

# DETERMINACIÓN DEL IMPACTO DE LA ACTIVIDAD ECONÓMICA REGIONAL SOBRE LAS EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN ASTURIAS\*

**Margarita Argüelles Vélez**  
**Carmen Benavides González**

*Universidad de Oviedo*

El cambio climático es una de las principales preocupaciones medioambientales en la actualidad, sobre todo en los países desarrollados, en los que se concentran la mayor parte de las emisiones de gases de efecto invernadero responsables de este cambio. En este trabajo se realiza un estudio de las emisiones de estos gases en Asturias, cuya estructura económica cuenta con una importante presencia de sectores altamente intensivos en emisiones de CO<sub>2</sub>, el principal gas de efecto invernadero. Para ello, en primer lugar, se calcularon las emisiones directas de estos gases en 2000. De este análisis se desprende que los principales emisores en Asturias son la siderurgia y la producción de energía eléctrica. En segundo lugar, se aplicó el análisis input-output para determinar las emisiones directas e indirectas, así como las emisiones directas, indirectas e inducidas de los diferentes sectores productivos.

*Palabras clave:* medio ambiente, gases efecto invernadero, análisis input-output, Protocolo de Kioto, Asturias.

---

(\*) Este trabajo ha sido financiado por el Plan Regional de I+D+i de Asturias 2001-2004 en el capítulo de ayudas para la ejecución de proyectos de investigación concertada. Expediente n° PC-CIS01-21 (resolución de 26 de septiembre de 2002). Agradecemos la colaboración, como investigadoras contratadas, de Beatriz Miranda y Emma Ramos.

## 1. INTRODUCCIÓN

El cambio climático a nivel mundial constituye en la actualidad una de las principales preocupaciones en materia de medio ambiente, sobre todo en los países desarrollados, en los que se concentran mayoritariamente las emisiones de los gases denominados de efecto invernadero, responsables de este cambio. Por este motivo, en 1992 se celebró en Río de Janeiro (Brasil) la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. Su objetivo era estudiar la posibilidad de establecer una legislación internacional sobre el clima. Así, se elaboró y aprobó, en el mismo año, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. El texto de esta Convención era demasiado ambiguo, por lo que la Conferencia de las Partes de la Convención planteó en Berlín, en 1995, la necesidad de desarrollar un nuevo instrumento que permitiera realmente cumplir el objetivo establecido. Se inició entonces un proceso de elaboración de un Protocolo que limitara las emisiones de gases de efecto invernadero. Este Protocolo, adoptado en la tercera sesión de la Conferencia de las Partes celebrada en Kioto en 1997, recoge por primera vez un acuerdo de reducción de las emisiones netas en los países industrializados de estos gases en el quinquenio 2008-2012. Esta reducción debería ser como mínimo de un 5,2 por cien con respecto al nivel de 1990. En febrero de 2005, tras la ratificación de Rusia, el Protocolo de Kioto entró en vigor en 141 países entre los que se encuentran los Estados miembros de la Unión Europea (UE).

El compromiso adquirido por la UE en su conjunto es reducir sus emisiones en un 8 por ciento con respecto al nivel de 1990, de acuerdo con el Anexo B del Protocolo. En el marco de esta reducción total, a España se le permitió un incremento del 15 por ciento con respecto al nivel de dicho año, porcentaje que ya ha sido sobrepasado ampliamente en la actualidad. Para cumplir estos compromisos la UE aprobó la Directiva 2003/87/CE por la que se establece un régimen para el comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero. Con ella se persigue lograr que la UE y sus Estados miembros puedan cumplir el compromiso de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero que asumieron al ratificar el Protocolo de Kioto el 30 de mayo de 2002.

El Gobierno español, a su vez, aprobó en septiembre de 2004 con rango de Real Decreto el primer Plan de Asignación de Derechos de Emisión para el periodo 2005-2007. Este Plan, junto con el Real Decreto Ley que regula el régimen del comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero (aprobado por el Gobierno de forma inmediatamente anterior y por el que se adapta a nuestro ordenamiento jurídico la Directiva Europea 87/2003 sobre este comercio), tiene por objetivo contribuir a la reducción de emisiones que causan el cambio climático.

Por otra parte, el Principado de Asturias aprobó en 2002 una Declaración Institucional por el Desarrollo Sostenible e inició la elaboración de una Estrategia de Desarrollo Sostenible basada en los principios de dicha Declaración. En el punto 3 de esta última se dice: "Las tendencias que amenazan la sostenibilidad, tales como el cambio climático.....deberán ser identificadas y estudiadas, a fin de establecer los mecanismos que las generan y valorar su impacto y evolución en el tiempo" (Gobierno del Principado de Asturias, 2002).

Este es el contexto en el que se ha llevado a cabo el estudio que se presenta en este trabajo, consistente en una cuantificación de las emisiones regionales de los gases responsables del cambio climático en Asturias, cuya estructura económica cuenta con una importante presencia de sectores altamente intensivos en emisiones de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), el principal gas de efecto invernadero.

El análisis realizado parte de la elaboración de una Tabla Input-Output (TIO) medioambiental para Asturias, tomando como base la última TIO convencional publicada para la región, correspondiente al año 2000. El cálculo de los factores de emisión de cada gas de efecto invernadero, así como la determinación de las principales fuentes regionales de contaminación, presentados en el apartado 2 de este trabajo, constituye la base para el cálculo de las emisiones físicas por sectores productivos y consumo final. La determinación de estas emisiones constituye la primera parte del apartado 3. En este punto se llevan a cabo también las estimaciones de emisiones directas e indirectas, basadas en multiplicadores Tipo I, y la estimación de emisiones directas, indirectas e inducidas a partir de la determinación de multiplicadores Tipo II. El análisis comparado de los resultados así obtenidos se realiza en el cuarto y último apartado.

## 2. FACTORES DE EMISIÓN Y PRINCIPALES FUENTES EMISORAS DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN ASTURIAS

A continuación se describen las fuentes de las que proceden las emisiones de los gases de efecto invernadero en Asturias y la metodología utilizada para su cuantificación.

### 2.1. Dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ )

#### a) Energía

En este apartado se incluyen las emisiones de  $\text{CO}_2$  que se producen como consecuencia de la *quema de combustibles fósiles* para fines energéticos, tanto en fuentes estacionarias como móviles. Con la quema de los combustibles fósiles, casi todo su contenido de carbono es emitido a la atmósfera en forma de  $\text{CO}_2$ . La cantidad de carbono por unidad de energía útil varía con el tipo de combustible, teniendo unos combustibles un efecto potencial sobre el cambio climático muy superior a otros.

Los datos utilizados sobre consumo de combustibles fósiles en Asturias en 2000 han sido elaborados a partir del Balance Energético regional, elaborado por el Departamento de Energía de la Universidad de Oviedo, y de la información ofrecida por SADEI. Este consumo de combustibles, desagregado por sectores productivos más el consumo familiar, se presenta en el cuadro 1.

Siguiendo una metodología similar a la recomendada por el IPCC (1997), los factores de emisión utilizados para cada tipo de combustible

son: carbón nacional, 1,987 t CO<sub>2</sub>/t; carbón de importación<sup>1</sup>, 2,748 t CO<sub>2</sub>/t; gasolina, 3,105 t CO<sub>2</sub>/t; gasóleo/fuelóleo, 3,209 t CO<sub>2</sub>/t; queroseno<sup>2</sup>, 0,401 t CO<sub>2</sub>/movimiento aéreo; gas natural<sup>3</sup>, 2,643 t CO<sub>2</sub>/t ó 1,9 t CO<sub>2</sub>/10<sup>3</sup>m<sup>3</sup>; propano y butano (GLP), 2,984 t CO<sub>2</sub>/t (Miranda, 2002).

**Cuadro 1**  
**CONSUMO DE COMBUSTIBLES EN ASTURIAS, DESAGREGADO**  
**POR SECTORES PRODUCTIVOS Y CONSUMO FAMILIAR**  
**AÑO 2000 (EN TM.)**

|                                               | Carbón nacional  | Carbón importación | Gasolina       | Gasóleo        | Fuelóleo       | Gas Natural *    | GLP            |
|-----------------------------------------------|------------------|--------------------|----------------|----------------|----------------|------------------|----------------|
| Agricultura, ganadería y pesca                | 0                | 0                  | 290            | 35.138         | 0              | 2.073            | 66             |
| Extracción de carbones                        | 201.934          | 0                  | 22             | 2.632          | 0              | 0                | 0              |
| Otras actividades extractivas                 | 35               | 0                  | 17             | 451            | 108            | 16.857           | 0              |
| Coquería y refino de petróleo                 | 0                | 5.345.401          | 0              | 0              | 0              | 0                | 0              |
| Industria Química                             | 3.239            | 250.511            | 0              | 858            | 3.776          | 451.556          | 44.268         |
| Otros productos minerales no metálicos        | 29.695           | 0                  | 0              | 735            | 27.863         | 382.467          | 7              |
| Metalurgia y Fabricación de ptos. metálicos   | 0                | 0                  | 56             | 4.732          | 10.294         | 963.326          | 8.271          |
| Otras industrias manufactureras               | 163              | 0                  | 50             | 2.395          | 52.948         | 151.286          | 35             |
| Energía eléctrica, gas, vapor y agua caliente | 3.318.057        | 3.703.187          | 0              | 2.505          | 129.865        | 280.628          | 0              |
| Construcción                                  | 0                | 0                  | 0              | 6.344          | 783            | 0                | 0              |
| Transporte                                    | 0                | 0                  | 183            | 19.045         | 0              | 0                | 25             |
| Otros servicios                               | 126.363          | 0                  | 97             | 21.116         | 0              | 353.547          | 1.910          |
| Consumo familiar                              | 41.438           | 0                  | 150.976        | 443.493        | 0              | 643.114          | 62.219         |
| <b>TOTAL</b>                                  | <b>3.720.923</b> | <b>9.299.100</b>   | <b>151.691</b> | <b>539.444</b> | <b>225.637</b> | <b>3.244.854</b> | <b>116.801</b> |

\* miles de termias.

Fuente: Departamento de Energía de la Universidad de Oviedo, SADEI y elaboración propia.

- (1) La calidad de este tipo de carbón y, por tanto, su contenido de carbono, variará dependiendo del país de procedencia. Esto hace que sea realmente complicado hallar un factor de emisión. Como valor orientativo se ha utilizado el factor de emisión para carbón recomendado por la EPA (U.S. Environmental Protection Agency, 1999).
- (2) Las emisiones motivadas por la quema de queroseno proceden del consumo de este combustible en los aviones. El factor de emisión utilizado ha sido tomado de McGregor *et al.* (2001).
- (3) El factor de emisión utilizado para el gas natural ha sido el recomendado por el IV Congreso para la Calidad del Aire (Ministerio de Medio Ambiente, 2000).

## b) Procesos Industriales

En este apartado se incluyen las emisiones que resultan de determinados procesos industriales y que no están directamente relacionadas con actividades energéticas como la quema de combustibles fósiles.

Las emisiones de CO<sub>2</sub> derivadas de procesos industriales en Asturias son resultado directo de la producción de cemento y aluminio. Las emisiones generadas como subproducto en la siderurgia integral, al utilizar coque como agente reductor, no se contabilizan en este apartado, pues estas emisiones ya están incluidas en el apartado de energía bajo la quema de combustibles fósiles.

Los factores de emisión utilizados aquí son: 0,507 t CO<sub>2</sub>/t clínquer para la producción de cemento y 1,8 t CO<sub>2</sub>/t aluminio para la producción de aluminio (Miranda, 2002 y IPCC, 1997).

### 2.2. Metano (CH<sub>4</sub>)

#### a) Energía

El metano emitido en el sector energético proviene de alguna de las siguientes fuentes: combustiones fijas incontroladas; actividades de petróleo y gas natural; combustiones móviles (transportes); extracción y manipulación de carbón, y aviación.

El Principado de Asturias se ve afectado por el metano emitido en todas estas actividades excepto las del petróleo y gas natural. A pesar de ello, en la práctica sólo se contabilizarán tres de ellas, ya que las emisiones procedentes de las combustiones incontroladas son imposibles de cuantificar.

*a.1) Combustiones móviles.* El transporte rodado es una de las principales fuentes de emisión de dos de los seis gases de efecto invernadero, el metano (CH<sub>4</sub>) y el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O). El cálculo de las emisiones de metano producidas en este sector se basa en la aplicación de una serie de factores que dependen del tipo de vehículo, de la tecnología de control de emisiones y del tipo de combustible.

Los factores de emisión utilizados en este trabajo han sido: para vehículos de gasolina, 1,13 kg CH<sub>4</sub>/t gasolina en el caso de turismos sin tecnología de control y 0,314 kg CH<sub>4</sub>/t gasolina para turismos con catalizador de tres vías. Para vehículos diesel, 0,083 kg CH<sub>4</sub>/t gasóleo para turismos y 0,243 kg CH<sub>4</sub>/t gasóleo para vehículos de carga pesados ([www.eea.eu.int](http://www.eea.eu.int)).

*a.2) Extracción y manipulación de carbón.* El proceso de formación del carbón genera, de forma inherente, metano y otros productos. Durante las actividades de extracción el metano se escapa a la atmósfera. De la manipulación y uso del carbón extraído también se derivan emisiones de metano, aunque en una cuantía muy inferior. Los factores de emisión utilizados para determinar las emisiones de metano procedentes de la minería asturiana han sido: minería, 10 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/t producción; post-minería, 0,9 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/t producción (IPCC, 1997).

a.3) *Aviación*. El factor de emisión utilizado es 0,03 kg de CH<sub>4</sub>/movimiento aéreo (McGregor *et al.*, 2001).

#### b) Procesos Industriales

Las emisiones de metano derivadas de procesos industriales en Asturias son resultado directo de la producción de coque. El factor de emisión aplicado es 0,5 kg CH<sub>4</sub>/t coque (IPCC, 1997).

#### c) Agricultura

En el caso concreto del Principado de Asturias sólo habrán de tenerse en cuenta las emisiones procedentes de la ganadería (fermentación entérica y manejo del estiércol) y de la quema de residuos agrícolas.

c.1) *Fermentación entérica*. Los factores de emisión de metano expresados en Kg. CH<sub>4</sub>/cabeza de ganado son: bovino lechero, 100; bovino no lechero, 48; ovino, 8; caprino, 5; porcino, 1,5; caballo, 18; mulas y asnos, 10 (IPCC, 1997).

c.2) *Manejo del estiércol*. Los factores de emisión de metano en Kg. CH<sub>4</sub>/cabeza son: bovino lechero, 44; bovino no lechero, 20; ovino, 0,28; caprino, 0,18; porcino, 10; caballo, 2,08; mulas y asnos, 1,14 (IPCC, 1997).

c.3) *Quema de residuos agrícolas*. La cantidad de metano que se emite como consecuencia de la quema de residuos agrícolas se puede calcular a partir del carbono liberado por los distintos tipos de biomasa y variará para cada tipo de cultivo (maíz y trigo en el caso del Principado de Asturias). Los factores de emisión de metano como consecuencia de la quema de residuos agrícolas en Kg. CH<sub>4</sub>/t de cosecha son: maíz, 0,94 y trigo, 3,28 (IPCC, 1997).

#### d) Residuos

El *tratamiento de aguas residuales* con un alto contenido en material orgánico genera metano cuando dicho tratamiento incluye una etapa de degradación anaerobia. El valor teórico de emisión de metano, en este caso, es de 0,25 Kg. CH<sub>4</sub>/Kg. DBO, siendo DBO la carga contaminante de las aguas tratadas en Kg. por m<sup>3</sup>.

### 2. 3. Óxido nítrico (N<sub>2</sub>O)

#### a) Energía

El óxido nítrico (N<sub>2</sub>O) se genera a partir de combustiones fijas incontroladas y combustiones móviles. Sólo se hará referencia, por lo tanto, a las emisiones procedentes de las combustiones móviles. Al igual que para las emisiones de metano, las del N<sub>2</sub>O se calculan teniendo en cuenta el tipo de combustible utilizado, la tecnología de control de emisiones y la clase de vehículo.

Los factores de emisión utilizados en este trabajo han sido: para vehículos de gasolina, 0,071 Kg. N<sub>2</sub>O/t gasolina en el caso de turismos sin tecnología

de control y 0,784 Kg.  $N_2O$ /t gasolina para turismos con catalizador de tres vías; para vehículos diesel, 0,165 Kg.  $N_2O$ /t gasóleo para turismos y 0,122 Kg.  $N_2O$ /t gasóleo para vehículos de carga pesados ([www.eea.eu.int](http://www.eea.eu.int)).

#### b) Procesos Industriales

En Asturias el óxido nitroso se genera como subproducto del proceso de producción de ácido nítrico. El factor de emisión utilizado es 5 Kg.  $N_2O$ /t ácido (IPCC, 1997).

#### c) Agricultura

El óxido nitroso emitido en la agricultura incluye el generado como consecuencia de la oxidación del nitrógeno que compone la biomasa de los campos agrícolas y el del nitrógeno excretado por el ganado doméstico en el estiércol.

*c.1) Manejo del estiércol.* Las emisiones de óxido nitroso que proceden de esta actividad varían en función de dos parámetros característicos: la clase de ganado y los diferentes sistemas de gestión del estiércol. Teniendo en cuenta la cantidad de nitrógeno que excreta cada raza de ganado ( $N_{ex}$ ) y los valores por defecto dados para expresar la proporción de estiércol que se gestiona según cada uno de los diferentes sistemas en Europa Occidental, se calcula la cantidad de nitrógeno que elimina cada animal y que, por lo tanto, puede transformarse en  $N_2O$  (ver cuadro 2).

**Cuadro 2**  
**NITRÓGENO EXCRETADO POR CABEZA DE ANIMAL**  
**SEGÚN EL SISTEMA DE MANEJO DEL ESTIÉRCOL (EN KG.)**

|                                    | Sist. Tipo<br>líquido | Abonado<br>diario | Almacenamiento<br>sólido | Praderas y<br>pastizales | Otros |
|------------------------------------|-----------------------|-------------------|--------------------------|--------------------------|-------|
| Bovino no lechero                  | 38,5                  | 0                 | 1,4                      | 23,1                     | 6,3   |
| Bovino lechero                     | 46                    | 24                | 21                       | 8                        | 1     |
| Ovino                              | 0                     | 0                 | 0,4                      | 17,4                     | 2,2   |
| Porcino                            | 15,4                  | 0                 | 4,6                      | 0                        | 0     |
| Cabras, caballos,<br>mulas y asnos | 0                     | 0                 | 0                        | 24                       | 1     |

Fuente: IPCC (1997) y elaboración propia.

Los factores de emisión utilizados (en Kg.  $N_2O$ /Kg.  $N_{ex}$ ) han sido los siguientes: sistema tipo líquido, 0,0016; abonado diario, 0; almacenamiento sólido, 0,03; praderas y pastizales, 0,03; otros sistemas, 0,008 (IPCC, 1997 y elaboración propia).

*c.2) Quema de residuos.* Las emisiones de  $N_2O$  procedentes de la quema de residuos son función del tipo de cosecha. Los factores de emisión utiliza-

dos (Kg. N<sub>2</sub>O/t de cosecha) han sido los siguientes: maíz, 0,03 y trigo, 0,07 (IPCC, 1997 y elaboración propia).

### *c.3) Suelos agrícolas.*

Fertilizantes: la tasa de emisión por cada tonelada de Nitrógeno aplicado a los suelos es de 17,678 Kg. N<sub>2</sub>O/t N (IPCC, 1997 y elaboración propia).

Estiércol: la principal variable, a la hora de calcular las emisiones por el uso del estiércol como fertilizante, es el tipo de ganado del que procede y su contenido en nitrógeno. Su factor de emisión es 0,015 Kg. N<sub>2</sub>O/Kg. N (IPCC, 1997 y elaboración propia) y el nitrógeno (en Kg.) excretado por cada animal el siguiente: bovino lechero, 100; bovino no lechero, 70; ovino, 20; porcino, 20; cabras, caballos, mulas y asnos, 25.

Cultivos fijadores del nitrógeno (legumbres secas y soja): el factor de emisión correspondiente es de 1,18 Kg. N<sub>2</sub>O/t de legumbre (IPCC, 1997 y elaboración propia).

Residuos de las cosechas: estas emisiones son función directa de las producciones agrarias de la región, así como de su contenido en nitrógeno. Agrupando todos los factores de los que dependen las emisiones en uno solo, el cálculo queda como sigue:

$$N_2O \text{ (Kg.)} = \{ \text{cultivos no fijadores N (Kg.)} \times 0,015 + \text{cultivos fijadores N (Kg.)} \times 0,03 \} \times 0,019$$

Cultivo de los suelos: el factor de emisión es 7,86 Kg. N<sub>2</sub>O/Ha (IPCC, 1997 y elaboración propia).

Deposición atmosférica: a partir de la fracción de nitrógeno sintético aplicado a los suelos (N<sub>fert</sub>) y del nitrógeno excretado por los animales (N<sub>ex</sub>) que se volatiliza en forma de N<sub>2</sub>O, se obtiene el óxido nitroso que se emite a la atmósfera por esta vía, siendo N<sub>ex</sub> los valores dados en el cuadro 2.

$$N_2O \text{ (Kg.)} = \{ N_{fert} \times 0,1 + N_{ex} \times \text{cabezas} \times 0,2 \} \times 0,0157$$

Lixiviación y escorrentía: una pequeña parte del nitrógeno aplicado a los suelos, bien sea como fertilizante sintético o bien como estiércol, es arrastrado por las aguas de lluvia, siendo el factor de emisión 0,01178 Kg. N<sub>2</sub>O/Kg. N (IPCC, 1997 y elaboración propia).

## *2.4. Hidrocarburos halogenados (PFC/HFC) y hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>)*

En el caso de Asturias se han calculado de forma conjunta las emisiones de hidrocarburos halogenados. Las emisiones de hexafluoruro de azufre son nulas.

### *a) Procesos Industriales*

Las emisiones de PFCs proceden de la *producción de aluminio*. A las cifras de producción de aluminio se les aplicarán factores de emisión variables según la tecnología utilizada. En el caso de Asturias, esta tecnología es HS Sodeberg y su factor de emisión es 1,00 Kg. CF<sub>4</sub>/t aluminio (IPCC, 1997). El C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> es la décima parte del CF<sub>4</sub> generado.

### b) Otras fuentes de emisión

El resto de emisiones de HFC/PFC en Asturias proceden de equipos de refrigeración en el transporte y hogares.

*b1) Equipos de refrigeración en el transporte.* Las emisiones, en este caso, proceden de fugas en los vehículos de transporte refrigeradores.

*b2) Hogares.* En este capítulo se han considerado las fugas que se producen en el momento de eliminación de los frigoríficos.

## 3. ESTIMACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN EL PRINCIPADO DE ASTURIAS

### 3.1. Estimación de las emisiones directas de gases de efecto invernadero.

En este trabajo se ha utilizado la Tabla Input-Output de Asturias correspondiente al año 2000, cuyas ramas de actividad han sido agrupadas en doce<sup>4</sup>. Las emisiones de cada uno de los gases objeto de estudio proceden, por un lado, de la actividad de los distintos sectores productivos de la economía y, por otro lado, del consumo de los hogares regionales.

Las fuentes de emisión en los sectores productivos son dos: la quema de combustible con fines energéticos y los propios procesos productivos. Para el cálculo de las emisiones procedentes de la primera fuente es necesario, por lo tanto, conocer la cantidad física de fuel  $j$  utilizada por el sector  $i$  ( $F_{ij}$ ) y los factores de emisión por cada tipo de combustible ( $e_{ij}^k$ ). El factor de emisión representa la cantidad de contaminante  $k$  generada cuando el sector  $i$  utiliza una unidad de combustible  $j$ . Las emisiones físicas por quema de combustible en cada sector  $i$  se obtienen del producto  $F_{ij} \times e_{ij}^k$ . A esto se añaden las emisiones procedentes del proceso productivo, que se obtienen de multiplicar el factor de emisión para cada sector ( $n_i^k$ ) -es decir, la cantidad de contaminante  $k$  generada por unidad de output en el proceso productivo del sector  $i$ - por el output total del sector ( $X_i$ ):  $n_i^k \times X_i$ . La suma de ambos productos da como resultado la cantidad de contaminante  $k$  generada por el sector  $i$  en unidades físicas:  $(p_x)_{k,i}$

Las emisiones derivadas del consumo de los hogares  $(p_c)_{k,h}$  son resultado de la quema de combustibles con fines energéticos por parte de éstos. Se calculan multiplicando los factores de emisión por cada contaminante y tipo de combustible ( $e_{hj}^k$ ) por la cantidad física de cada combustible consumida por los hogares ( $F_{hj}$ ). Únicamente en el caso de los gases HFC/PFC las emisiones procedentes de los hogares no están relacionadas con el uso de combustibles, sino con el consumo de frigoríficos (ver apartado anterior).

(4) Un trabajo similar ya se había realizado con los datos de la anterior Tabla Input-Output regional, elaborada para el año 1995. Los resultados obtenidos se encuentran publicados en Argüelles, Benavides y Junquera (2006).

Las emisiones directas así calculadas figuran en el cuadro 3. A partir de los datos recogidos en el mismo se puede concluir que la contaminación por gases de efecto invernadero en Asturias se debe fundamentalmente a las emisiones de CO<sub>2</sub>, que constituyen el 93,3 por cien del total. Las emisiones restantes corresponden al metano, al N<sub>2</sub>O y a los HFC/PFC en un 3,5, un 2,3 y un 0,9 por cien respectivamente. Los grandes productores de CO<sub>2</sub> son las coquerías, productoras del coque necesario para la actividad siderúrgica, y las centrales térmicas generadoras de electricidad con carbón como materia prima. Ambas actividades suponen un 75 por cien de las emisiones regionales de CO<sub>2</sub>. A estas actividades le siguen, aunque a bastante distancia, el consumo de los hogares y el resto de actividades industriales como fuente de emisiones directas de CO<sub>2</sub>. En cuanto al metano, las actividades agrícolas y ganaderas, junto con la minería de carbón, generan el 99 por cien de las emisiones. El sector primario es también la principal fuente de emisiones de N<sub>2</sub>O (69 por cien), seguido de la industria química (27,4 por cien). Finalmente, los HFC/PFC proceden casi totalmente de la producción de aluminio (99,6 por cien).

**Cuadro 3**  
**EMISIONES DIRECTAS DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN**  
**ASTURIAS, POR SECTOR PRODUCTIVO Y CONSUMO FAMILIAR.**  
**AÑO 2000 (EN MILES DE TM. EQUIVALENTES DE CO<sub>2</sub>)**

|                                                 | CO <sub>2</sub> |        | CH <sub>4</sub> |        | N <sub>2</sub> O |        | HFC/PFC   |        |
|-------------------------------------------------|-----------------|--------|-----------------|--------|------------------|--------|-----------|--------|
|                                                 | Emisiones       | %      | Emisiones       | %      | Emisiones        | %      | Emisiones | %      |
| Agricultura, silvicultura y pesca               | 117,8           | 0,27   | 1.038,1         | 64,14  | 742,3            | 69,02  | 0,0       | 0,00   |
| Extracción de carbones minerales                | 409,8           | 0,95   | 567,0           | 35,04  | 0,0              | 0,00   | 0,0       | 0,00   |
| Actividades extractivas                         | 33,9            | 0,08   | 0,0             | 0,00   | 0,0              | 0,00   | 0,0       | 0,00   |
| Coquerías y refino de petróleo                  | 14.689,2        | 34,01  | 1,4             | 0,09   | 0,0              | 0,00   | 0,0       | 0,00   |
| Industria química                               | 1.699,8         | 3,94   | 0,0             | 0,00   | 294,5            | 27,38  | 0,0       | 0,00   |
| Otros productos minerales no metálicos          | 1.519,1         | 3,52   | 0,0             | 0,00   | 0,0              | 0,00   | 0,0       | 0,00   |
| Metalurgia y fabricación de productos metálicos | 2.058,3         | 4,77   | 0,0             | 0,00   | 0,0              | 0,00   | 405,8     | 99,62  |
| Otras industrias manufactureras                 | 465,6           | 1,07   | 0,0             | 0,00   | 0,0              | 0,00   | 0,0       | 0,00   |
| Energía eléctrica, gas, vapor y agua caliente   | 17.727,3        | 41,05  | 0,0             | 0,00   | 0,0              | 0,00   | 0,0       | 0,00   |
| Construcción                                    | 22,9            | 0,05   | 0,0             | 0,00   | 0,0              | 0,00   | 0,0       | 0,00   |
| Transporte                                      | 65,9            | 0,15   | 0,1             | 0,01   | 0,7              | 0,07   | 0,0       | 0,00   |
| Otros Servicios                                 | 996,6           | 2,31   | 8,7             | 0,53   | 0,0              | 0,00   | 0,0       | 0,00   |
| Consumo familiar                                | 3.381,9         | 7,83   | 3,0             | 0,19   | 38,0             | 3,53   | 1,5       | 0,38   |
| TOTAL                                           | 43.188,1        | 100,00 | 1.618,3         | 100,00 | 1.075,5          | 100,00 | 407,3     | 100,00 |

Fuente: SADEI y elaboración propia.

Una vez conocidas las emisiones generadas por los distintos sectores productivos  $(p_x)_{k,i}$ , se pueden determinar los coeficientes output-contaminación  $(m_x)_{k,i}$  -que representan la cantidad de contaminante  $k$  generado en la producción de una unidad de output del sector  $i$ - dividiendo  $(p_x)_{k,i}$  por el output del sector  $i$  ( $X_i$ ). De esta forma, es posible obtener la matriz  $K \times N$  de coeficientes output-contaminación  $(M_x)$ , siendo  $K$  el número total de contaminantes y  $N$  el de sectores. Así mismo, se puede construir el vector  $K \times 1$  de coeficientes consumo-contaminación  $(M_c)$ . Sus elementos son los coeficientes  $(m_c)_{k,h}$ , que representan la contaminación generada por unidad de consumo final y se obtienen de dividir  $(p_c)_{k,h}$  por el consumo total de los hogares ( $C$ ).

Por lo tanto, el volumen total de emisiones directas ( $P$ ) es igual a:

$$P = P_x + P_c = M_x \times X + M_c \times C \quad (1)$$

donde  $P_x$  y  $P_c$  son vectores  $K \times 1$  que representan los volúmenes de emisiones directas totales procedentes de los sectores productivos y del consumo de los hogares, respectivamente.  $X$  es el vector  $N \times 1$  de output sectoriales.

### 3.2. Estimación de las emisiones directas e indirectas de gases de efecto invernadero: análisis de multiplicadores Tipo I

El análisis de los efectos directos e indirectos de cada sector sobre las emisiones de los gases supone un paso más en el estudio de los agentes responsables de este tipo de contaminación. El punto de partida de este análisis se encuentra en el *Modelo de Demanda de Leontief*. Toda la actividad productiva de una economía se dirige a satisfacer la demanda final. Para ello, cada sector productivo realiza una demanda intermedia de inputs, procedentes de otros sectores, necesarios para su producción. Si se observan las filas de una TIO correspondientes a los sectores productivos, se puede ver cómo el output de cada uno de ellos se destina en su totalidad a satisfacer la demanda intermedia de los otros sectores y la demanda final. Esto puede representarse a través de la siguiente ecuación:

$$A \times X + D = X \quad (2)$$

donde  $A$  es la matriz  $N \times N$  de coeficientes técnicos regionales  $(a^R_{ij})$ ,  $X$  es el vector  $N \times 1$  de output sectoriales y  $D$  el vector  $N \times 1$  de demanda final de productos regionales. Por último:

$$a^R_{ij} = \frac{x^R_{ij}}{X_j}$$

siendo  $x^R_{ij}$  la cantidad de producción obtenida en Asturias por el sector  $i$  que es utilizada por el sector regional  $j$  y  $X_j$  el output del sector  $j$ .

La matriz inversa de Leontief  $(I-A)^{-1}$  relaciona el output sectorial con la demanda final a través de la siguiente fórmula:

$$X = (I-A)^{-1} \times D \quad (3)$$

Los elementos de la matriz inversa de Leontief ( $b_{ij}$ ) representan el output del sector  $i$  que es necesario, directa o indirectamente, para producir una unidad de demanda final del sector  $j$ .

Si los sectores producen para atender a una determinada demanda final, la contaminación generada por ellos ( $P_{x1}$ ) puede también atribuirse a dicha demanda final. Es decir:

$$P_{x1} = M_x \times (I-A)^{-1} \times D = M_{x1} \times D \quad (4)$$

donde  $M_{x1}$  es la matriz  $K \times N$  de multiplicadores producción-contaminación Tipo I. Cada elemento de esta matriz ( $\varepsilon_{ki}$ ) es la cantidad de contaminante  $k$  directa o indirectamente atribuible a una unidad de demanda final del sector  $i$ . Es decir, los multiplicadores Tipo I permiten calcular las emisiones directas e indirectas atribuibles a cada uno de los sectores productivos. Esto es, las emisiones atribuidas ahora a un determinado sector  $i$  no son sólo las originadas directamente por su actividad productiva, sino también las generadas por la actividad productiva de otros sectores para atender a la demanda de inputs intermedios del sector  $i$ . En definitiva, todas estas emisiones son así atribuidas a la demanda final del sector  $i$ .

El vector  $P$ , que representa el total de emisiones contaminantes, se puede expresar ahora de la siguiente forma:

$$P = P_{x1} + P_c = M_{x1} \times D + M_c \times C \quad (5)$$

El cuadro 4 recoge las *emisiones directas e indirectas* por sector productivo y consumo final, expresadas en cantidades físicas y como porcentaje del total de emisiones de cada contaminante  $k$ . En el caso del  $CO_2$ , los grandes sectores contaminantes son "Metalurgia y fabricación de productos metálicos" (30,6 por cien), dentro del cual se encuentran la siderurgia y la producción de aluminio, y "Energía eléctrica, gas, vapor y agua caliente" (23,6 por cien). En cuanto al metano, cerca del 75 por cien de las emisiones son generadas por "Agricultura, ganadería y pesca" (24,7 por cien), "Otras industrias manufactureras" (33,4 por cien) y "Energía eléctrica, gas, vapor y agua caliente" (16,4 por cien). Las emisiones de óxido nitroso se concentran, de nuevo, sólo en tres sectores de la economía, que generan el 86 por cien del total. Estos sectores son "Agricultura, ganadería y pesca" (26,5 por cien), "Industria química" (24,9 por cien) y "Otras industrias manufactureras" (34,6 por cien). Finalmente, el principal generador de emisiones de HFC/PFC es el sector "Metalurgia y fabricación de productos metálicos", como consecuencia de la producción de aluminio, representando el 91,4 por cien de las emisiones totales de este tipo de gases.

**Cuadro 4**  
**EMISIONES DIRECTAS E INDIRECTAS DE GASES DE**  
**EFFECTO INVERNADERO EN ASTURIAS, POR SECTOR PRODUCTI-**  
**VO Y CONSUMO FAMILIAR. AÑO 2000 (EN MILES DE TM.**  
**EQUIVALENTES DE CO<sub>2</sub>)**

|                                                 | CO <sub>2</sub> |        | CH <sub>4</sub> |        | N <sub>2</sub> O |        | HFC/PFC   |        |
|-------------------------------------------------|-----------------|--------|-----------------|--------|------------------|--------|-----------|--------|
|                                                 | Emisiones       | %      | Emisiones       | %      | Emisiones        | %      | Emisiones | %      |
| Agricultura, silvicultura y pesca               | 109,5           | 0,25   | 399,6           | 24,69  | 285,2            | 26,52  | 0,1       | 0,03   |
| Extracción de carbones minerales                | 99,3            | 0,23   | 69,7            | 4,30   | 1,1              | 0,10   | 0,1       | 0,04   |
| Actividades extractivas                         | 54,5            | 0,13   | 1,1             | 0,07   | 0,4              | 0,04   | 0,1       | 0,02   |
| Coquerías y refino de petróleo                  | 4.916,2         | 11,38  | 1,6             | 0,10   | 0,2              | 0,02   | 0,1       | 0,01   |
| Industria química                               | 2.635,5         | 6,10   | 27,1            | 1,68   | 268,0            | 24,91  | 0,2       | 0,05   |
| Otros productos minerales no metálicos          | 1.160,7         | 2,69   | 9,6             | 0,59   | 1,8              | 0,17   | 0,4       | 0,10   |
| Metalurgia y fabricación de productos metálicos | 13.205,8        | 30,58  | 108,3           | 6,69   | 34,5             | 3,21   | 372,3     | 91,40  |
| Otras industrias manufactureras                 | 1.731,5         | 4,00   | 540,2           | 33,38  | 372,4            | 34,63  | 10,8      | 2,64   |
| Energía eléctrica, gas, vapor y agua caliente   | 10.173,1        | 23,56  | 265,9           | 16,43  | 5,1              | 0,47   | 2,0       | 0,49   |
| Construcción                                    | 1.596,1         | 3,70   | 34,2            | 2,12   | 22,1             | 2,05   | 16,4      | 4,02   |
| Transporte                                      | 259,8           | 0,60   | 8,6             | 0,53   | 3,0              | 0,28   | 0,4       | 0,10   |
| Otros Servicios                                 | 3.864,2         | 8,95   | 149,4           | 9,23   | 43,7             | 4,07   | 2,9       | 0,72   |
| Consumo familiar                                | 3.381,9         | 7,83   | 3,0             | 0,19   | 38,0             | 3,53   | 1,5       | 0,38   |
| TOTAL                                           | 43.188,1        | 100,00 | 1.618,3         | 100,00 | 1.075,5          | 100,00 | 407,3     | 100,00 |

Fuente: SADEI y elaboración propia.

### *3.3. Estimación de las emisiones directas, indirectas e inducidas de gases de efecto invernadero: análisis de multiplicadores Tipo II*

El análisis Input-Output convencional, de efectos directos e indirectos, parte del hecho de que cada sector productivo utiliza inputs intermedios procedentes de otros sectores para llevar a cabo su producción y atender, así, a su demanda final. Dicho análisis puede completarse con la inclusión de los efectos inducidos. Para ello, se tiene en cuenta también que los sectores utilizan factor trabajo en su proceso de producción. Este factor trabajo lo obtienen de las familias, a las que pagan rentas a cambio. Las familias utilizan la renta obtenida para financiar su consumo y, de esta forma, las emisiones derivadas de este consumo pueden atribuirse, en último caso, a los sectores productivos.

Para incorporar los efectos inducidos es necesario considerar la parte del consumo familiar financiada con rentas del trabajo obtenidas en los sectores productivos regionales como endógena al sistema. El sector familias es tratado como un sector productivo más, cuyo output es el factor trabajo vendido a otros sectores y el input el gasto de consumo realizado.

Se construye así una matriz de transacciones interindustriales ampliada ( $X^*$ ), con una columna y una fila adicionales. La columna recoge los inputs de las familias como sector productivo, constituidos por su consumo interior (consumo de productos regionales) ( $C^R$ ). En la fila se incluye el output del sector familias hacia los otros sectores productivos regionales, cuyo valor se corresponde con las rentas del trabajo pagadas a las familias por cada uno de estos sectores ( $W$ ).

A partir de  $X^*$  se construye la matriz de coeficientes técnicos regionales ampliada ( $A^*$ ) con la inclusión, de nuevo, de una fila y una columna adicionales. Los elementos de la nueva columna vienen dados por el cociente entre el consumo familiar interior de productos de cada sector  $i$  y el consumo interior total ( $C^R$ ). En el caso de la fila adicional, sus elementos se calculan como el cociente entre las rentas del trabajo pagadas por cada sector y su volumen de producción,  $X_i$ . De esta forma, ya se puede obtener la matriz inversa de Leontief Tipo II:  $(I-A^*)^{-1}$ .

El consumo de las familias ya no es ahora considerado exógeno en su totalidad. Una parte del mismo, el financiado con las rentas del trabajo pagadas por los sectores productivos regionales, se endogeiniza. Los coeficientes de consumo-contaminación  $(m_c)_{k,h}$  del vector  $M_c$  se dividen en dos partes: los coeficientes de output-contaminación de las familias  $(m_x)_{k,h}$  y los coeficientes de consumo-contaminación  $(m_c^*)_{k,h}$ . Estos últimos se calculan para la parte del consumo familiar que sigue siendo exógena, es decir, que procede de otras rentas distintas a las del trabajo.

En Asturias, la parte del consumo familiar total ( $C$ ) financiada con rentas del trabajo es 0,7369 y la parte exógena 0,2630. Los coeficientes  $(m_x)_{k,h}$  se calculan como  $0,7369 \times (p_c)_{k,h} / W$ . Los coeficientes  $(m_c^*)_{k,h}$  son  $0,2630 \times (p_c)_{k,h} / C$ .

Una vez conocidos los coeficientes  $(m_x)_{k,h}$  ya se puede construir la matriz  $K \times (N+1)$  de coeficientes output-contaminación ampliada con una nueva columna correspondiente a dichos coeficientes ( $M_x^*$ ). Al multiplicar esta matriz por la inversa de Leontief Tipo II, se obtiene la matriz  $K \times (N+1)$  de multiplicadores output-contaminación Tipo II ( $M_{x2}$ ):

$$M_{x2} = M_x^* \times (I-A^*)^{-1} \quad (6)$$

La contaminación generada por los sectores productivos ( $P_{x2}$ ) se calcula de la siguiente forma:

$$P_{x2} = M_{x2} \times D_{(-h)} \quad (7)$$

donde  $D_{(-h)}$  es la demanda final exógena. Ésta, ahora, no es ya toda la demanda final, sino que hay que descontar de ella la parte endógena del consumo familiar.

La contaminación generada por el consumo familiar exógeno ( $P_{c2}$ ) se calcula de la siguiente forma:

$$P_{c2} = M_c^* \times C \quad (8)$$

donde  $M_c^*$  es el vector de coeficientes de consumo-contaminación,  $(m_{c^*})_{k,h}$ , correspondientes a la parte exógena del consumo familiar.

El vector  $P$ , que representa el total de emisiones contaminantes, se puede expresar ahora como:

$$P = P_{x2} + P_{c2} = M_{x2} \times D_{(-h)} + M_c^* \times C \quad (9)$$

El cuadro 5 recoge las *emisiones directas, indirectas e inducidas* por sector productivo y consumo final. Para cada gas, los principales sectores contaminantes son los mismos que cuando se consideran las emisiones directas e indirectas. Un análisis comparado se realizará en el apartado siguiente.

**Cuadro 5**  
**EMISIONES DIRECTAS, INDIRECTAS E INDUCIDAS DE GASES DE**  
**EFFECTO INVERNADERO EN ASTURIAS, POR SECTOR PRODUCTIVO**  
**Y CONSUMO FAMILIAR. AÑO 2000**  
**(EN MILES DE TM. EQUIVALENTES DE CO<sub>2</sub>)**

|                                                 | CO <sub>2</sub> |               | CH <sub>4</sub> |               | N <sub>2</sub> O |               | HFC/PFC      |               |
|-------------------------------------------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|------------------|---------------|--------------|---------------|
|                                                 | Emisiones       | %             | Emisiones       | %             | Emisiones        | %             | Emisiones    | %             |
| Agricultura, silvicultura y pesca               | 103,3           | 0,24          | 260,7           | 16,12         | 185,9            | 17,28         | 0,1          | 0,03          |
| Extracción de carbones minerales                | 145,6           | 0,34          | 68,4            | 4,23          | 2,7              | 0,25          | 0,2          | 0,05          |
| Actividades extractivas                         | 70,9            | 0,16          | 2,0             | 0,12          | 0,9              | 0,09          | 0,1          | 0,02          |
| Coquerías y refino de petróleo                  | 4.929,6         | 11,41         | 2,3             | 0,14          | 0,7              | 0,06          | 0,0          | 0,01          |
| Industria química                               | 2.748,3         | 6,36          | 33,4            | 2,06          | 271,2            | 25,22         | 0,3          | 0,07          |
| Otros productos minerales no metálicos          | 1.271,2         | 2,94          | 15,6            | 0,96          | 5,4              | 0,50          | 0,5          | 0,12          |
| Metalurgia y fabricación de productos metálicos | 14.229,1        | 32,95         | 163,2           | 10,09         | 67,4             | 6,26          | 373,1        | 91,59         |
| Otras industrias manufactureras                 | 2.276,0         | 5,27          | 500,4           | 30,92         | 341,0            | 31,72         | 9,7          | 2,39          |
| Energía eléctrica, gas, vapor y agua caliente   | 8.618,0         | 19,96         | 232,1           | 14,34         | 12,2             | 1,13          | 1,8          | 0,45          |
| Construcción                                    | 2.751,9         | 6,37          | 97,6            | 6,03          | 59,9             | 5,57          | 16,9         | 4,15          |
| Transporte                                      | 435,1           | 1,01          | 19,4            | 1,20          | 10,1             | 0,94          | 0,5          | 0,12          |
| Otros Servicios                                 | 4.733,4         | 10,96         | 222,4           | 13,74         | 108,3            | 10,07         | 3,7          | 0,90          |
| Consumo familiar                                | 875,7           | 2,03          | 0,8             | 0,05          | 9,8              | 0,91          | 0,4          | 0,10          |
| <b>TOTAL</b>                                    | <b>43.188,1</b> | <b>100,00</b> | <b>1.618,3</b>  | <b>100,00</b> | <b>1.075,5</b>   | <b>100,00</b> | <b>407,3</b> | <b>100,00</b> |

Fuente: SADEI y elaboración propia.

#### 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este trabajo se ha realizado la atribución de las emisiones de gases efecto invernadero de tres formas distintas. Se han calculado, en primer lugar, las emisiones directas de cada sector productivo y del consumo final; en segundo lugar, las emisiones directas e indirectas de los sectores productivos; y, por último, las emisiones directas, indirectas e inducidas atribuibles a cada uno de éstos. Los resultados obtenidos en cada caso varían, dando lugar a una participación distinta de los diferentes sectores y de los consumidores en la emisión total de los contaminantes.

En primer lugar, es importante recordar que el CO<sub>2</sub> es, con mucho, el principal responsable de la contaminación por gases efecto invernadero en esta región, con un 93,3 por cien de total. Este porcentaje es más elevado que el correspondiente a España o a la Unión Europea. En el primer caso, las emisiones nacionales de CO<sub>2</sub> en el período 1990-2000 fueron el 79,5 por cien del total de este tipo de gases, mientras en la UE para el mismo periodo el porcentaje fue de un 80,3 por cien (IHOBE, 2002).

La elevada participación del CO<sub>2</sub> en las emisiones totales de Asturias está estrechamente relacionada con su estructura productiva, en la que tiene una fuerte presencia la actividad siderúrgica y metalúrgica y la producción de energía eléctrica en centrales térmicas de carbón, dos sectores con una elevada intensidad de emisiones de CO<sub>2</sub>. Así, el 34 por cien de las emisiones regionales de este gas corresponden a la rama "Coquería y refino de petróleo" -en la que se encuentra recogida la producción de coque utilizado, fundamentalmente, en la siderurgia- y el 41 por cien es generado por la producción de energía eléctrica. A estas actividades les siguen, aunque a bastante distancia, el resto de sectores industriales, que suman un 13,3 por cien de las emisiones de CO<sub>2</sub>, y el consumo familiar, con cerca de un 8 por cien, en el que están incluidas las emisiones de los vehículos privados (ver cuadro 3).

Estos porcentajes se modifican cuando se estiman las emisiones directas e indirectas de cada sector productivo (ver cuadro 4). Ahora, la rama "Metalurgia y fabricación de productos metálicos", cuyas emisiones directas de CO<sub>2</sub> no llegan al 5 por cien, es la responsable de un 30 por cien de las emisiones. Al mismo tiempo, una de las principales responsables de emisiones directas, "Coquerías y refino de petróleo", baja ahora a un 11,4 por cien, puesto que su producción de coque es un input básico de la siderurgia. La otra gran responsable de la contaminación de CO<sub>2</sub>, la generación de energía eléctrica, reduce ahora su participación de un 41 a un 23,5 por cien dado que, de nuevo, su output es un input para el resto de sectores productivos. No obstante, sigue siendo la segunda emisora de este gas. Ello es debido a que una parte importante de su producción, más de un tercio, no es utilizada dentro de la región sino exportada, principalmente al resto de España.

Puesto que al calcular las emisiones directas, indirectas e inducidas se ha endogeneizado una parte del consumo de las familias, se reduce el consumo exógeno y, como consecuencia, las emisiones de CO<sub>2</sub> derivadas del mismo, que ahora son un 2 por cien del total. La atribución de las emisiones de CO<sub>2</sub> a los diferentes sectores productivos debería ahora suponer

un aumento de la participación de aquellos sectores que pagan más rentas de trabajo a las familias. Comparando los resultados del cuadro 5 con los del cuadro 4 se puede observar cómo los sectores que experimentan un aumento más significativo son "Metalurgia y fabricación de productos metálicos", "Construcción" y "Otros servicios".

El metano supone un 3,5 por cien de las emisiones totales de gases de Asturias, proporción claramente inferior a la española (10,5 por cien) y a la europea (9,3 por cien), ambas estimadas para el periodo 1990-2000 (IHOBE, 2002). Las actividades responsables de estas emisiones en la región son el sector agrícola, con un 64 por cien del total de las emisiones directas, y la minería del carbón, con un 35 por cien (ver cuadro 3). Al comparar éstas con las emisiones directas e indirectas de CH<sub>4</sub> recogidas en el cuadro 4, se observa cómo la participación de estos dos sectores en las emisiones totales se reduce considerablemente. De nuevo, la razón estriba en que su output es utilizado como un input en otros sectores productivos. Así, destaca en primer lugar "Otras industrias manufactureras" (33,4 por cien), donde se encuentra recogida la industria agroalimentaria regional. Se elevan ahora considerablemente las emisiones derivadas de la producción de energía eléctrica, con un 16,4 por cien, puesto que esta actividad consume carbón regional y, a mayor distancia, "Metalurgia y fabricación de productos metálicos" (6,7 por cien), también consumidora de carbón, y "Otros servicios" (9,2 por cien). La inclusión en este último sector de las actividades de hostelería, consumidoras de productos del sector primario regional, puede ser la razón de su incremento. Al analizar los resultados de las emisiones directas, indirectas e inducidas (cuadro 5) y compararlos con los anteriores, de nuevo se aprecia que son los servicios, la construcción y la actividad metalúrgica los sectores que más incrementan su participación en las emisiones totales de CH<sub>4</sub>.

Las emisiones de óxido nitroso suponen un 2,3 por cien del total de emisiones en Asturias. De nuevo un porcentaje bastante inferior a los correspondientes a España y la UE, que son un 8,3 por cien y un 9,1 por cien, respectivamente, para el periodo 1990-2000 (IHOBE, 2002). Los principales emisores directos de N<sub>2</sub>O son el sector primario (69 por cien) y la industria química de fertilizantes (27,4 por cien). Al analizar los resultados correspondientes a emisiones directas e indirectas (cuadro 4), se aprecia otra vez una disminución de estos dos sectores –de gran magnitud en el caso de la agricultura, que pasa a suponer un 26,5 por cien del total– y un fuerte aumento de "Otras industrias manufactureras" (34,6 por cien). La explicación de los cambios observados al considerar tanto los efectos directos e indirectos como los directos, indirectos e inducidos es similar a la dada en el caso del metano.

Finalmente, los HFC/PFC son un 0,9 por cien del total de las emisiones de gases de efecto invernadero en Asturias y corresponden, básicamente, a la industria del aluminio, incluida en la rama "Metalurgia y fabricación de productos metálicos" (99,6 por cien del total de emisiones directas). El peso de esta rama se reduce a un 91,4 por cien cuando se consideran las emisiones directas e indirectas, aumentando la participación de otras, fundamentalmente "Construcción" y también "Otras industrias manufactureras". Estos cambios se derivarían del uso del aluminio como input en otros sectores productivos, exportándose el resto fuera de la región.

Como hemos recogido en la introducción, la Declaración Institucional por el Desarrollo Sostenible del Principado de Asturias, considera necesario identificar y estudiar las tendencias que amenazan la sostenibilidad, tales como el cambio climático. Este trabajo ha cuantificado las emisiones de los gases de efecto invernadero, detectando cuáles son los principales focos de emisión de los mismos en el Principado. Se trata, así, de un primer paso imprescindible para establecer posteriores estrategias dirigidas a corregir el actual volumen de emisiones. Un paso más en esta dirección sería estudiar con profundidad la situación concreta de los sectores más afectados, sus emisiones, sus posibilidades de reducción de las mismas, el impacto de las medidas correctoras sobre su competitividad y la posibilidad de establecer mecanismos de ayuda o apoyo a los mismos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Argüelles, M; Benavides, C. y Junquera, B. (2006): "The impact of economic activity in Asturias on greenhouse gas emissions: Consequences for environmental policy within the Kyoto Protocol framework", *Journal of Environmental Management*, vol. 81, pp. 249-264.
- Gobierno del Principado de Asturias (2002): *Estrategia de Desarrollo Sostenible del Principado de Asturias. Documento 1. Planteamiento General*, Principado de Asturias, Oviedo.
- IHOBE (Sociedad Pública de Gestión Ambiental) (2002): *Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero en la Comunidad Autónoma del País Vasco (1990-2000)*, Departamento de Ordenación del Territorio y Medio Ambiente del Gobierno Vasco, Bilbao.
- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático) (1992): *Cambio Climático. Evaluación Científica del IPCC*, Centro de Publicaciones del Ministerio de Obras Públicas y Transporte, Madrid.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (1997): *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Reporting Instructions* (vol. 1); *Workbook* (vol. 2); *Reference Manual* (vol. 3), IPCC, Londres.
- Miller, R.E. y Blair, P.D. (1985): *Input-Output Analysis: Foundations and Extensions*, Prentice-Hall, New Jersey.
- Ministerio de Medio Ambiente, grupo de trabajo de la guía metodológica para el desarrollo de inventarios de emisiones (2000): *IV Congreso de Calidad del Aire de España*, Madrid.
- Miranda, B. (2002): "Inventario de emisiones antropogénicas de CO<sub>2</sub> producidas en Asturias durante el periodo 1995-2000", Proyecto fin de Carrera, Ingeniería Química, Universidad de Oviedo.
- Mcgregor, P.G.; Romery, M.; Swales, J.K. y Turner, K.R. (2001): *Attribution of Pollution Generation to Intermediate and Final Demands in a Regional Input-Output System*, RSAI, British and Irish Section Conference, Durham Castle.
- U.S. Environmental Protection Agency (1999): *Inventory of Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-1997*, U.S. Environmental Protection Agency.

## ABSTRACT

Climate change is one of the major worldwide environmental concerns. It is especially the case in many developed countries, where the greenhouse gas emissions responsible for this change are mainly concentrated. In this paper we carry out a study of the emissions of these gases in Asturias, a region with an important economic presence of sectors with intensive emissions of CO<sub>2</sub>, the chief greenhouse gas. To be precise, in the first place, the volumes of direct emissions of the said gases in 2000 were calculated, showing that the main emitters in Asturias are iron and steel and electricity production. Secondly, input-output analysis was applied to determine the direct and indirect emissions and the direct, indirect and induced emissions of the different production sectors.

*Key words:* environment, greenhouse gas, input-output analysis, Kyoto Protocol, Asturias.

