

**LA EMISION DE CO₂ Y SU PROBLEMATICA COMUNITARIA
UN METODO DE ESTIMACION GENERAL**

**Vicente Antón
Andrés de Bustos
Luis Manzanedo
Victoriano Sierra**

**SGPS-D-92007
Julio 1992**

Los análisis, opiniones y conclusiones aquí expuestos son los de los autores, con quien no tiene por qué coincidir, necesariamente, la Dirección General de Planificación. Esta considera, sin embargo, interesante la difusión del trabajo para que los comentarios y críticas que suscite contribuyan a mejorar su calidad.

INDICE

	Página
0. Introducción.....	3
1. Ubicación histórica de la preocupación comunitaria sobre la emisión de CO ₂	5
2. Objetivos Comunitarios sobre el eco-impuesto	10
3. Necesidad de una estimación realista de emisiones de CO ₂	11
4. Método general de estimación de las emisiones de CO ₂	12
4.1. La Tabla Input-Output de la energía de 1985. El modelo aplicado.....	13
4.2. Actualización de los agregados de la TIOE de 1985 y de sus coeficientes técnicos.....	16
4.3. Ajustes de coherencia estructural	18
5. Resultados	19
6. Contrastación empírica	21
ANEXO	24
CUADROS	29
GRAFICOS	33

0. Introducción

Es comúnmente admitido que las emisiones de Dióxido de Carbono (CO_2) constituyen la principal causa del efecto invernadero. Estas emisiones proceden principalmente del consumo de combustibles fósiles. La consideración de que la reducción de las emisiones del CO_2 podría acarrear consecuencias negativas para el desarrollo económico, implicaría que a corto y a medio plazo no existe otra alternativa que la de limitar el consumo creciente de combustibles fósiles, sustituyéndolo por la utilización de otras fuentes energéticas menos contaminantes (energías renovables) y mejorando el rendimiento energético.

Actualmente, no se dispone de tecnologías suficientemente desarrolladas que permitan sustituir el consumo energético total contaminante por otro menos contaminante, por tanto, es necesario llegar a un equilibrio entre la necesaria reducción o estabilización de las emisiones del CO_2 y los efectos negativos que dicha reducción tiene sobre la actividad económica.

En cualquier caso, parece imprescindible conocer de forma desagregada (por ramas de actividad y fuentes de energía) quienes son los causantes de las mencionadas emisiones, así como su presumible evolución temporal para el caso de que no se tomen medidas (tecnológicas, fiscales, etc.) que modifiquen dicha tendencia.

El objeto de este trabajo es proponer una metodología de estimación para las emisiones de CO_2 mediante la tabla input-output de la energía (TIOE) publicada recientemente por el INE y elaborada con metodología comunitaria SEC en su versión energética.

La propuesta metodológica que aquí se realiza se caracteriza, fundamentalmente, por su carácter de homogeneidad, lo cual garantiza la realización de un análisis comparado entre los países miembros de la CE, además de permitir estudiar los impactos energéticos y

económicos que se desprenden de escenarios alternativos ligados a diferentes procesos de sustitución energética.

El documento consta de seis partes, un Anexo, tres Cuadros y diversos gráficos. Las partes 1, 2 y 3 ubican histórica y espacialmente la preocupación comunitaria sobre la emisión de CO₂; y las partes 4, 5 y 6, desarrollan las metodologías aplicadas, así como las fuentes estadísticas e hipótesis utilizadas en el horizonte de estimación hasta 1996.

1. Ubicación histórica de la preocupación comunitaria sobre la emisión de CO₂

El "efecto invernadero" constituye un componente esencial dentro de las interacciones concurrentes en la biocenosis del planeta. No surge como un descubrimiento reciente a pesar de la creciente movilización en parte de la opinión pública. En la década de 1860, John Tyndall ya describía el papel de ciertos gases como "reguladores" de las temperaturas; posteriormente, en 1896 Svante Arrhenius y P.C. Chamberlain, en 1899, llamaban la atención sobre los cambios probables causados por el dióxido de carbono a causa de la combustión del carbón. A comienzos del siglo XX los climatólogos de vanguardia aportaban notables referencias al posterior debate sobre el "efecto invernadero". Pero sólo a partir de 1975 la atención adquirió repercusiones supranacionales, hasta desembocar en la actualidad con una irrupción más generalizada, aunque para muchos con el atractivo de la novedad dialéctica.

Los climatólogos, a raíz de la implantación de la estación meteorológica en la cima de Mauna Loa, en Hawai, comenzaron desde la década de los cincuenta a profundizar en las estimaciones derivadas por la constatación de la concentración creciente de CO₂ en la atmósfera. Ya en 1957, la concentración de CO₂ alcanzaba las 315 partes por millón en volumen (ppm). De los análisis realizados en los troncos de los árboles, los datos sugieren que el despegue en el crecimiento del dióxido de carbono se verifica a partir de 1.850, coincidente con la irrupción de la "Revolución Industrial"; para aquel año las estimaciones realizadas cifraban las concentraciones en 270 p.p.m. En 1990, los valores estimados se disparan a niveles próximos a las 360 p.p.m.

Desde entonces, se estableció una notable discusión sobre los principales causantes del fenómeno: combustión de carbón y aceite y deforestación.

En 1975, Stephen Schneider, del National Center for Atmospheric Research, reajustando las modelizaciones desplegadas por diferentes

grupos de investigadores, resolvió las discrepancias sosteniendo que, al duplicarse las concentraciones de CO_2 , se ocasionaría una subida en las temperaturas globales medias entre $1,5^\circ \text{C}$ y $2,4^\circ \text{C}$. El mismo año, Syukuro Manabe y Richard Wetherald, de la Universidad de Princeton, publicaron los resultados de sus investigaciones, que estimaban, para los mismos supuestos, una elevación del calentamiento medio en torno a los 2°C .

Con Veerhabadrban Ramanathan, el descubrimiento de la absorción por los CFC_s de los rayos infrarrojos, ya expuesto por J. Lovelock en la Conferencia Internacional de Ecología y Toxicología sobre Fluorocarbonos celebrada en Andover en 1973, supuso la incorporación de un nuevo elemento dentro de la discusión sobre el calentamiento global.

A finales de los ochenta, los resultados de las diferentes investigaciones y reuniones internacionales (Villach, Bruselas, Bellagio....) provocarían importantes debates que, a escala política, desembocarían en el ámbito de la CE con la presentación por la Comisión al Consejo de la Comunicación "El problema del efecto invernadero y la Comunidad".

Los estudios auspiciados por la ONU en el marco del IPCC ("Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático") evidenciaron la constatación de un aumento regular de las concentraciones en la atmósfera de los gases causantes del "efecto invernadero" a partir de la aparición de la era industrial.

La contribución relativa de los diferentes gases en el crecimiento del "efecto invernadero", se sitúa en este orden de participación:

	%
Dióxido de carbono	61
Metano	15
CFC_s	11
Dióxido de nitrógeno	4
HCFC_{22}	0,5

Otros (ozono y reacciones químicas indirectas) 8,5

Los aumentos estimados a partir de 1850, se cifran en:

	%
CO ₂	26
Metano	115
Dióxido de nitrógeno	8

La variación anual de las concentraciones registradas en la actualidad se encuentran en torno a:

	%
CO ₂	0,5
Metano	0,9
NO ₂	0,8
CFC _s	4,0

Con estas referencias, la Comisión de las Comunidades Europeas presentaba, en octubre de 1991, la Comunicación: "Una estrategia comunitaria para limitar las emisiones de CO₂ y mejorar la eficiencia energética", invitando al Consejo a tomar postura respecto a la propuesta.

La estrategia se basa en tres bloques de medidas: de carácter específico (I+D, sectoriales, normativas y voluntarias), fiscales y programas nacionales complementarios.

En el ámbito fiscal, la propuesta final se centra en la creación de una tasa sobre las emisiones de CO₂, integrada por dos componentes: uno, energético; y otro, en base a las emisiones de CO₂.

Los respaldos expuestos por la Comisión para adoptar el desarrollo de las estrategias señaladas se apoyan en varios acuerdos y peticiones del Consejo. Esto es:

- Consejo celebrado en junio de 1990 en Dublín, para la adopción de objetivos y estrategias tendentes a limitar las emisiones que afectan al "efecto invernadero"; de las cuales el CO₂ constituye el elemento más importante;
- Consejo de Ministros de Energía y Medio Ambiente, del 29 de octubre de 1990, acordando la estabilización global de las emisiones comunitarias de CO₂ en el año 2000, tomando por referencia los niveles de emisión correspondientes a 1990;
- Consejo conjunto Energía/Medio Ambiente, del 13 de diciembre de 1991, solicitando a la Comisión la presentación de propuestas relativas a la tasa CO₂/Energía, en el marco de la estrategia comunitaria para la limitación de las emisiones de dióxido de carbono;
- Consejo ECOFIN, del 16 de diciembre de 1991, apoyando la creación de una tasa sobre el dióxido de carbono emitido y la energía utilizada, como una de las medidas para contribuir a la estabilización de las emisiones de CO₂.

En el mes de marzo de 1992, la Comisión presentaba un primer proyecto de propuesta de directiva para crear una tasa sobre las emisiones de CO₂ y sobre la energía.

A raíz de la presentación de la estrategia comunitaria, las diferentes delegaciones de los Estados comunitarios discutieron sobre la creación del "eco-impuesto", estableciéndose varios grupos de posiciones y destacando claramente diversas posturas enfrentadas: por un lado, abiertamente a favor de la propuesta de la Comisión: Holanda, Dinamarca y Alemania; y, por otro, en contra de la instauración directa del impuesto (España, Grecia, Portugal, Inglaterra), dado que es difícil aceptar que gravar las emisiones de CO₂ permita diferenciar la responsabilidad de los países en la acumulación de gases en la atmósfera. Según este segundo grupo de países, habría que aplicar tipos impositivos muy distintos para cada país, es decir, habría que gravar

los stocks acumulados en el pasado o las desviaciones con respecto a la media comunitaria de las emisiones de cada país.

Con motivo de las Jornadas de Río de Janeiro, advertida la falta de unanimidad respecto a la propuesta comunitaria, la tasa fiscal presentada en el Consejo de Energía del 21 de mayo de 1992 incorporó una condición para su aplicación, centrada en la asunción equivalente por los países de la OCDE para presionar en los posicionamientos de los demás países en la "Cumbre de Río".

Observando los datos manejados por los servicios de la Comisión, puede destacarse lo siguiente:

- La Comunidad contribuye con el 13% de las emisiones mundiales de CO₂. Los niveles de Estados Unidos se elevan al 23%.
- La estructura media del consumo bruto de energía en la CE difiere sensiblemente de la española. Mientras que el consumo de carbón alcanza el 21%, para el conjunto de la Comunidad, en España se acerca al 23%. En cuanto al de petróleo, en la CE se acerca al 45%, el de España se eleva al 52%.
- El principal aporte relativo de CO₂ por parte española, se encuentra en la producción eléctrica (32,9%) y en transportes (30%), superando la media comunitaria en ambas ramas.
- La emisión de carbono per cápita se halla en 1,4 Tm., mientras que la media comunitaria rebasa el 2,3%.

En base a los datos manejados por el PEN, mediante el uso previsto de combustibles fósiles con finalidad energética, los niveles de emisión de CO₂ calculados para el año 2000 se incrementarían en un 25% cifra que es inferior a la derivada de la metodología aplicada en este trabajo.

2. Objetivos Comunitarios sobre el eco-impuesto

El objetivo básico del impuesto sobre la emisión del CO₂, "Eco-impuesto", es lograr la estabilización de las emisiones totales de CO₂ en el año 2.000 a los niveles registrados durante 1990, en cumplimiento del acuerdo del Consejo Conjunto de Energía/Medio Ambiente adoptado el 29 de Octubre de 1990.

Una característica clave del nuevo impuesto sería su "neutralidad" en lo referente a los "ingresos"; es decir, que no provocase aumento alguno en las contribuciones y gravámenes fijados por la ley.

Esta figura impositiva debería analizarse cuidadosamente para que, al mismo tiempo, se lograra minimizar los efectos económicos negativos sobre la competitividad de las industrias comunitarias y sobre la actividad económica en general, maximizando la disminución de las emisiones del CO₂ y aportando beneficios en otras políticas.

Las fórmulas propuestas parecen centrarse en dos tipos de impuestos: sobre el consumo de energía, que se aplicaría por igual a todas las fuentes energéticas ó, sobre el CO₂, en función del contenido de carbono.

Un impuesto sobre la energía sería más eficaz para fomentar el rendimiento energético, mientras que un impuesto sobre el carbono supondría un incentivo más específico para la reducción de las emisiones de CO₂. Sin embargo, esta segunda opción crearía una presión fiscal, relativamente alta sobre el carbono, que es la fuente de energía más segura, y favorecería a la energía nuclear, que ofrece ventajas en cuanto a la disminución de emisiones de CO₂ pero que presenta sus propios inconvenientes. Por otra parte, la opción de imponer un impuesto sobre el carbono al 100% tendría también una repercusión considerablemente diferente sobre la competitividad industrial en los Estados Miembros, según su estructura energética.

En base a las limitaciones expuestas, la Comisión ha considerado

que la mejor opción sería un impuesto basado en un componente energético y en un componente sujeto al contenido de carbono. El tipo impositivo necesario para alcanzar el objetivo de estabilización comunitario para el año 2000 dependerá, por una parte, de la evolución de un conjunto de variables fundamentales (crecimiento económico, los precios mundiales de la energía y la difusión del progreso técnico) y, por otra parte, de la respuesta de los agentes económicos a las medidas propuestas.

Teniendo en cuenta las diferentes posibilidades que se ofrecen y la necesidad de garantizar la cohesión del mercado interior, la Comisión se ha inclinado, hasta ahora, por la aplicación de un impuesto cifrado en 3 \$ por barril al 1-I-93, con un aumento de un dólar por barril en los años sucesivos hasta el año 2000.

3. Necesidad de una estimación realista de emisiones de CO₂

Uno de los debates que existen en el seno de la Comunidad es el impacto que puede tener este tipo de medidas. Algunos análisis de este paquete de medidas indican que, en la Comunidad en su conjunto, podría darse una ligera disminución de la tasa de crecimiento económico anual (entre 0,05 y 0,1 puntos porcentuales) y un aumento temporal en el índice de inflación (0,3 a 0,5 puntos al año).

En cualquier caso, parece necesario disponer de una estimación de CO₂ para cada país comunitario, desagregada por ramas de actividad o procesos productivos, ajustada a la realidad y homogénea en cuanto a su método de estimación, que permita conocer la estructura comunitaria de emisiones de CO₂ y su tendencia hacia el año 2000.

Lo que aquí se propone es un método general de estimación de CO₂ para los países miembros de la CEE que cumpla las características anteriores. En efecto, todos los miembros comunitarios disponen de tablas input-output de energía (TIOE) con una metodología de elaboración común y enmarcadas en un esquema compatible con las contabilidades nacionales (CN) respectivas.

En España se acaba de publicar la segunda TIOE correspondiente al año 1985, coincidente con la nueva base de CN, la primera correspondiente a la anterior base 1980 y fue publicada en 1986. Ambas han sido cofinanciadas por EUROSTAT dentro del programa de apoyo a la elaboración de estadísticas económicas nacionales.

Partiendo de la fuente estadística común, la TIOE, es posible estimar las Tm de CO₂ emitidas clasificadas por ramas de actividad, así como la estructura energética generadora de emisiones de CO₂.

4. Método general de estimación de las emisiones de CO₂

La Comisión y otras organizaciones supranacionales han realizado distintas estimaciones sobre las emisiones de CO₂ para los países miembros de la Comunidad, sin embargo, los procedimientos han sido globales, con métodos indirectos (con insuficiente desagregación sectorial) y con información heterogénea e incompleta.

El procedimiento que aquí se presenta se basa, fundamentalmente, en el modelo de Leontieff en su versión energética. De forma esquemática, el método de estimación seguido es muy sencillo: se ha partido de las previsiones de crecimiento de las macromagnitudes de la demanda final estimadas en el escenario macroeconómico (programa de convergencia) para el período considerado (1993-1996), y del modelo input-output energético que relaciona las variaciones de los niveles de producción de las distintas ramas de actividad ante las variaciones previstas en la demanda final, utilizando como eje central, la Tabla Input-Output de la Energía de 1985. Los niveles de producción exigidos se obtienen en dos unidades distintas: en el caso de las ramas energéticas (productoras de energía primaria o transformadoras), sus recursos y empleos vienen expresados en unidades energéticas homogéneas (terajulios)¹, mientras que en el resto de las ramas de actividad vienen expresados en precios constantes de 1985.

¹Terajulio: Unidad energética equivalente a 10¹² julios.

Una vez estimadas las producciones que son necesarias para satisfacer los niveles de demanda previstos, se obtienen las emisiones de CO₂ (Tm) asociadas al consumo de cada uno de los tipos de energía, a partir de los coeficientes de transformación Tm de CO₂/terajulio.

Dado que la fecha de referencia de la TIO de la Energía es 1985, ha sido necesaria una actualización de los datos de 1985 a 1989, utilizando como base los datos disponibles de la Serie de Contabilidad Nacional del INE, publicada recientemente, así como otras fuentes de información (Índices de producción industrial, estadísticas energéticas) apropiadas para analizar la variación sufrida en la estructura de producción y consumo energético desde 1985.

El escenario macroeconómico ha proporcionado, únicamente, la senda de evolución de los componentes del PIB durante el período 1993-1996, en términos reales y nominales. Ha sido necesario, por lo tanto, estimar una desagregación de cada uno de los componentes de la demanda en las 56 ramas de actividad que considera la TIOE de 1985.

4.1. La Tabla Input-Output de la energía de 1985. El modelo aplicado

La TIOE es una presentación especializada y adaptada a la energía de la Tabla input-output económica, cuya finalidad es estudiar y cuantificar cómo interviene en el proceso productivo (medido en unidades físicas) el conjunto de la energía utilizada. En el plano metodológico, tiene la misma articulación y sigue los mismos principios generales que la TIO económica, con las adaptaciones necesarias para una mejor presentación de los flujos energéticos.

En esta Tabla, los flujos de las ramas de la energía se expresan no sólo en valor, sino también en unidades energéticas homogéneas (terajulios). Las ramas energéticas consideradas en la TIOE son: Extracción y aglomeración de hulla; Extracción y aglomeración de lignito; Coquerías; Extracción de petróleo; Refino de petróleo; Gas natural; Energía eléctrica; Gas manufacturado; Combustibles nucleares.

Resulta, pues, una matriz de la demanda interindustrial de carácter mixto en valores y cantidades. Se puede demostrar que la denominada matriz de los coeficientes técnicos (matriz A), así como la correspondiente matriz inversa $\text{inv}(I-A)$, guardan la dimensionalidad heterogénea que presenta la matriz original².

Una breve descripción del modelo input-output aplicado ayudará a comprender mejor los resultados obtenidos en la estimación de las emisiones de CO_2 . Para ello acudiremos a una presentación simplificada de los grandes agregados de la Tabla input-Output.

La ecuación de equilibrio fundamental en la economía se verifica entre el total de recursos disponibles y los empleos a los que se destinan éstos. En los recursos se incluyen la producción y las importaciones, mientras que los empleos comprenden la demanda intermedia y la demanda final (consumo privado, consumo público, formación bruta de capital, exportaciones). En forma de ecuaciones, podemos escribir:

$$P = DI + CPr + CPu + FBC + (X-M)$$

- Siendo:
- P = valor de producción
 - DI = demanda interindustrial
 - Cpr = consumo privado interior
 - Cpu = consumo público
 - FBC = formación bruta de capital
 - X = exportaciones
 - M = importaciones

Si hacemos que la demanda final (DF) sea:

$$DF = Cpr + Cpu + FBC + (X-M)$$

$$P = DI + DF \quad (1)$$

²Ver Anexo.

En forma matricial, P, DI y DF serán vectores columna de dimension (56*1), ya que la TIO se desagrega en 56 ramas de actividad.

Si consideramos la matriz X de la demanda interindustrial, de dimension (56*56), el i-ésimo elemento del vector -DI- de la demanda intermedia se define como la suma de los elementos de la i-ésima fila de la matriz X. Por consiguiente, esto se puede expresar de la siguiente manera:

$$DI = X * U$$

Donde U es el vector unidad, y la ecuación (1) quedaría:

$$P = X * U + DF \quad (2)$$

Los elementos de la matriz A (56*56) de coeficientes técnicos se definen como el cociente de cada elemento de una columna cualquiera de la matriz X y la producción correspondiente a esa rama de actividad (elemento del vector P).

La relación entre la matrices X y A viene dada por:

$$X = A * P^*$$

Siendo P* la matriz diagonal cuyos elementos son todos nulos, excepto los de la diagonal principal que son los correspondientes al vector P de la producción.

Realizando las correspondientes operaciones, llegaríamos al ya conocido modelo de Leontieff:

$$P = \text{inv}(I-A) * DF \quad (3)$$

donde I es la matriz identidad.

La expresión (3) nos permite relacionar la demanda final estimada con los niveles de producción que es necesario lograr para satisfacerla.

4.2. Actualización de los agregados de la TIOE de 1985 y de sus coeficientes técnicos

La aplicación del modelo descrito en el apartado anterior, implica obtener previamente una estimación desagregada por ramas de actividad de la demanda final que proporciona el escenario macroeconómico y presupuestario, pero de forma globalizada.

Por otra parte, al considerar la evolución de los agregados de la demanda final a precios constantes de 1985, se elimina el efecto de perturbación que sobre los coeficientes técnicos tendrían la evolución de los precios. Sin embargo, los cambios en dichos coeficientes generados por modificaciones tecnológicas no quedarían recogidas si utilizásemos la matriz A, correspondiente a 1985, sin ningún tipo de actualización.

Las soluciones aportadas en este trabajo han pretendido contemplar estos dos tipos de problemas conjuntamente con las limitaciones lógicas derivadas de la ausencia parcial de información.

La información estadístico-económica existente relativa a la desagregación de la demanda final y a la variación de los coeficientes técnicos, específicamente los energéticos, la proporcionan la Contabilidad Nacional de España y las estadísticas energéticas, del Ministerio de Industria, Energía Comercio y Turismo. Los últimos datos se refieren a 1989 con el mínimo nivel de desagregación necesaria; en consecuencia, se ha optado por elegir este año como la última base de actualización. Así, a partir de 1989, se asumirá que no existen variaciones significativas ni en la estructura de la demanda final ni en los coeficientes técnicos energéticos y no energéticos.

Dentro de la demanda final, la desagregación del consumo privado para el año 1989 se ha obtenido a partir de la evolución del consumo privado desagregado por funciones (PROCOME) de la CNE, con un suficiente grado de desagregación hasta 1988 y con un grado menor para 1989. En relación al Consumo Público, no han existido especiales dificultades al estar localizado en sólo tres ramas de actividad.

La formación bruta de capital fijo se ha estimado a partir de la evolución de los doce grupos de productos que proporciona la CNE. Sin embargo, por lo que se refiere a la variación de existencias, tan sólo se ha dispuesto de su evolución globalizada.

En el caso de las importaciones (al igual que para las exportaciones), la información desagregada sobre su evolución a precios constantes es muy escasa, limitándose a un reducido número de grandes agrupaciones. En definitiva, ha sido necesario acudir a la variación en términos nominales (Dirección General de Aduanas), asumiendo que es un indicador "proxy" de la variación estructural.

En relación a las modificaciones tecnológicas de carácter energético y de mercado acaecidas en el período 1985-1989, las más sobresalientes son las relacionadas con la energía eléctrica y con el gas natural.

Respecto a la energía eléctrica, es suficientemente ilustrativo señalar que la producción de origen nuclear se duplicó en el período 1985-89 (medida en MWH), mientras que el total de la energía eléctrica producida crecía sólo un 16%. Por otra parte, conviene recordar el comportamiento errático de la producción de energía eléctrica de origen térmico clásico (y por lo tanto, del consumo de combustibles asociado), dada su dependencia del año hidráulico. Al actualizar los coeficientes técnicos energéticos en esta rama se ha intentado reflejar estos dos hechos, teniendo presente que la producción de electricidad de origen nuclear permanecerá estabilizada en el período considerado, al no estar previsto que entre en funcionamiento ninguna nueva central de este tipo.

En el caso del gas natural, el crecimiento de su consumo en dicho período se cifra en más del 85%, siendo significativa su implantación en la práctica totalidad de los sectores de la economía. En este caso, el incremento de sus coeficientes técnicos por fila se ha realizado a costa de una minoración similar en los correspondientes a los productos del refino, reflejando así un proceso de sustitución de productos derivados del petróleo por gas natural.

4.3. Ajustes de coherencia estructural

Una vez determinados los distintos componentes de la demanda final, compatibles con la desagregación sectorial de la TIOE para el período 1985-1989, se realizó un primer contraste de coherencia, que podría calificarse de estructural.

El vector de producción para el mencionado período 1985-1989, podría obtenerse, por un lado, a partir de la desagregación sectorizada de la demanda final (estimada en la fase previa), mediante la ecuación [3]:

$$P = \text{inv}(I-A) DF$$

Y, por otro, podría estimarse por la vía de la oferta. Es decir, utilizando la contabilidad nacional y las estadísticas de producción (CNE, estadísticas energéticas, Encuesta Industrial e Índices de Producción Industrial) y asumiendo que el coeficiente técnico global de producción (valor añadido bruto/valor de producción) no ha sufrido variaciones significativas en el período 1985-1989.

Comparando ambos vectores de producción, se observó que eran necesarias algunas reestimaciones en la desagregación sectorial de la demanda final, al mismo tiempo que habría que modificar algunos coeficientes técnicos, especialmente energéticos.

Una vez realizados los ajustes necesarios en la matriz A correspondiente a 1989, se extrapoló la estructura sectorial de la

demanda final, manteniendo constante la estructura tecnológica, al horizonte 1990-1996.

En realidad, el año 1989 puede considerarse, en el contexto de este trabajo, como el año base de la investigación.

5. Resultados

Como se exponía al principio, la aplicación de los elementos de la matriz A de coeficientes técnicos relativos a las ramas energéticas a las producciones estimadas por el modelo, permite obtener la cantidad de energía consumida (en terajulios) en el proceso productivo (demanda intermedia) y en la demanda final.

Un paso previo a la transformación en T_m de CO_2 de esta energía lo constituye el análisis del destino que se le da a esos productos energéticos. Es decir, no toda la energía producida es objeto de emisión de CO_2 . Por ejemplo, el gas natural puede ser utilizado como combustible para la generación de energía eléctrica o bien ser utilizado para la síntesis química, o los productos energéticos destinados a la exportación no suponen ninguna emisión de CO_2 . De forma similar, existen determinados productos derivados del petróleo (asfaltos, betunes, lubricantes, etc.) cuyo uso no se traduce en emisión de CO_2 . En estos casos, se ha supuesto que el empleo de estos productos energéticos no se traducen en emisiones de CO_2 .

Los resultados obtenidos, agrupados en 17 ramas de actividad se presentan en los cuadros 1, 2 y 3.

El Gráfico 1 asocia la emisión de CO_2 prevista en el período considerado a los productos energéticos que la originan. El CO_2 debido a la utilización de los combustibles sólidos (hulla, antracita, lignito, coque) pierde dos puntos (38,7 - 36,6) con relación a la emisión global de CO_2 que, de forma paralela, incrementan la participación de los productos derivados del petróleo (56,3 - 58,9), mientras que los otros dos productos considerados, gas natural y gas manufactu-

rado, pierden también peso específico en sus niveles, considerablemente menores que los de los dos productos anteriores.

En los Gráficos 2, 3, 4 y 5 se muestra la evolución de la emisión de CO₂ para cada producto energético, distinguiendo si su uso se destina a la satisfacción de las necesidades del consumidor final (consumo privado) o a la producción de otros bienes y servicios (demanda intermedia).

Debido a la poca importancia relativa del consumo privado, el Gráfico 2 muestra una evolución similar en la emisión total de CO₂ debida a los combustibles sólidos y en la demanda intermedia. En el modelo, se ha supuesto un nivel estable de consumo final y, dentro de la demanda intermedia, su consumo se encuentra íntimamente ligado a la producción de la siderurgia y, sobre todo, a la producción de energía eléctrica. Respecto a esta última actividad cabe destacar que, dado que no está prevista la entrada en funcionamiento de ninguna nueva central nuclear, los futuros incrementos en la demanda de energía eléctrica habrán de satisfacerse recurriendo a la energía termoeléctrica clásica (carbón, fuel oil) o, en menor medida, a las importaciones. Por otra parte, la hipótesis de estabilidad de los coeficientes técnicos de 1989 impide que se refleje la progresiva implantación del gas natural, prevista en el PEN 1990-2000, en la producción de energía eléctrica.

Aparte de su mayor importancia en términos absolutos, los productos derivados del petróleo presentan las mayores tasas de crecimiento previstas (33,8%) en el período. Destaca el fuerte impulso proporcionado por el sector hogares (53%) y, dentro de la demanda intermedia, por el sector transportes, debido a la inexistencia de combustibles alternativos para satisfacer la demanda de la función transporte. No obstante, en la actualización de los coeficientes técnicos de 1989 se ha reflejado un proceso de sustitución de fuel oil por gas natural en determinados procesos productivos.

Los Gráficos 4 y 5, dedicados al gas natural y al gas manufacturado muestran, en lo que se refiere al consumo privado, un comporta-

miento diametralmente opuesto, reflejo de la progresiva sustitución del gas manufacturado por gas natural en los hogares. Las tasas ligeramente crecientes de aquél en la demanda intermedia son debidas a la producción de gases (gas de coquerías y gas de altos hornos) en otros sectores productivos, consumidos principalmente en la generación de energía eléctrica. En la demanda de gas natural por los sectores productivos, la necesidad de mantener estables los coeficientes técnicos de 1989 impide constatar su creciente implantación en la estructura productiva, esencialmente en lugar de productos derivados del petróleo.

6. Contrastación empírica

Es necesario destacar que los resultados se han contrastado con los derivados del PEN (Plan Energético Nacional) para el año 1990. En términos generales, los resultados son positivos, no existiendo diferencias significativas en la estructura de la emisión de CO₂ por grandes ramas de actividad, aunque no ocurra así en la estimación de los niveles del dióxido de carbono. Así, para 1990, la estimación de emisiones de CO₂ que de este trabajo se obtiene supera a la presentada en el PEN en un 13%.

CONTRASTE DE RESULTADOS CON EL PEN. AÑO 1990

SECTORES	mill. Tm MODELO I-O	mill.TM P.E.N	% MODELO I-O	% P.E.N
Industria	46.105	45.642	18,6	20,9
Transporte	73.730	67.063	29,8	30,8
Primario, domés. y terc.	36.477	25.356	14,7	11,6
Sectores transformadores	91.423	79.939	36,9	36,7
T O T A L	247.735	218.000	100,0	100,0

Nota. Con el fin de poder garantizar la comparabilidad entre ambas estimaciones (modelo I-O y PEN), se han agrupado los resultados del modelo I-O de la siguiente forma:

- Industria: comprende las ramas 03 a 12 (mirar cuadro 1)
- Primario doméstico y terciario: comprende las ramas 01, 13, 15, 16, 17 y el consumo privado
- Sectores transformadores: rama 02
- Transporte: la rama 14 más los consumos derivados del transporte por cuenta propia en el resto de las ramas de actividad y en el consumo privado.

La razón para este tratamiento especial es la distinta clasificación "Transportes" utilizada por el PEN y por la TIOE. En efecto, en el PEN, esta función recoge todo el consumo de combustibles realizado en el transporte, mientras que en la clasificación seguida en la TIOE, las ramas de los transportes agrupa, tan sólo, los realizados por cuenta ajena. En consecuencia, la comparabilidad es posible si al total de gasolinas y gasóleos consumidos por esta rama se añade lo consumido por el resto de las ramas, efectuado en régimen de cuenta propia, más la parte del consumo privado correspondiente.

Consideramos, sin embargo, que nuestras estimaciones tienen, en cualquier caso, más garantías estadísticas que las proporcionadas en el PEN, aunque las diferencias deben considerarse no excesivamente importantes.

Las razones de esta apreciación se basan en la importancia del marco donde se han realizado las estimaciones:

- Estimación realizada en el contexto de la Tabla input-output de la energía.
- Actualización de coeficientes técnicos, especialmente, en aquellas energías cuya estructura han evolucionado de manera más importante desde 1985 (Gas Natural y Energía Eléctrica).

A partir de esta metodología general, se abre todo un conjunto de explotaciones energéticas que pueden permitir la realización de análisis de tipo económico-energético sobre planificación energética, dependencia energética, modificaciones en la estructura del consumo de energía tendentes a la sustitución de energías clásicas por otras menos contaminantes, etc.

Por último, conviene destacar que este método permite una actualización permanente de las estimaciones, en la medida que las fuentes de información vayan mejorando y contrastando las hipótesis y en que la disponibilidad de los datos actualizados vayan retroalimentando el proceso de estimación.

ANEXO

ANEXOLA MATRIZ INVERSA DE LEONTIEFF EN LA TIOE

Dada la naturaleza mixta (cantidades y valores) de la TIO de la energía, se plantea el problema de si la matriz $\text{inv}(I-A)$ guarda la dimensionalidad necesaria para que su aplicación a la matriz DF nos proporcione el vector P de la producción en las unidades requeridas.

Para ello, consideramos la matriz A de coeficientes técnicos como una matriz particionada en la forma:

$$A = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix}$$

donde A_{11} , de dimensión 9×9 , sería la submatriz cuadrada compuesta por las nueve primeras filas y columnas de la matriz A correspondientes a las ramas energéticas y, por tanto, su medida será $TJ/TJ = S$, donde S representa un escalar y TJ las unidades energéticas (terajulios).

La matriz A_{12} (9×47) corresponde al cruce de las ramas energéticas con las no energéticas y sus unidades serán TJ/V , donde V representa las unidades en valor.

La matriz A_{21} (47×9) representa por filas las ramas no energéticas y por columnas las ramas energéticas. Sus elementos vendrían expresados en V/TJ .

Por último, la matriz A_{22} (47×47) corresponde al cruce de las ramas no energéticas y sus unidades $V/V = S$ serían escalares.

Teniendo en cuenta lo anterior se demostrará que la matriz inversa de Leontieff $-\text{inv}(I-A)-$ conserva la dimensionalidad de la matriz A, pudiéndose particionar análogamente a la matriz A. Para

simplificar la notación, sea:

$$I-A = D = \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} \\ D_{21} & D_{22} \end{bmatrix}$$

Según la inversa de una matriz particionada

$$D^{-1} = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} \\ K_{21} & K_{22} \end{bmatrix}$$

donde:

$$K_{11} = D_{11}^{-1} + D_{11}^{-1} D_{12} G D_{21} D_{11}^{-1}$$

$$K_{12} = -D_{11}^{-1} D_{12} G$$

$$K_{21} = -GD_{21} D_{11}^{-1}$$

$$K_{22} = G$$

con

$$G = (D_{22} - D_{21} D_{11}^{-1} D_{12})^{-1}$$

Veamos las unidades de medida de cada una de las submatrices:

$$K_{22} = (S - \frac{V}{TJ} S \frac{TJ}{V})^{-1} = (S)^{-1} = S$$

$$K_{21} = (S \frac{V}{TJ} S^{-1}) = \frac{V}{TJ}$$

$$K_{12} = (S^{-1} \frac{TJ}{V} S) = \frac{TJ}{V}$$

$$K_{11} = S^{-1} + S^{-1} \frac{TJ}{V} S \frac{V}{TJ} S^{-1} = S$$

Por tanto, queda demostrado que las unidades de medida en que viene expresada la matriz de coeficientes técnicos A, se conserva en la matriz inversa asociada al modelo de Leontieff

Sea

$$DF = \begin{bmatrix} DF_1 \\ DF_2 \end{bmatrix}$$

donde DF_1 es el vector asociado a la demanda final energética expresado en TJ y DF_2 el resto de la demanda final expresado en valor.

De forma similar

$$P = \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \end{bmatrix}$$

donde P_1 representa la producción de las ramas energéticas (en TJ) y P_2 el resto de la producción expresado en valor. El producto

$$(I-A)^{-1} DF = \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \end{bmatrix}$$

donde

$$P_1 = D_{11} DF_1 + D_{12} DF_2$$

$$P_2 = D_{21} DF_1 + D_{22} DF_2$$

y las unidades asociadas serían, respectivamente

$$P_1 = S \quad TJ + \frac{TJ}{V} \quad V = TJ$$

$$P_2 = \frac{V}{TJ} \quad TJ + SV = V + V = V$$

CUADROS

CUADRO 1: EMISIONES DE CO2, POR 17 RAMAS DE ACTIVIDAD

Unidad: Tm CO2

RAMAS R.17	1.985	1.989	1.990	1.991	1.992	1.993	1.994	1.995	1.996
01 Agric. y pesca	8.075.854	8.712.225	8.729.011	8.759.126	8.824.065	8.928.303	9.043.067	9.144.936	9.210.115
02 Prod. energéticos	80.455.780	88.963.664	91.902.353	93.187.365	95.632.589	99.072.955	102.745.641	106.556.413	110.274.478
03 Min. y met. Fe y no Fe	14.068.890	14.183.480	14.262.958	13.994.276	14.107.998	14.508.209	15.033.996	15.463.129	15.974.385
04 Min. no met.;pr.deriv.	9.409.357	10.854.515	11.180.127	11.211.125	11.344.030	11.664.531	12.030.479	12.362.670	12.693.818
05 Productos químicos	9.470.824	9.639.458	9.777.636	9.683.363	9.757.020	9.904.663	10.073.711	10.260.783	10.449.006
06 Prod. met., maquin.	1.817.376	1.957.921	2.014.475	2.002.234	2.031.418	2.110.804	2.193.173	2.271.924	2.355.216
07 Material de transp.	519.774	597.560	624.493	610.894	638.036	684.211	732.411	784.526	837.345
08 Alm., beb. y tabac.	4.688.613	4.904.566	4.932.196	4.976.663	5.040.436	5.119.558	5.198.900	5.272.233	5.329.394
09 Textil, vest., y calz.	1.682.731	1.638.197	1.659.912	1.670.220	1.685.479	1.714.156	1.753.687	1.800.796	1.844.389
10 Papel, impresión	1.921.239	2.058.061	2.098.460	2.094.037	2.110.693	2.156.662	2.206.579	2.252.999	2.304.675
11 Prod. industr. divers.	858.458	941.091	961.832	959.846	972.134	1.003.524	1.034.658	1.065.441	1.096.851
12 Construcción	1.986.984	2.892.728	3.030.926	3.074.170	3.140.934	3.264.500	3.382.986	3.493.146	3.599.084
13 Rec. y rep., comer., host.	9.555.651	11.385.754	11.835.785	12.209.897	12.608.958	13.044.250	13.497.344	13.990.695	14.464.730
14 Transport. y comunic.	23.603.790	26.682.012	27.638.585	28.579.792	30.105.310	32.017.491	34.080.598	36.189.912	38.499.868
15 Crédito y seguros	294.211	328.133	337.093	339.972	347.835	360.126	372.546	385.874	399.439
16 Otros serv. no venta	4.369.624	5.142.507	5.303.722	5.397.749	5.538.063	5.731.621	5.933.185	6.145.381	6.356.208
17 Servicios no venta	4.010.483	5.092.494	5.310.617	5.513.269	5.701.582	5.797.987	5.921.965	6.048.674	6.176.762
TOTAL DEMANDA INTERMEDIA	176.789.639	195.974.367	201.600.181	204.263.998	209.586.580	217.083.551	225.234.925	233.489.531	241.865.764
CONSUMO PRIVADO	34.101.252	43.063.972	46.134.549	48.708.961	50.733.268	53.376.686	56.420.222	59.953.488	63.634.475
TOTAL	210.890.891	239.038.339	247.734.730	252.972.959	260.319.848	270.460.237	281.655.147	293.443.019	305.500.239

CUADRO 2: IMPORTANCIA RELATIVA DE CADA SECTOR EN LA EMISION DE CO2

RAMAS R.17	1.985	1.989	1.990	1.991	1.992	1.993	1.994	1.995	1.996
01 Agric. y pesca	3,8	3,6	3,5	3,5	3,4	3,3	3,2	3,1	3,0
02 Prod. energéticos	38,2	37,2	37,1	36,8	36,7	36,6	36,5	36,3	36,1
03 Min. y met. Fe y no Fe	6,7	5,9	5,8	5,5	5,4	5,4	5,3	5,3	5,2
04 Min. no met.;pr.deriv.	4,5	4,5	4,5	4,4	4,4	4,3	4,3	4,2	4,2
05 Productos químicos	4,5	4,0	3,9	3,8	3,7	3,7	3,6	3,5	3,4
06 Prod. met., maquin.	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
07 Material de transp.	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3
08 Alim., beb. y tabac.	2,2	2,1	2,0	2,0	1,9	1,9	1,8	1,8	1,7
09 Textil, vest., y calz.	0,8	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
10 Papel, impresión	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
11 Prod. industr. divers.	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
12 Construcción	0,9	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
13 Rec.y rep.,comer.,host.	4,5	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,7
14 Transport. y comunic.	11,2	11,2	11,2	11,3	11,6	11,8	12,1	12,3	12,6
15 Crédito y seguros	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
16 Otros serv. no venta	2,1	2,2	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
17 Servicios no venta	1,9	2,1	2,1	2,2	2,2	2,1	2,1	2,1	2,0
TOTAL DEMANDA INTERMEDIA	83,8	82,0	81,4	80,7	80,5	80,3	80,0	79,6	79,2
CONSUMO PRIVADO	16,2	18,0	18,6	19,3	19,5	19,7	20,0	20,4	20,8
TOTAL	100,0								

CUADRO 3: EVOLUCIÓN 1.989 = 100 DE LAS EMISIONES DE CO2

RAMAS R.17	1.989	1.990	1.991	1.992	1.993	1.994	1.995	1.996
01 Agric. y pesca	100,0	100,2	100,5	101,3	102,5	103,8	105,0	105,7
02 Prod. energéticos	100,0	103,3	104,7	107,5	111,4	115,5	119,8	124,0
03 Min. y met. Fe y no Fe	100,0	100,6	98,7	99,5	102,3	106,0	109,0	112,6
04 Min. no met.;pr.deriv.	100,0	103,0	103,3	104,5	107,5	110,8	113,9	116,9
05 Productos químicos	100,0	101,4	100,5	101,2	102,8	104,5	106,4	108,4
06 Prod. met., maquin.	100,0	102,9	102,3	103,8	107,8	112,0	116,0	120,3
07 Material de transp.	100,0	104,5	102,2	106,8	114,5	122,6	131,3	140,1
08 Alim., beb. y tabac.	100,0	100,6	101,5	102,8	104,4	106,0	107,5	108,7
09 Textil, vest., y calz.	100,0	101,3	102,0	102,9	104,6	107,0	109,9	112,6
10 Papel, impresión	100,0	102,0	101,7	102,6	104,8	107,2	109,5	112,0
11 Prod. industr. divers.	100,0	102,2	102,0	103,3	106,6	109,9	113,2	116,6
12 Construcción	100,0	104,8	106,3	108,6	112,9	116,9	120,8	124,4
13 Rec.y rep.,comer.,host.	100,0	104,0	107,2	110,7	114,6	118,5	122,9	127,0
14 Transport. y comunic.	100,0	103,6	107,1	112,8	120,0	127,7	135,6	144,3
15 Crédito y seguros	100,0	102,7	103,6	106,0	109,8	113,5	117,6	121,7
16 Otros serv. no venta	100,0	103,1	105,0	107,7	111,5	115,4	119,5	123,6
17 Servicios no venta	100,0	104,3	108,3	112,0	113,9	116,3	118,8	121,3
TOTAL DEMANDA INTERMEDIA	100,0	102,9	104,2	106,9	110,8	114,9	119,1	123,4
CONSUMO PRIVADO	100,0	107,1	113,1	117,8	123,9	131,0	139,2	147,8
TOTAL	100,0	103,6	105,8	108,9	113,1	117,8	122,8	127,8

GRAFICOS

EMISION TOTAL DE CO2, POR PRODUCTOS

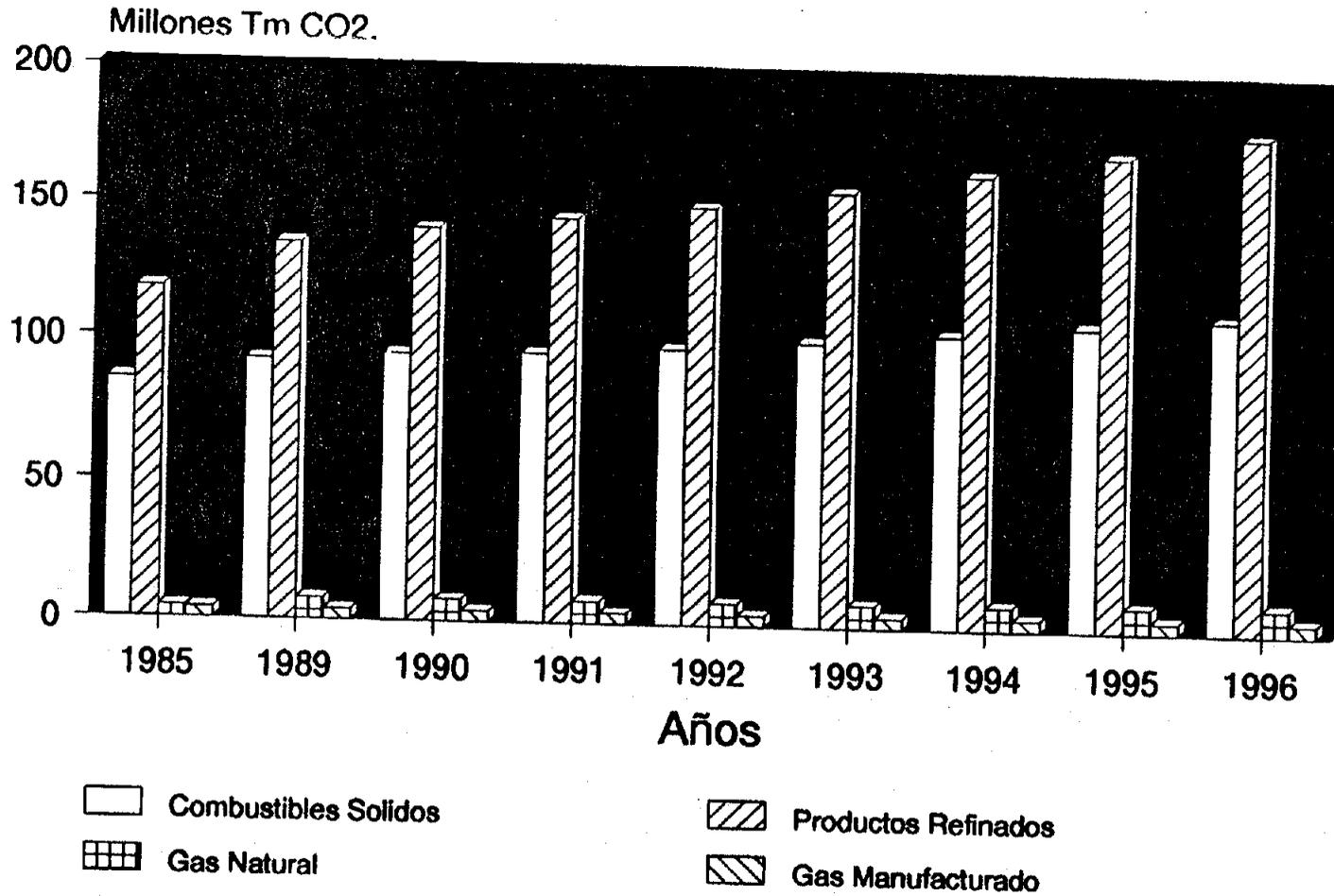


Grafico 1

EMISION DE CO2 DEBIDA A LOS COMB.SOLIDOS (Evolución 1989 = 100)

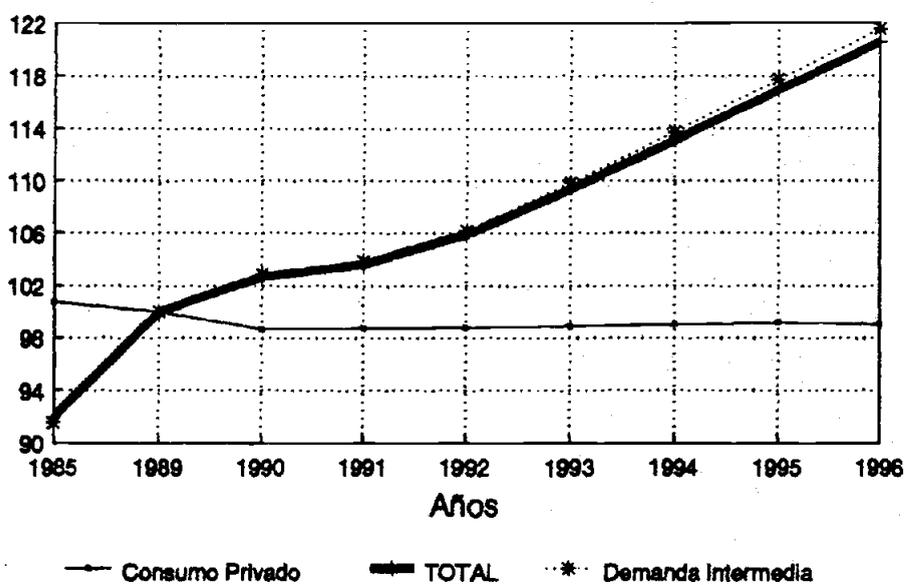


Grafico 2

EMISION DE CO2 DEBIDA A PROD. REFINADOS (Evolución 1989 = 100)

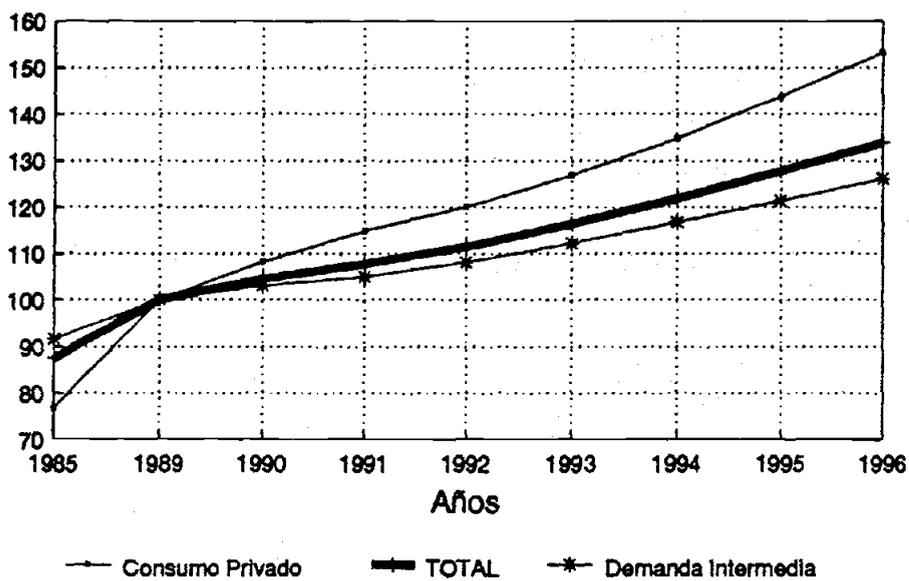


Grafico 3

EMISION DE CO2 DEBIDA AL GAS NATURAL (Evolución 1989 = 100)

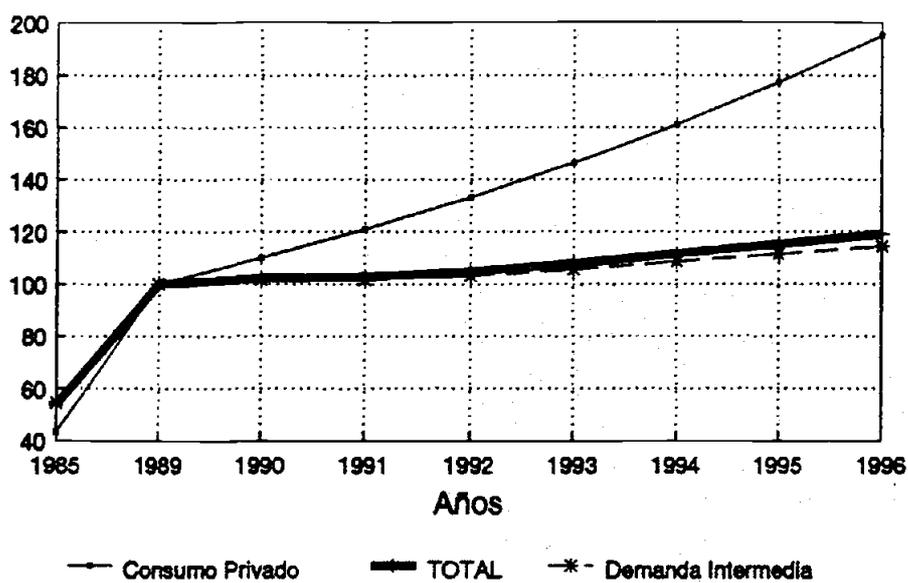


Grafico 4

EMISION DE CO2 DEBIDA AL GAS MANUF. (Evolución 1989 = 100)

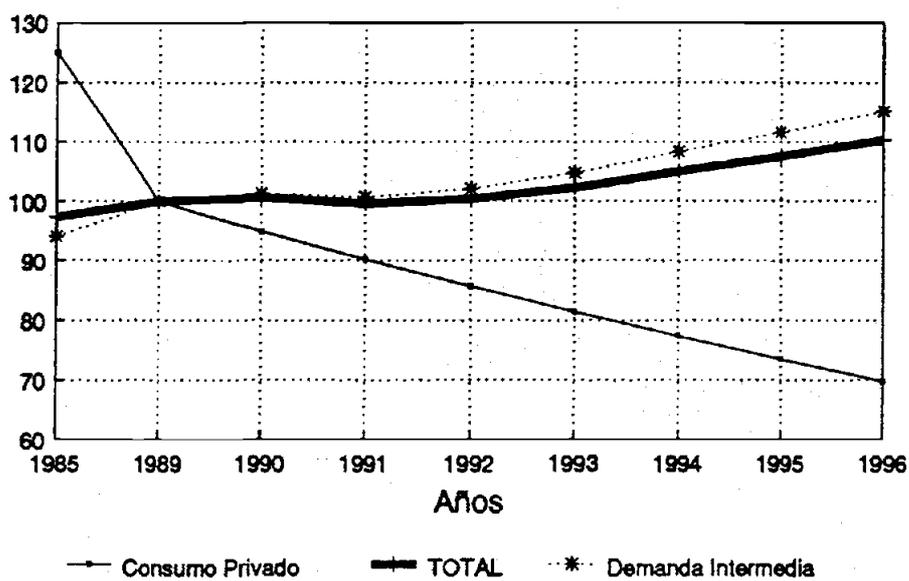


Grafico 5