREPP (DGR). Así como a los evaluadores de la revista anónimos sus amplios comentarios que creemos han contribuido a una mejora del trabajo original.

Dirigir correspondencia a: Francisco Navarro. E-mail: Francisco.Navarro@uab.cat

Recibido en abril de 2009. Aceptado en abril de 2010.





1. Introducción

El metano (CH_4), es un contaminante atmosférico con gran potencial de efecto invernadero¹. El trabajo trata de analizar las emisiones de este gas realizadas por las ramas productivas agroalimentarias en Cataluña. Con el fin de calibrar la importancia de estas emisiones en Cataluña, conviene considerar que las emisiones de CH_4 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 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 este estudio. 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 supone el 29,5 % del total y la Agricultura y ganadería el 16,1 %, lo que supone que el 45,7 % de las emisiones de metano en Cataluña correspondan al subsistema productivo formado por estas dos ramas de producción. Parece razonable, pues, analizar con cierto rigor metodológico el papel que estos dos sectores juegan, desde la perspectiva de las emisiones de metano, en el conjunto de la economía catalana. Así mismo, mostraremos los factores más relevantes que explican dichas emisiones. Como veremos, los resultados de nuestro análisis proporcionan información relevante para el diseño futuro de políticas ambientales en relación con estas emisiones. Nos ocupamos de ello aplicando el concepto de subsistema input-output, que detallamos más adelante.

En ciertos casos, existen sectores productivos con suficiente entidad contaminante como para ser analizados de forma individual dentro de todo el sistema económico. Tal es el caso del presente trabajo, en el cual interesa mostrar la relevancia de las ramas productivas agroalimentarias en toda su complejidad, sin descuidar sus relaciones con el conjunto del sistema productivo. En este caso, la técnica que 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 instrumento 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 puede encontrarse 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 instrumento de

¹ En realidad, su *potencial de calentamiento de la tierra* es de 21 unidades de CO_2 equivalente por unidad de CH_4 . (Fuente: Metodología sobre las cuentas satélite de emisiones atmosféricas. INE).

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 (ver Alcántara, 1995 para una revisión de los trabajos más destacables).



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 de este instrumento queda ilustrada en el uso que se realiza en ese trabajo, analizando el enfoque de los sectores clave (veáse 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 económica-ambiental no pueden ser ajenas a las múltiples relaciones intersectoriales que vinculan a cualquier industria con el resto del sistema productivo. Por otro lado, la técnica relaja gran parte de las limitaciones que presentaba el enfoque convencional de los sectores clave, y aumenta el potencial explicativo de la clasificación basada en esta propuesta metodológica. La principal ventaja en este sentido es que, dado el nivel de desagregación que la metodología proporciona, en cuanto a los vínculos intersectoriales y a sus ligazones “hacia atrás” y “hacia adelante” con otros sectores, permite desglosar del potencial contaminante de un subsistema aquellos aspectos que no deberían atenderse 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). Se trata de una aplicación de la metodología desarrollada en Pasinetti (1977) a la contaminación del agua por la actividad económica en la región de Aragón, donde 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.

Desde una perspectiva parecida, en un trabajo reciente de 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, proporciona una mejora interpretativa de la estructura del modelo y la técnica de los subsistemas, así como de los resultados obtenidos y su análisis desagregado.

En este sentido el presente trabajo aumenta el potencial interpretativo de esta metodología, dando un paso más en la descomposición matricial del modelo y por lo tanto en las ecuaciones resultantes, lo que permite un análisis más detallado de los

efectos que se producen dentro del subsistema generado entre las diferentes ramas productivas que lo componen, y entre éstas y el resto de la economía. Esto posibilita identificar la responsabilidad sobre cada tipología de relación intersectorial de cada una de los sectores productivos que conforman el subsistema.

El artículo se estructura de la siguiente forma. En el siguiente apartado 2 se desarrolla el planteamiento metodológico, en el que por una parte se muestra el proceso de construcción de subsistemas a partir del conocido modelo de Leontief y, por otra, la conversión de los mismos en generadores de contaminación. En el tercer apartado, se desarrolla la aplicación de la metodología al caso de Cataluña y se muestran los resultados más relevantes obtenidos. Por último, el trabajo se cierra con un apartado de conclusiones.

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 (véase Miller y Blair, 1985).

El concepto de subsistema es relativamente sencillo, pero con un potencial explicativo relevante como se mostrará 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. En el siguiente apartado se expone el proceso de construcción de un subsistema a partir del conocido modelo de Leontief. Se mostrará también como, partiendo del desarrollo de la inversa por partes de una matriz, es posible obtener información relevante sobre el comportamiento particular de una rama productiva, o un conjunto de ellas, dentro del marco de la economía en su conjunto.

2.1. El proceso de construcción de subsistemas económicos

Es bien sabido que con la información que proporcionan las tablas input-output de una determinada economía, podemos expresar su sistema productivo como sigue:

$$\mathbf{x} = \mathbf{Ax} + \mathbf{y} \quad [1]$$

expresión en la que \mathbf{x} es un vector columna ($n \times 1$) en el que su elemento característico x_i expresa la producción u output total del sector i ($i, j = 1, 2, \dots, i, \dots, j \dots n$ sectores



productivos); \mathbf{y} es un vector columna ($n \times 1$) que expresa la demanda final de cada uno de los sectores que componen la economía, de tal manera que y_i no es sino la demanda final del sector i ; y \mathbf{A} es una matriz ($n \times n$) de coeficientes técnicos, cuyo elemento característico a_{ij} , expresa la cantidad de producto procedente de la rama productiva i directamente consumido por la rama productiva j por unidad de output producido por esta última. Esto es, si Z_{ij} es el volumen de ventas de la rama productiva i a la j , entonces $a_{ij} = Z_{ij} / x_j$ y por tanto, $Z_{ij} = a_{ij} x_j$. Como vemos la expresión (1) constituye un sistema de ecuaciones cuya solución es:

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

siendo $(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}$ la conocida inversa de Leontief.

Consideremos el producto matricial siguiente, en el que $\hat{\mathbf{y}}$ expresa la diagonalización de un vector:

$$(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \hat{\mathbf{y}} \quad [3]$$

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

$$\sum_i \mathbf{x}^{(i)} = \mathbf{x} \quad [4]$$

reproduce el vector de outputs totales de la economía.

Supongamos que estamos interesados en el análisis de un subconjunto 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 $\begin{pmatrix} \mathbf{y}^s \\ \mathbf{0} \end{pmatrix}$ el vector de demandas finales de las ramas productivas que pertenecen al conjunto S , en el que, por tanto, el conjunto de demandas finales de las ramas productivas que pertenecen al conjunto R son iguales a cero.

Si tenemos en cuenta lo que hemos dicho sobre las relaciones [3] y [4] es evidente que el modelo de Leontief puede ser ahora expresado en forma particionada como sigue:

$$\begin{pmatrix} \mathbf{A}_{ss} & \mathbf{A}_{sr} \\ \mathbf{A}_{rs} & \mathbf{A}_{rr} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \mathbf{x}_s^s \\ \mathbf{x}_r^s \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \mathbf{y}^s \\ \mathbf{0} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{x}_s^s \\ \mathbf{x}_r^s \end{pmatrix} \quad [5]$$

donde el vector $\begin{pmatrix} \mathbf{x}_s^s \\ \mathbf{x}_r^s \end{pmatrix}$ expresa en forma particionada la producción verticalmente integrada necesaria para la obtención de la demanda final del conjunto de ramas pro-





ductivas que estamos interesados en analizar, las que pertenecen al conjunto S. Nótese que [5] es la expresión formal, desde la perspectiva del análisis input-output, de un subsistema en el sentido de Sraffa. Y lo que es más significativo, éste se muestra en relación con el conjunto de sus interacciones con el resto de la economía. El vector $\begin{pmatrix} \mathbf{x}_s^s \\ \mathbf{x}_r^s \end{pmatrix}$ expresa, pues, las producciones sectoriales tanto de las ramas pertenecientes al subsistema como del resto necesarias para la obtención de la producción neta de éste.

\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.

Si expresamos la inversa de Leontief en forma particionada, la solución del sistema [5] vendría dada por

$$\begin{pmatrix} \mathbf{B}_{ss} & \mathbf{B}_{sr} \\ \mathbf{B}_{rs} & \mathbf{B}_{rr} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \mathbf{y}^s \\ \mathbf{0} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{x}_s^s \\ \mathbf{x}_r^s \end{pmatrix} \quad [6]$$

Con el fin de clarificar las múltiples interrelaciones que se esconden en la expresión [6] dicha expresión se podría escribir como sigue:

$$\left[\begin{pmatrix} \mathbf{B}_{ss} & \mathbf{B}_{sr} \\ \mathbf{B}_{rs} & \mathbf{B}_{rr} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \mathbf{I} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{I} \end{pmatrix} \right] \times \begin{pmatrix} \mathbf{y}^s \\ \mathbf{0} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \mathbf{y}^s \\ \mathbf{0} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{x}_s^s \\ \mathbf{x}_r^s \end{pmatrix} \quad [7]$$

de tal forma que la solución al sistema [5] dada en [6] podría ser reescrita de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} (\mathbf{B}_{ss} - \mathbf{I})\mathbf{y}^s + \mathbf{y}^s &= \mathbf{x}_s^s \\ \mathbf{B}_{rs}\mathbf{y}^s &= \mathbf{x}_r^s \end{aligned} \quad [8]$$

Como vemos, la descomposición en subsistemas permite, cuando menos, separar la producción directa e indirectamente necesaria para obtener la demanda final del mismo en tres elementos explicativos:





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 viene dada por $\mathbf{B}_{rs} - \mathbf{I}_s$; esto es, la producción indirecta que el subsistema induce al resto de sectores productivos de la economía y que incorpora a su producción.

Como se verá a continuación, aún 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. Subsistemas y generación de contaminantes

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{c}' un vector fila de coeficientes directos de emisión, cuyo elemento característico c_i expresa la cantidad de contaminación, en nuestro caso metano (CH_4), por unidad producida por el sector i . Si en \mathbf{c}' distinguimos entre los coeficientes de emisión que corresponden a los sectores pertenecientes al subsistema y el resto, podemos expresar el mismo en forma de matriz por bloques:

$$\begin{pmatrix} \mathbf{c}^{s'} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{c}^{r'} \end{pmatrix} \quad [9]$$

donde $\mathbf{c}^{s'}$ es el vector de coeficientes de emisión pertenecientes al subsistema; y $\mathbf{c}^{r'}$ los coeficientes de emisión correspondientes al resto de sectores.

Premultiplicando la expresión [6] por [9] obtendríamos:

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

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





$$\mathbf{c}' (\mathbf{B}_{ss} - \mathbf{I}) \mathbf{y}^s + \mathbf{c}' \mathbf{B}_{rs} \mathbf{y}^s + \mathbf{c}' \mathbf{y}^s = \mathbf{c}' \mathbf{x}_s^s + \mathbf{c}' \mathbf{x}_r^s = \mathbf{c}' \mathbf{x}^s \quad [11]$$

Como puede observarse, la contaminación total generada por el subsistema, tanto de forma directa en su proceso productivo, como indirecta, incorporada en los inputs productivos utilizados de otros sectores, queda descompuesta en tres elementos vinculados a la descomposición de la producción a los que nos referíamos al comentar la expresión [8].

Aunque la descomposición que se plantea en la expresión [11] no deja de ser interesante, conviene notar que el primer sumando de la parte izquierda esconde información relevante que la expresión no pone de manifiesto. En efecto, esta expresión muestra la emisión total generada por las distintas ramas pertenecientes al subsistema con el fin de hacer posible los inputs del propio subsistema que se utilizan en la obtención de su demanda final. Sin embargo, este total tiene, al menos, dos componentes, 1) los inputs del propio subsistema que son incorporados en la demanda final y 2) aquellos que han sido utilizados por el resto de ramas en la producción de inputs para el subsistema. La determinación de estos dos elementos no es compleja si tenemos en cuenta la inversión por partes de una matriz, como veremos a continuación.

A partir de (6), y teniendo en cuenta la expresión para el cálculo de la inversa por partes de una matriz cuadrada, obtenemos:

$$\mathbf{B}_{ss} = (\mathbf{I} - \mathbf{A}_{ss})^{-1} (\mathbf{I} + \mathbf{A}_{sr} \mathbf{B}_{rs}) \quad [12]$$

y, por tanto, después de pequeñas manipulaciones, el sistema de ecuaciones [11] puede reescribirse como:

$$\begin{aligned} \mathbf{c}' \left[(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{ss}) - \mathbf{I} \right] \mathbf{y}^s + \mathbf{c}' (\mathbf{I} - \mathbf{A}_{ss}) \mathbf{A}_{sr} \mathbf{B}_{rs} \mathbf{y}^s + \mathbf{c}' \mathbf{y}^s &= \mathbf{c}' \mathbf{x}_s^s \\ \mathbf{c}' \mathbf{B}_{rs} \mathbf{y}^s &= \mathbf{c}' \mathbf{x}_r^s \end{aligned} \quad [13]$$

Como vemos, la emisión generada en el proceso productivo de un subsistema puede descomponerse, cuando menos, en cuatro efectos explicativos: 1) propio; 2) trade-off; 3) escala; y 4) spill over, que analizamos a continuación.

Efecto propio

Se corresponde con el primer sumando de la izquierda de la primera ecuación y no es sino la emisión total debida a la naturaleza productiva del propio subsistema. Aunque en la expresión anterior aparece como un escalar, podemos determinar la responsabilidad particular de cada una de las ramas productivas, que componen el subsistema, en la magnitud total de este efecto. Bastaría con expresar \mathbf{y}^s como una matriz diagonal, para obtener el vector fila que muestra la sectorialización del efecto en cuestión. De la misma forma se puede proceder para el resto de efectos.

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





Efecto feed-back

$$c^{s'} (I - A_{ss}) A_{sr} B_{rs} \hat{y}^s \quad [15]$$

Hemos llamado efecto feed-back, al segundo sumando, a la izquierda, que recoge las emisiones a las que se ve inducido el propio subsistema por sus necesidades de inputs de otros sectores.

Efecto escala

$$c^{s'} \hat{y}^s \quad [16]$$

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

Efecto spill-over

$$c^{r'} B_{rs} \hat{y}^s \quad [17]$$

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* (efecto de arrastre) puro.

En el siguiente apartado se analizan los resultados obtenidos a partir del cálculo de las expresiones [14] a [17] para Cataluña, referidas a las emisiones de CH_4 y para el subsistema agroalimentario.

3. Aplicación y resultados

Atendiendo a la información que proporciona el Institut d'Estadística de Catalunya (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 CH_4 en el año 2001 ascendió a 289.906,8 toneladas, las distribuciones sectoriales de las cuales se presentan en el Cuadro 1. Éstas son resultado de un proyecto impulsado por el Departament de Medi Ambient i Habitatge (DMAH) con la colaboración de la Universitat de Barcelona (UB) y el IDESCAT³, para la elaboración de la contabilidad satélite de emisiones atmosféricas de acuerdo con el sistema NAMEA⁴

³ Puede encontrarse el proyecto desarrollado para la contabilidad satélite de las emisiones atmosféricas de Cataluña en: <http://www.idescat.cat/cat/idescat/publicacions/cataleg/pdfdocs/csea2001.pdf>.

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).

(*National accounting matrix including environmental accounts*). Esta metodología utiliza 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 Instituto Nacional de Estadística (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 el Cuadro 1.

CUADRO 1
Emisiones directas y totales (directas e indirectas) de CH₄ generadas por el total de sectores (en t)

<i>Ramas productivas</i>	Emisión directa de CH₄	% Emisión directa economía	Emisión total CH₄	% Emisión total economía
Agricultura, ganadería, caza, silvicultura	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 (incl. 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%

Fuente: Elaboración propia a partir de datos IDESCAT y CORINAIR.



La emisión total, directa e indirecta, generada para satisfacer la demanda final de los sectores de la Agricultura, ganadería, caza, silvicultura y las Industrias alimenticias, bebidas y tabaco, supuso el 45,7% 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 silvicultura⁵.

No obstante, estos sectores tienen características diferentes en cuanto a su peso total y a sus 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 se compara este porcentaje con el 16,1% de la emisión total tras la integración vertical, se observa 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 CH_4 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, se observa que los *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 CH_4 .

Desde la óptica del poder de arrastre sobre las otras ramas productivas merece también la pena destacar al sector de la hostelería. En lo correspondiente a la emisión de CH_4 este sector presenta fuertes vínculos de carácter *backward linkage* con los sectores de la Agricultura, ganadería, caza, silvicultura 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 produc-

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.



tiva 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 mencionadas: Agricultura, ganadería, caza, silvicultura 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 el Cuadro 2 se muestra el resultado conjunto de los diferentes efectos sobre el subsistema considerado y desagregado por las ramas productivas que lo componen. 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 producción de inputs de cada rama del subsistema realizada para sí mismo, 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 cuya importancia alcanza el 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.

La suma de estos dos últimos efectos apenas llegan a representar el 0,6% de las emisiones totales generadas en la economía, lo que nos indica que no se puede explicar las emisiones correspondientes a dicho subsistema de acuerdo a su potencial de arrastre de otros sectores fuera del subsistema.

Como podemos ver en el Cuadro 2, la explicación del importante peso de este subsistema en el total de las emisiones productivas la encontramos en dos de los tres



CUADRO 2

Emisiones directas y totales (directas e indirectas) de CH₄ generadas por el total de sectores (en t)

Efectos	Rama agricultura y ganadería (1)	% sobre total rama 1	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.

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, ya que pone de manifiesto una limitada relación, desde la perspectiva del análisis que nos ocupa, con el resto de sectores productivos, dada la baja magnitud del efecto spillover. La consecuencia inmediata de esta constatación es la necesidad de centrar las políticas encaminadas a la reducción de emisiones en el propio sector, antes que en políticas de demanda más encaminadas a ramas productivas con alto efecto spillover.

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 se ha visto el escaso 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 este sector, que 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 está 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 sólo algo menor al que representa la suma de las emisiones generadas directamente por las ramas productivas que forma el subsistema, donde un 54,8% corresponde exclusivamente al sector de la Agricultura, ganadería, caza, silvicultura, como muestra el Cuadro 1. Como se puede constatar en este mismo Cuadro, los efectos de arrastre de las ramas productivas no pertenecientes al subsistema agroalimentario son prácticamente nulos. Quiere ello decir que una mínima cantidad de la emisión generada por las ramas productivas del subsistema se incorpora a la producción de otras ramas.

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, silvicultura y las Industrias alimenticias, bebidas y tabaco de la economía catalana, como un subsistema integrado, en relación a las emisiones de CH₄ generadas directa e indirectamente por éste. 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 (2009).

Del análisis realizado destaca, en primer lugar, el importante peso que tiene el subsistema agroalimentario construido, puesto que según la estimación realizada las emisiones totales de CH₄, directas e indirectas, generadas por las actividades que componen dicho subsistema ascienden a 132.436,3 toneladas, un 45,7% del total generado por Cataluña.

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, silvicultura 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 y silvicultura, que al haber sido incluido en este trabajo dentro del mismo subsistema no se presenta como un efecto *spillover*, sino como un efecto propio. En realidad, tanto el efecto *spillover* como el efecto *feedback* tienen una importancia nula 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 agroalimentario se generan directamente en su interior por la rama productiva de la Agricultura, ganadería, caza y silvicultura.

Finalmente, los resultados obtenidos reflejan la responsabilidad directa de las actividades que forman el subsistema en cuanto a las emisiones de metano en la economía catalana, lo que debe ser considerado en la implementación de políticas que tengan como objetivo limitar las emisiones de estos gases de efecto invernadero. Si bien en ciertas actividades de servicios deberían considerarse su responsabilidad última como demandantes de inputs con un alto impacto ambiental incorporado, en este caso deben dirigirse directamente a las ramas productivas que forman el subsistema agroalimentario estudiado, puesto que los efectos de arrastre sobre el resto de la economía son prácticamente nulos en cuanto a este tipo de emisiones.

5. Bibliografía

- Alcántara, V. y Padilla, E. (2009). "Input-output subsystems and pollution: An application to the service sector and CO₂ emissions in Spain". *Ecological Economics*, 68(3):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.
- 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>
- Heimler, A. (1991): "Linkages and vertical integration in the Chinese economy". *Review of Economics and Statistics*, 73:261-267.
- Miller, R.E. y 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.
- Rasmussen, P.N. (1956). *Studies in Inter-Sectoral Relations*. Einar harcks and North-Holland Publishing Company. Copenhagen and Amsterdam.
- 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*, 27:433-448.
- Sraffa, P. (1960). *Production of Commodities by Means of Commodities*. Cambridge University Press, Cambridge.

