

# ESTIMACIÓN DE LOS COSTOS RELATIVOS DE LAS EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN LAS RAMAS DE LA ECONOMÍA MEXICANA\*

*Pablo Ruiz Nápoles\*\**

## RESUMEN

En este artículo se analiza mediante la matriz de insumo-producto de México, de 2003, las consecuencias de las emisiones de gases de efecto invernadero en precios y cantidades de la producción de cada una de las ramas económicas que la integran. Estas emisiones son vistas como externalidades negativas asociadas a la actividad productiva. El estudio comprende el cálculo de emisiones de gases contaminantes por rama, la estimación del costo, en cantidad y en valor, de la emisión de estos gases y la identificación de sectores estratégicos en la estructura actual de la economía. La conclusión es que las ramas del sector energético, y las que están muy vinculadas a él, son las que más contaminan y resultan importantes por su efecto en las demás. Estas ramas requieren supervisión para incrementar su eficiencia y reducir las emisiones de gases contaminantes, en tanto se desarrollan y adoptan tecnologías limpias para producir energía.

\* *Palabras clave:* insumo-producto, ramas, gases, externalidades, mitigación. *Clasificación JEL:* C67, D62, Q54. Artículo recibido el 28 de agosto de 2009 y aceptado el 14 de julio de 2010. El autor agradece a Martín Puchet, Valentín Solís, Alejandrina Martínez, Anjanette Zebadúa, Adán Alvarado y Andrés García su valiosa asesoría y colaboración en este estudio. Cabe señalar que cualquier error es responsabilidad exclusiva del autor.

\*\* Facultad de Economía, Universidad Nacional Autónoma de México (correo electrónico: ruizna@servidor.unam.mx).

## ABSTRACT

This is an assessment of the impact of greenhouse gas emissions on prices and quantities of production of the various industries that make up the 2003 input-output matrix of the Mexican economy. These emissions are seen as negative externalities associated to each industry's productive activity. The study includes the calculation of gas emissions by industry, the estimation of the relative costs of these gas emissions and the identification of "key sectors". The essential conclusion is that the key sectors of the Mexican economy are those of energy power production and others closely related to it; all these sectors are also the most polluting ones. In order to reduce gas emissions, it is required to strongly supervise their activities and find ways to produce a technology change so as to make them more efficient, meanwhile new clean technologies are set in operation to develop products substitutes.

## INTRODUCCIÓN

El cambio climático significa, por sus efectos adversos para la economía, una externalidad negativa. Por su magnitud y alcance global esta externalidad negativa es la mayor que enfrentan en la actualidad todas las economías del mundo, cualesquiera que sean su grado de desarrollo, ubicación geográfica y actividad productiva individuales.

El fenómeno, consecuencia del aumento de la concentración de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, provoca un aumento gradual de la temperatura del planeta y cambios en las pautas de precipitación pluvial. Aunque esta tendencia ha sido plenamente verificada, existe cierto grado de incertidumbre respecto a la magnitud y velocidad de estos cambios a escala regional. No obstante, con base en los conocimientos actuales es posible identificar las relaciones que se establecen entre las fuentes de emisión de gases de efecto invernadero, las emisiones y el calentamiento global, y las consecuencias climáticas. Esto permite predecir panoramas futuros que son la base para evaluar e identificar, desde el punto de vista económico, las posibles consecuencias del cambio climático y las opciones para la aplicación de políticas de mitigación y adaptación para enfrentar el problema.

En general, las opciones de mitigación están asociadas a la reducción del consumo de carbono. Es por ello necesario atender a los factores que originan este consumo. Los principales son: el crecimiento de la población, la urbanización, el incremento de la producción y el consumo, la estructura

productiva y las tendencias de eficiencia energética y de innovación tecnológica. Todos estos factores están relacionados, de una manera o de otra, con la actividad económica.

Los panoramas de mitigación requieren para su elaboración identificar las ramas económicas que directa o indirectamente generan la emisión de GEI y que, en consecuencia, se constituyen en los sectores clave por atender para reducir dichas emisiones. Los costos efectivos de las medidas de mitigación dependen, desde luego, de diferentes circunstancias locales, por ejemplo del modo específico de crecimiento económico y la incorporación, o falta de ella, de los desarrollos científicos y tecnológicos disponibles que reduzcan la emisión de GEI. Además, los efectos de la mitigación del cambio climático se distribuyen de manera desigual entre los sectores y dependen de la intensidad en el uso del carbono en las distintas ramas. En suma, los costos económicos de mitigación del cambio climático dependen, fundamentalmente, de las características en la intensidad energética de los diferentes sectores y ramas de la economía, asociada a las características tecnológicas de cada rama y sector.

El propósito de este estudio es evaluar por medio de la matriz de insumo-producto de México (que representa la estructura económica del país en un año dado) el efecto en los precios y en las cantidades de la producción de cada una de las ramas económicas que la integran, de las emisiones de GEI como externalidades negativas asociadas a su actividad. De esta manera es posible inferir el costo que tiene la reducción o eliminación de las emisiones de GEI en el conjunto de la economía y en cada una de sus ramas. Es decir, el costo asociado a la aplicación de políticas de mitigación, como se entiende en la terminología del Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

El artículo está dividido en tres secciones. En la primera se mide las emisiones de GEI por rama económica y se identifican las que son consideradas como intensivas. En la segunda se mide los efectos negativos en cantidad y en costos de la emisión de GEI en la producción de cada una de las ramas. Por último, en la tercera sección se intenta, por técnicas diversas, identificar las ramas que pueden llamarse clave o estratégicas en la estructura economía mexicana actual, representada en la matriz de insumo-producto.

En el caso que nos ocupa el instrumento de análisis es la matriz de insumo producto de México (MIP) del año 2003 (INEGI, 2008). Ésta incorpora algunos cambios en la metodología, respecto a las anteriores matrices, que conviene tener presentes. El primero es la adopción de una nueva clasifica-

ción denominada Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (INEGI, 2002) en sustitución del anterior Sistema de Cuentas Nacionales de México, basado en la Clasificación Industrial Internacional Única (CIIU). Una consecuencia de lo anterior, es que la actual MIP tiene dos presentaciones por nivel de agregación: 20 sectores y 79 subsectores o ramas. Estas últimas son diferentes en número y contenido a las 73 ramas de la clasificación anterior. Otro cambio es que la matriz es ahora definida con una doble acepción: primero, a aquella que incluye la operación de las empresas maquiladoras<sup>1</sup> se le llama matriz de la economía total, y a la que la no la incluye, matriz de la economía interna; en segundo lugar, se denomina a la matriz como total, cuando incluye importaciones e interna cuando no las incluye. En este trabajo se utilizó solamente la matriz total de la economía total, es decir, la matriz que incluye tanto importaciones como maquiladoras.

## I. IDENTIFICACIÓN DE RAMAS EMISORAS PRINCIPALES DE GEI

La identificación de ramas contaminantes, en este caso las emisoras principales de GEI, es fundamental para estimar los costos de la contaminación de acuerdo con los distintos modelos de insumo-producto al respecto (véase, por ejemplo, Leontief, 1970; Aroche, 2000; Lenzen *et al*, 2004; Munksgaard *et al*, 2005).

### 1. Estimación de emisiones para las ramas de la MIP 2003

Para determinar la emisión de GEI, en unidades de CO<sub>2</sub> equivalente, de cada una de las 79 ramas de la MIP de 2003, partimos de la información del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero del Instituto Nacional de Ecología (Semarnat, 2006). Las emisiones de GEI se expresan en gigagramos de bióxido de carbono equivalente (Gg CO<sub>2</sub> eq.), obtenidas al considerar las emisiones de seis gases: bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>). Los primeros tres gases representaron en conjunto 99% de las emisiones y los últimos tres el 1%, en 2002.

La información de estas emisiones aparece clasificada en seis fuentes, de

<sup>1</sup> Se denomina como maquiladora a la planta de origen extranjero que se instala en el país para el ensamble de artículos que se venden fuera del territorio nacional, cuyos insumos son todos, o casi todos, importados.

acuerdo con la metodología propuesta por el IPCC que son, en orden de importancia en la emisión: energía, procesos industriales, solventes, agricultura, uso del suelo y silvicultura, y desechos.

Cada una de estas fuentes de emisión recibe el nombre de sector que, a su vez, se subdivide en categorías y subcategorías. Los nombres que se asignan a los sectores y subsectores de emisión no corresponden a la terminología de clasificación, ni a los criterios de agregación, económicos según normas de cuentas nacionales. Se consideraron también de manera complementaria los datos de consumo de energía de la Secretaría de Energía del gobierno mexicano (Sener, 2005). La estructura porcentual así obtenida se aplicó a las emisiones totales estimadas para 2003, calculadas por el INE, dando como resultado las emisiones de GEI para cada sector o subsector. En seguida se compatibilizaron las categorías de la clasificación del IPCC con las ramas de la MIP. Hubo que asignar a todas las ramas de la MIP, que no fueron consideradas como emisoras de GEI, valores que reflejaran de manera aproximada su participación en el total de emisiones. Para ello se distribuyeron las emisiones en cada rama por su participación relativa en el valor agregado bruto (VAB) dentro del sector correspondiente en el mismo año (2003). El ordenamiento de ramas económicas de mayores a menores emisoras en 2003, en unidades de CO<sub>2</sub> equivalente, arroja como resultado que tan sólo 25 ramas de las 79 que componen la MIP de México emiten 98.2% del total de GEI (véase el cuadro 1).

## 2. Vector de coeficientes de emisión por rama

Con la información obtenida se calculó el vector de los coeficientes de emisión por rama, normalizando los valores de emisión respecto al valor bruto de la producción (VBP) de 2003. Cada coeficiente se calculó siguiendo la fórmula:

$$e_i = G_i / P_i \quad (1)$$

en que  $e_i$  = coeficiente anual de emisión de la rama  $i$ ;  $G_i$  = gigagramos anuales de GEI de la rama  $i$ ;  $P_i$  = valor bruto de la producción anual de la rama  $i$  en millones de pesos;  $i = (1, 2, 3, \dots, 79)$ . Según los resultados que se muestran en el cuadro 2 son 16 las ramas económicas que presentan coeficientes de emisión por encima de la media.

Combinando resultados de cálculos de emisión por rama absolutos y re-

CUADRO 1. *Principales ramas económicas emisoras de GEI*

<i>Núm.</i>	<i>Rama</i>	<i>G<sub>g</sub> CO<sub>2</sub> eq.</i>	
9	Generación, transmisión y suministro de energía eléctrica	120 844.7	21.5
39	Autotransporte de carga	52 860.5	9.4
3	Aprovechamiento forestal	51 500.0	9.1
40	Transporte terrestre de pasajeros, excepto por ferrocarril	51 431.7	9.1
26	Fabricación de productos a base de minerales no metálicos	40 156.7	7.1
64	Manejo de desechos y servicios de remediación	37 256.0	6.6
6	Extracción de petróleo y gas	37 253.4	6.6
2	Ganadería	37 249.7	6.6
23	Fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón	36 940.8	6.6
10	Agua y suministro de gas por ductos al consumidor final	30 063.1	5.3
27	Industrias metálicas básicas	11 079.7	2.0
24	Industria química	8 475.9	1.5
1	Agricultura	7 479.1	1.3
14	Industria alimentaria	7 052.0	1.3
36	Transporte aéreo	6 346.6	1.1
7	Minería de minerales metálicos y no metálicos excepto petróleo y gas	2 637.2	0.5
30	Fab. de equipo de comp., comun., med. y de otros equipos, compo. y accs. electrónicos	2 375.7	0.4
38	Transporte por agua	2 296.1	0.4
21	Industria del papel	1 643.7	0.3
37	Transporte por ferrocarril	1 567.2	0.3
31	Fabricación de equipo de generación eléctrica y aparatos y accs. eléctricos	1 397.0	0.2
18	Fabricación de prendas de vestir	1 382.1	0.2
15	Industria de las bebidas y del tabaco	1 373.9	0.2
28	Fabricación de productos metálicos	1 281.8	0.2
35	Comercio	1 252.5	0.2
	Total	553 197.0	98.2

lativos tenemos en el cuadro 3, 15 ramas que son grandes emisoras de GEI ordenadas por número de rama de acuerdo con la clasificación de la MIP 2003.

## II. EFECTO DE LOS COSTOS DE LA EMISIÓN DE GEI EN LAS RAMAS ECONÓMICAS

En esta sección se aborda el problema de los costos que representa para la economía mexicana la emisión de GEI. El enfoque que se adopta en este análisis es el de considerar la emisión de GEI como la producción de un “mal” asociada a la de un “bien” (véase Ten Raa, 2006). Es decir, se trata de una externalidad negativa. Para estimarla se calcula el efecto de la emisión direc-

CUADRO 2. *Ramas con coeficientes de emisión, encima de la media*

<i>Núm.</i>	<i>Rama</i>	<i>G<sub>g</sub> de GEI por millón de VBP</i>
64	Manejo de desechos y servicios de remediación	7.4481
3	Aprovechamiento forestal	2.8283
10	Agua y suministro de gas por ductos al consumidor final	1.3314
9	Generación, transmisión y suministro de energía eléctrica	0.5596
26	Fabricación de productos a base de minerales no metálicos	0.2488
2	Ganadería	0.2147
38	Transporte por agua	0.1954
40	Transporte terrestre de pasajeros, excepto por ferrocarril	0.1578
36	Transporte aéreo	0.1573
39	Autotransporte de carga	0.1567
23	Fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón	0.1526
42	Transporte turístico	0.1073
6	Extracción de petróleo y gas	0.0874
37	Transporte por ferrocarril	0.0845
27	Industrias metálicas básicas	0.0518
7	Minería de minerales metálicos y no metálicos excepto petróleo y gas	0.0474
	Total	0.0453

CUADRO 3. *Principales ramas emisoras de GEI*

<i>Núm.</i>	<i>Rama</i>
2	Ganadería
3	Aprovechamiento forestal
6	Extracción de petróleo y gas
7	Minería de minerales metálicos y no metálicos excepto petróleo y gas
9	Generación, transmisión y suministro de energía eléctrica
10	Agua y suministro de gas por ductos al consumidor final
23	Fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón
26	Fabricación de productos a base de minerales no metálicos
27	Industrias metálicas básicas
36	Transporte aéreo
37	Transporte por ferrocarril
38	Transporte por agua
39	Autotransporte de carga
40	Transporte terrestre de pasajeros, excepto por ferrocarril
64	Manejo de desechos y servicios de remediación

ta e indirecta de GEI en cada una de las ramas de la economía, en una doble perspectiva: como una producción negativa asociada a la producción bruta del bien de que se trate y por lo tanto un *minus*, que se resta a la cantidad producida real del bien, y, a la vez, como una carga adicional que pesa sobre los costos de producción, es decir un insumo negativo que representa un

plus de costos. Este doble cálculo se efectúa para cada una de las 79 ramas económicas de la MIP.

### 1. *Modelo de estimación de costos de GEI*

El modelo de insumo-producto aplicado en este caso tiene como fundamento el hecho de que la elaboración de cada bien o servicio pasa por una serie de procesos que requieren energía y materiales, cuya producción genera emisiones de GEI. Así pues cada rama emite directa o indirectamente una cierta cantidad de GEI en relación directa con su actividad. El modelo por seguir para el cálculo está basado en la matriz de coeficientes técnicos, conocida como matriz de Leontief y en la matriz de entregas o de distribución, también conocida como matriz de Ghosh (véase Dietzenbacher, 1997). El modelo permite conocer en qué porcentaje disminuye la producción física y en qué porcentaje se incrementan los costos, como resultado de los efectos de la externalidad negativa que es la contaminación. Es decir, este modelo estima el producto generado por cada una de las 79 ramas de la economía incorporando un monto de contaminantes calculado a partir del vector de emisiones y este valor de producto se compara con el valor observado para calcular el porcentaje que del total observado real representa el contaminante. El costo de este “mal” se estima a su vez como la diferencia porcentual entre el vector de valor bruto de la producción observado y un vector estimado que se obtiene al incorporar el costo de las emisiones como si fueran insumos.

La ecuación del efecto en la producción es:

$$\mathbf{A}^* = \mathbf{A} \cdot (\mathbf{I} - \hat{\mathbf{e}}) \quad (2)$$

en la que  $\mathbf{A}$  = matriz de coeficientes técnicos, obtenida de la MIP de México de 2003;  $\mathbf{A}^*$  = matriz  $\mathbf{A}$  disminuida;  $\hat{\mathbf{e}}$  = matriz diagonal con el vector de emisiones,  $\mathbf{e}$ , en la diagonal principal. Y la ecuación del efecto en el costo es:

$$\mathbf{D}^* = (\mathbf{I} + \hat{\mathbf{e}}) \cdot \mathbf{D} \quad (3)$$

en la que  $\mathbf{D}$  = matriz de entregas, obtenida de la MIP de México de 2003 y  $\mathbf{D}^*$  = matriz  $\mathbf{D}$  incrementada;  $\hat{\mathbf{e}}$  = matriz diagonal con el vector de emisiones,  $\mathbf{e}$ , en la diagonal principal. El vector del valor bruto de la producción real,  $\mathbf{u}$  observado (en cantidades), se obtiene de la ecuación:

$$\mathbf{x}_q = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \cdot \mathbf{y} \quad (4)$$



CUADRO 4. *Producción negativa por emisión de GEI*

(Porcentaje del VBP de 2003)

<i>Núm.</i>	<i>Rama</i>	<i>Porcentaje (-)</i>
7	Minería de minerales metálicos y no metálicos excepto petróleo y gas	16.02
24	Industria química	15.31
9	Generación, transmisión y suministro de energía eléctrica	13.31
6	Extracción de petróleo y gas	13.07
62	Dirección de corporativos y empresas	12.92
23	Fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón	12.46
57	Compañías de fianzas, seguros y pensiones	10.71
59	Servicios de alquiler de bienes muebles	7.63
46	Servicios de almacenamiento	7.30
21	Industria del papel	7.29
5	Servicios relacionados con las actividades agropecuarias y forestales	6.65
75	Servicios de reparación y mantenimiento	6.52
63	Servicios de apoyo a los negocios	6.42
3	Aprovechamiento forestal	6.14
25	Industria del plástico y del hule	6.06
27	Industrias metálicas básicas	5.99
47	Edición de publicaciones y de <i>software</i> , excepto a través de internet	5.83
60	Servicios de alquiler de marcas registradas, patentes y franquicias	5.65
28	Fabricación de productos metálicos	5.41
16	Fabricación de insumos textiles	5.40
61	Servicios profesionales, científicos y técnicos	5.21
	Promedio general	3.79

FUENTE: Elaboración propia con datos del INEGI y la Sener, México.

en la que  $\mathbf{x}_q$  = vector real de VBP en cantidades;  $\mathbf{y}$  = vector de demanda final. El vector del valor bruto de la producción estimado una vez deducidas las emisiones del total de cada rama está dado por:

$$\mathbf{x}_q^* = (\mathbf{I} - \mathbf{A}^*)^{-1} \cdot \mathbf{y} \quad (5)$$

en la que  $\mathbf{x}_q^*$  = vector del VBP estimado deducidas las emisiones. El vector del valor bruto de la producción real, u observado en términos de costos, está determinado por la ecuación:

$$\mathbf{x}_p = \mathbf{va} \cdot (\mathbf{I} - \mathbf{D})^{-1} \quad (6)$$

en la que  $\mathbf{x}_p$  = vector de VBP real en precios;  $\mathbf{va}$  = vector de valor agregado. La estimación de los costos de la contaminación se obtiene de la ecuación:

$$\mathbf{x}_p^* = \mathbf{va} \cdot (\mathbf{I} - \mathbf{D}^*)^{-1} \quad (7)$$

CUADRO 5. *Incremento de costos por emisión de GEI*

(Porcentaje del VBP)

<i>Núm.</i>	<i>Rama</i>	<i>Porcentaje</i>
9	Generación, trasmisión y suministro de energía eléctrica	17.87
33	Fabricación de muebles y productos relacionados	15.46
27	Industrias metálicas básicas	10.76
10	Agua y suministro de gas por ductos al consumidor final	10.69
16	Fabricación de insumos textiles	9.07
26	Fabricación de productos a base de minerales no metálicos	9.05
11	Edificación	8.70
14	Industria alimentaria	8.65
21	Industria del papel	8.63
28	Fabricación de productos metálicos	8.56
30	Fabricación de equipo de computación, comun., med. y otros electrónicos	8.54
31	Fabricación de equipo de generación eléctrica y aparatos y accesorios eléctricos	8.49
5	Servicios relacionados con las actividades agropecuarias y forestales	8.39
23	Fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón	8.39
20	Industria de la madera	8.29
34	Otras industrias manufactureras	8.11
25	Industria del plástico y del hule	7.90
24	Industria química	7.85
	Promedio	5.36

FUENTE: Elaboración propia con datos del INEGI y de la Sener.

en la que  $\mathbf{x}_p^*$  = vector del VBP estimado (incrementado) por los costos de las emisiones.

Finalmente los costos relativos de la contaminación están dados por:

$$(\mathbf{x}_q - \mathbf{x}_q^*) \cdot (\mathbf{x}_q)^{-1} = \text{diferencias relativas en la producción por rama} \quad (8)$$

$$(\mathbf{x}_p^* - \mathbf{x}_p) \cdot (\mathbf{x}_p)^{-1} = \text{diferencias relativas en los costos por rama} \quad (9)$$

## 2. *Distribución de los costos de contaminación en la MIP*

Como resultado del cálculo realizado con la ecuación (8) se obtuvieron las diferencias porcentuales entre las cantidades de VBP en cada rama económica, que incluyen la emisión de gases contaminantes y la cantidad de VBP que se descuenta. En el cuadro 4 aparecen las primeras 21 ramas en orden

descendente de importancia. Destacan de entre ellas un grupo de 7 ramas económicas que es afectado en su producción anual bruta entre 10 y 16%, las ramas (7), (24), (9), (6), (62), (23) y (57). El promedio general de efecto adverso en la producción es para las 79 ramas de casi 4% de VBP.

El cálculo de los costos de la contaminación es resultado de la ecuación (9). En el cuadro 5 se presenta en orden descendente las primeras 18 ramas que tienen los mayores costos relativos como resultado de la emisión de GEI. En este caso, las ramas que registran incrementos del orden de entre 9 y 17% del valor del producto son seis: (9), (33), (10), (27), (16) y (26).

El cálculo de costos de remediación de la emisión de GEI para México en este artículo ha sido el costo de la contaminación por rama establecido en la sección anterior, que puede interpretarse como un “costo de oportunidad” de la mitigación, es decir, el costo que la sociedad está pagando por no aplicar ninguna medida de reducción en la emisión de gases contaminantes asociados a la producción. Podría interpretarse también como el costo en términos de la producción evaluada en dinero, que tendría que sacrificarse para reducir (aunque no totalmente) la emisión de gases de efecto invernadero, sin adoptar ningún cambio tecnológico que la reduzca o elimine.

### III. IDENTIFICACIÓN DE RAMAS ESTRATÉGICAS Y SU RELACIÓN CON LAS CONTAMINANTES

Esta última sección del artículo tiene por objeto identificar las ramas de la economía mexicana actual, cuyos efectos de demanda, o de oferta, en otras ramas y, en el conjunto, son consideradas en el análisis estructural como “estratégicas” (*key sectors*). Ello con el propósito de comparar la información resultante, con la correspondiente a las ramas que actualmente generan, en términos absolutos y relativos, las mayores emisiones de GEI y son consideradas por ello las más contaminantes. La posible coincidencia de ramas en ambos conjuntos nos permite identificar algunas de las restricciones que enfrenta el crecimiento de la economía mexicana actual desde el punto de vista ambiental, es decir, restricciones al crecimiento sostenible.

Se presenta dos grandes indicadores que permiten fundamentar la importancia de las ramas y clasificarlas de acuerdo con su capacidad de difundir impulsos económicos por medio del sistema de cantidades y precios representado en la MIP. Esta capacidad de propagación de las ramas refleja su potencial de generar deseconomías externas, por ejemplo, de naturaleza ecológica.

### 1. Sectores clave según coeficientes de Rasmussen

La matriz  $(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}$ , conocida como “inversa de Leontief”, permite resolver el sistema para conocer cuál es la producción necesaria de un sector  $i$ -ésimo para satisfacer el incremento de la demanda final de un sector  $j$ -ésimo en una unidad. Esta matriz está en consecuencia referida a la demanda. En tanto que la matriz inversa  $(\mathbf{I} - \mathbf{D})^{-1}$ , calculada con de la matriz de distribución, está referida a la oferta. A partir de los elementos de estas matrices se pueden obtener coeficientes que miden la capacidad de generar o absorber los crecimientos de las diferentes ramas de la economía. Para ello se requiere considerar en primer lugar las sumas de los elementos de cada fila,  $z_i$ , y de cada columna,  $z_j$ , a los cuales se les ha denominado “efecto absorción” y “efecto difusión”, respectivamente (Naciones Unidas, 2000). Los coeficientes, ideados por el danés Rasmussen (1956), se calculan sobre la base de estos efectos, y se obtienen calculando el promedio de cada uno de dichos efectos, en cada una de las ramas, para después expresar estos promedios en relación con los efectos globales.

El coeficiente calculado a partir del efecto absorción es conocido como “índice de poder de absorción” y se define como:

$$U_j = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z_{ij}}{\frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n z_{ij}} \quad (10)$$

en el que  $U_j$  = índice de poder de absorción de la rama  $j$ ;  $n$  = número de filas o columnas de la matriz, y  $z_{ij}$  = elemento  $ij$  de la matriz  $(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}$ . Este índice mide en términos relativos la fuerza con que una rama es capaz de “arrastrar” al conjunto de la economía, llamado enlace hacia atrás (*backward linkage*).

Similarmente, con el efecto difusión, se calcula el “índice de sensibilidad de difusión” cuya expresión, a partir la matriz de coeficientes de distribución, es:

$$U_i = \frac{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n z_{ij}}{\frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n z_{ij}} \quad (11)$$

en la que  $U_j$  = índice de poder de difusión,  $n$  = número de filas o columnas de la matriz y  $z_{ij}$  = elemento  $ij$  de la matriz  $(\mathbf{I} - \mathbf{D})^{-1}$ . Este índice mide en términos relativos el efecto que genera una rama a las demás, llamado enlace hacia adelante (*forward linkage*) (véanse, García y Ramos, 2003; Pino e Illanes, 2002). Para el cálculo de estos coeficientes se utilizó el programa *PyIO: Input-Output Analysis with Python* (University of Illinois, 2003). Los resultados de la aplicación del método de Rasmussen para determinar ramas estratégicas se resumen en el cuadro 6.

Para facilitar la interpretación de los resultados se ha generado un diagrama de dispersión (gráfica 1). En el eje de las abscisas se ubican los enlaces hacia adelante (*forward linkages*), que miden la demanda de todas las ramas (sectores) de una rama en particular, mientras que en el de las ordenadas se encuentran los enlaces hacia atrás (*backward linkages*), que miden los efectos de la demanda de una rama de la demanda de quienes la abastecen.

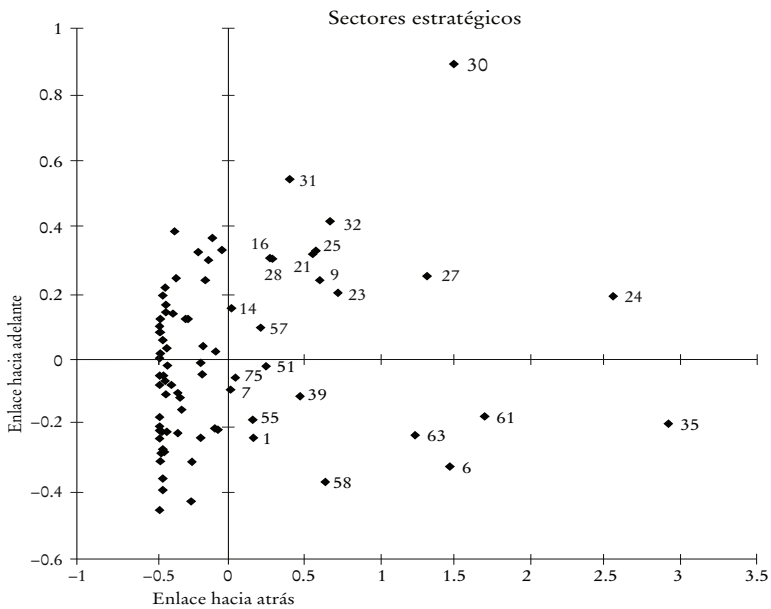
En el enfoque del propio Rasmussen se definen como ramas estratégicas aquellas que presentan marcados enlaces simultáneamente hacia adelante y hacia atrás. En este caso se identifican en la matriz total de la economía total de México de 2003, a las ubicadas en el cuadrante 1 de la gráfica 1 que son las 12 que aparecen en el cuadro 6. Estas ramas estratégicas muestran un gran potencial para difundir o atenuar los efectos de los efectos externos, tanto a otras ramas como al conjunto.

CUADRO 6. *Ramas estratégicas, método Rasmussen*

(Matriz total de la economía total, 2003)

<i>Núm.</i>	<i>Nombre de la rama</i>
9	Generación, transmisión y suministro de energía eléctrica
14	Industria alimentaria
16	Fabricación de insumos textiles
21	Industria del papel
23	Fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón
24	Industria química
25	Industria del plástico y del hule
27	Industrias metálicas básicas
28	Fabricación de productos metálicos
31	Fabricación de equipo de generación eléctrica y aparatos y accesorios eléctricos
43	Fabricación de equipo de transporte
57	Compañías de fianzas, seguros y pensiones

GRÁFICA 1. *Dispersión de Resmussen trasladada, matriz total de México (2003)*



## 2. Enlaces por el método de extracción

En este apartado se evalúa los enlaces productivos, con el método de extracción desarrollado entre otros por Eric Dietzenbacher (Dietzenbacher *et al*, 1993, 1997). Al igual que con el método anterior, se emplean dos tipos de matrices para su estimación: la matriz de absorción de insumos y la matriz de distribución. Esto permite que los enlaces se evalúen como impulsos inducidos por la demanda en un caso y como impulsos de la oferta por el otro. Los enlaces hacia atrás muestran las relaciones de demanda, mientras que los enlaces hacia adelante muestran la oferta de una rama al resto de la economía.

El método de extracción funciona de la siguiente manera: *i*) dado un vector de demanda final se calcula el producto bruto para cada una de las  $n$  ramas; *ii*) después una de estas ramas es removida hipotéticamente de la economía, eliminando su fila y columna, correspondientes, de la matriz  $A$  de coeficientes técnicos; *iii*) utilizando ahora el nuevo (reducido) vector de demanda final, se estima el producto bruto hipotético para cada una de las

CUADRO 7. *Ramas estratégicas, método de extracción*

Enlaces hacia atrás			Enlaces hacia adelante		
Rama núm.	Valor en millones de pesos	Porcentaje del total	Rama núm.	Valor en millones de pesos	Porcentaje del total
35	1 056 172	9.9	35	1 186 297	11.2
14	695 449	6.5	24	689 911	6.5
11	613 356	5.8	6	619 868	5.8
24	570 986	5.4	61	539 378	5.1
23	435 303	4.1	14	515 455	4.9
61	433 079	4.1	23	467 324	4.4
32	386 607	3.6	32	359 737	3.4
27	343 883	3.2	27	355 079	3.4
6	336 206	3.2	63	350 835	3.3
39	332 734	3.1	39	342 264	3.2
9	312 779	2.9	11	330 911	3.1
2	269 549	2.5	9	301 081	2.8
63	258 587	2.4	58	289 381	2.7
58	243 950	2.3	1	235 304	2.2
26	216 496	2.0	55	233 748	2.2
1	212 539	2.0	2	228 586	2.2
12	212 205	2.0	25	213 282	2.0
25	211 927	2.0	51	199 858	1.9
40	209 507	2.0	28	184 986	1.7
51	200 332	1.9	26	184 567	1.7

FUENTE: Elaboración propia con datos de INEGI (2008).

restantes ramas ( $n - 1$ ); *iv*) el efecto de extraer esta rama particular se obtiene calculando las diferencias entre los dos niveles de producto bruto de cada una de las ramas restantes. La magnitud de las diferencias es indicativa de la relevancia de rama hipotéticamente extraída (Dietzenbacher *et al*, 1993, p. 3). Este método fue desarrollado anteriormente por Cella (1984).

Para el cálculo de este indicador se ha utilizado el programa *PyIO*. Para facilitar la presentación de los resultados, se ha calculado, tanto para los enlaces hacia atrás como para los de hacia adelante, los porcentajes de las ventas totales de cada rama respecto a la suma de las ventas de las 79 ramas, y se han ordenado éstos de mayor a menor, y dividido en cuatro grupos (*cuartiles*) de tamaño similar.

En el cuadro 7 se muestra las primeras 20 ramas correspondientes al primer cuartil de la lista jerárquica. Son las ramas que mayor importancia tienen por sus relaciones con el resto. En términos de demanda (enlaces hacia

atrás), las 20 ramas explican, en conjunto, poco más de 70% de las transacciones totales hacia atrás. Respecto a la oferta, las primeras 20 ramas contribuyen con casi 74% del valor de las ventas totales de la economía. El subconjunto de intersección entre ambos conjuntos (demanda y oferta) es el que corresponde a las ramas estratégicas según este método y comprende las 19 ramas siguientes: (1) agricultura, (2) ganadería, (6) petróleo y gas, (9) energía eléctrica, (11) edificación, (12) construcción, (14) industria alimentaria, (23) productos derivados del petróleo y el carbón, (24) industria química, (25) industria del plástico y el hule, (26) productos con base en minerales no metálicos, (27) industrias metálicas básicas, (32) equipo de transporte, (35) comercio, (39) autotransporte de carga, (51) otras telecomunicaciones, (58) servicios inmobiliarios, (61) servicios profesionales y (63) servicios de apoyo a los negocios.

### 3. *Resumen de ramas estratégicas*

La aplicación de la técnica de Rasmussen arroja como resultado la identificación de 12 ramas estratégicas (aquellas con marcados enlaces hacia atrás y hacia adelante) que se muestran en el cuadro 6. Por su parte, el método de extracción de Dietzenbacher permitió identificar a 18 ramas como difusoras, simultáneamente, de impulsos hacia atrás y hacia adelante. El subconjunto de intersección de los respectivos conjuntos de ramas estratégicas identificadas mediante la aplicación de ambas técnicas, comprende las siete ramas siguientes: (9) energía eléctrica, (14) industria alimentaria, (23) productos derivados del petróleo y el carbón, (24) industria química, (25) industria del plástico y el hule, (27) industrias metálicas básicas y (32) fabricación de equipo de transporte.

## CONCLUSIONES

La estructura actual de la economía mexicana que se expresa en la matriz de insumo-producto más reciente, la cual es del año 2003, muestra como una característica relevante la existencia de 15 ramas económicas altamente contaminantes, en el sentido de ser las principales generadoras de GEI que se enumeran en el cuadro 3: (2), (3), (6), (7), (9), (10), (23), (26), (27), (36), (37), (38), (39), (40) y (64). Por otra parte en la misma estructura se identifican como ramas estratégicas, en el sentido que le dan Rasmussen y



Dietzenbacher, mediante la aplicación de las dos diferentes técnicas, a siete ramas: (9), (14), (23), (24), (25), (27) y (32).

El subconjunto que integran las ramas estratégicas y de alta emisión de GEI está compuesto por sólo tres ramas: (9) energía eléctrica, (23) productos derivados del petróleo y el carbón y (27) industrias metálicas básicas. A éstas conviene añadir la rama (6) extracción de petróleo y gas, que es gran emisora y con enlaces hacia adelante importantes pero poco importantes hacia atrás, así como la (24) industria química, que es una rama estratégica en ambos sentidos, pero sólo está entre las altas emisoras de GEI en términos absolutos y no en términos relativos. Este conjunto de cinco ramas es al que podríamos denominar sector energético y resulta el más relevante para la mitigación de las emisiones de GEI.

Un segundo nivel de importancia estratégica y de alto consumo de energía lo constituyen cinco ramas asociadas a los servicios de transporte: (36) transporte aéreo, (37) transporte por ferrocarril, (39) autotransporte de carga, (40) transporte terrestre de pasajeros y (42) transporte turístico. Por último hay otras cinco ramas que entran y salen de diferentes clasificaciones y, por tanto, representarían un tercer grupo: (21) industria del papel, (25) industria del plástico y el hule, (26) productos a base de minerales no metálicos, (28) productos metálicos y (29) fabricación de maquinaria y equipo.

Podemos afirmar que estas 15 ramas son las que revisten la mayor importancia en la transmisión de efectos contaminantes sobre las demás y sobre el medio externo, así como podrían servir con igual importancia de amortiguadores de efectos externos respecto a las demás. Estas mismas ramas presentan un variado pero alto costo, en términos de producto, asociado a la emisión de GEI, lo que implica que la reducción de sus emisiones, sin adoptar un cambio tecnológico, afectaría en buena medida su producción bruta, e indirectamente la de las otras ramas, con consecuencias significativas en el producto neto y el empleo totales.

En conclusión, el sector energético es el más importante para la economía como difusor de los efectos negativos de la emisión de GEI y, por ello, es el sector en el que la reducción de esos efectos (externalidades negativas) resulta más alto el costo, medido en términos de disminución de producción sin cambio tecnológico. De la importancia de este sector se infiere la necesidad de que el Estado no sólo refuerce la supervisión de sus operaciones, sino haga efectivas reglas estrictas para aumentar de la eficiencia productiva y realice las inversiones y gastos necesarios para adoptar tecnologías reduc-

toras de emisiones de GEI en este sector, en tanto se desarrollan paralelamente otras fuentes de energía.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aroche-Reyes, F. (2000), “Reformas estructurales y composición de las emisiones contaminantes industriales. Resultados para México”, Serie Medio Ambiente y Desarrollo, núm. 24, Santiago de Chile, CEPAL.
- Cella, G. (1984), “The Input-Output Measurement of Interindustry Linkages”, *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 70, pp. 705-712.
- Dietzenbacher, E. (1997), “In vindication of the Ghosh model: a reinterpretation as a price model”, *Journal of Regional Science*, 37, 4, pp. 629-651.
- , y J. A. van der Linden (1997), “Sectoral and Spatial Linkages in the EC Production Structure”, *Journal of Regional Science*, 37, 2, pp. 235-257.
- , — y A. E. Steenge (1993), “The Regional Extracion Method: EC Input-Output Comparisons”, *Economic Systems Research*, 5, 2, pp. 185-206.
- García, A. S., y C. Ramos (2003), “Las redes sociales como herramienta de análisis estructural input-output”, *Revista REDES*, 4, 5, pp. 1-21.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2002), *Sistema de clasificación industrial de América del Norte, México 2002*, México, INEGI.
- (2008), Sistema de consulta (<http://www.inegi.gob.mx/est/contenidos/espanol/proyectos/scnm/mip03/default.asp?s=est&c=14040>).
- Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC (2001), “Climate Change 2001: The Scientific Basis”, J. T. Houghton *et al* (comps.), *Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Lenzen, M., L.-L. Pade y J. Munksgaard (2004), “CO2 Multipliers in Multi-region Input-Output Models”, *Economic Systems Research*, 16, 4, pp. 391-412.
- Leontief, W. (1970), “Environmental Repercussions and the Economic Structure: An Input-Output Approach”, *The Review of Economics and Statistics*, 52, 3, pp. 262-271.
- Munksgaard, J., M. Wier, M. Lenzen y Ch. Dey, (2005), “Using Input-Output Analysis to Measure the Environmental Pressure of Consumption at Different Spatial Levels”, *Journal of Industrial Ecology*, 9, 1-2, pp. 169-185.
- Naciones Unidas (2000), “Manual sobre la compilación y el análisis de los cuadros de insumo-producto”, Serie Estudios de métodos, Departamento de Asuntos Económicos y Sociales, Nueva York, Naciones Unidas.
- Pino, O., y W. Illanes (2002), “Análisis exploratorio de los coeficientes de Rasmussen para la economía regional, mediante la utilización de las tablas input-output para la economía chilena, base 1996”, *Theoria*, Universidad del Bío Bío, Chile.
- Rasmussen, P. (1956), *Studies in Inter-Sectoral Relations*, Copenhagen, Einar Harks.

- Ten Raa, T. (2006), *The Economics of Input-Output Analysis*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Secretaría de Energía, (2005), *Balance Nacional de Energía 2004*, México, Sener.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología (2006), *Inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero, 1990-2002*, México, Semarnat.
- University of Illinois at Urbana-Champaign, Regional Economics Applications Laboratory (2003), *PyIO: Input-Output Analysis with Python*.