

ÍNDICES DE INTENSIDAD DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA: UNA APLICACIÓN PARA EL ÁREA METROPOLITANA DE MONTERREY, NUEVO LEÓN, MÉXICO

Ramón GUAJARDO QUIROGA y Javier ARRAMBIDE OLVERA

Facultad de Economía, Universidad Autónoma de Nuevo León. Loma Redonda 1515 Pte., Col. Loma Larga, Monterrey 64710 Nuevo León, México. Correo electrónico: rguajard@ccr.dsi.uanl.mx

(Recibido marzo 2002, aceptado noviembre 2002)

Palabras clave: regulación ambiental, análisis de insumo-producto, contaminación directa, contaminación indirecta, contaminación inducida

RESUMEN

En este estudio se estiman índices de intensidad de generación para seis contaminantes del aire: partículas suspendidas totales (PST), dióxido de azufre (SO_2), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), hidrocarburos (HC) y plomo (Pb) para el área metropolitana de Monterrey, Nuevo León, México. Estos índices relacionan la contaminación total generada (directa, indirecta e inducida) por millón de pesos de producto para los diversos sectores de la economía del estado de Nuevo León. Se construyó un modelo de insumo-producto que incorpora la interdependencia de la estructura económica y la generación de contaminación. Los resultados indican que los índices de intensidad de generación de contaminación derivados de los modelos de insumo-producto son una herramienta útil en la cuantificación del impacto de políticas ambientales reguladoras sobre los sectores económicos, tales como estándares y cargos por contaminar, así como el impacto de metas económicas sobre la generación de contaminación.

Keywords: environmental regulation, input-output analysis, direct pollution, indirect pollution, induced pollution

ABSTRACT

This study estimates pollution generation intensity indexes for six air pollutants: total suspended particles (TSP), sulfur dioxide (SO_2), carbon monoxide (CO), nitrogen oxides (NO_x), hydrocarbons (HC), and lead (Pb) for the metropolitan area of Monterrey, Nuevo Leon, Mexico. These indexes link up total pollution (direct, indirect, and induced) per every product million of pesos in all economic sectors in Nuevo Leon. An input-output model that incorporating the interdependence between the economic structure and pollution generation was created. The results show that intensity indexes for pollution generation derived from input-output models are a useful tool to assess the impact of environmental regulation policies on the economic sectors, such as emission standards and pollution fines, as well as the impact of economic targets on air pollution generation

INTRODUCCIÓN

El problema de la contaminación atmosférica es un elemento cada vez más importante en la planeación económica. A través de un modelo económico que incorpora factores ambientales es posible considerar la contamina-

ción de una manera explícita y racional en los procesos de planeación económica y en el diseño de políticas y programas que permitan regularla. La introducción de enlaces de los contaminantes y aspectos económicos de la producción permite la consideración de implicaciones de la demanda por protección ambiental. Los intercam-

bios de la contaminación y de los factores económicos que están presentes pero que no son obvios pueden ser capturados e incluidos en los costos de limpiar o proteger el ambiente, con una base más amplia del conocimiento del problema.

En México, el establecimiento de políticas ambientales y en particular las relacionadas con calidad del aire basadas en la administración de recursos ambientales son obstaculizadas por la escasez de conocimientos acerca de la relación entre el ambiente y los aspectos económicos. En particular, no se cuenta con las herramientas requeridas para la estimación y la evaluación del impacto de políticas reguladoras tales como estándares, cargos por emisiones, etc., sobre la actividad económica o el impacto de las metas económicas sobre la generación de contaminantes atmosféricos.

La cuantificación de las relaciones entre la generación de contaminantes atmosféricos y la actividad económica es fundamental para el diseño y la aplicación de políticas eficientes. Se debe reconocer que es importante estimar los costos verdaderos de limpiar el ambiente y de buscar la aplicación de metodologías que aumenten las posibilidades de lograrlo, dado que éstos y las implicaciones verdaderas de limpiar el ambiente y de la aplicación de políticas reguladoras depende en gran medida de cómo se estiman estos costos.

El propósito de este trabajo es construir índices de intensidad de contaminación que midan la cantidad total de emisiones por millón de pesos de producto, para los sectores productivos de la economía del estado de Nuevo León y aplicarlos para el área metropolitana de Monterrey, Nuevo León, México (AMM).¹ Estos índices incluyen no sólo los impactos directos sino también los indirectos y los inducidos derivados del crecimiento económico. Por lo tanto, éstos proveen una estimación mejorada de los contaminantes que se generan en una región. Se estudian 6 contaminantes del aire: partículas suspendidas totales (PST), dióxido de azufre (SO₂), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), hidrocarburos (HC) y plomo (Pb).

Para lograr lo anterior, se construye un modelo de insumo-producto que es extendido para estimar las relaciones e interdependencia de la estructura económica y de la generación de contaminación del aire; de esta manera, es posible aclarar simultáneamente las percepciones intuitivas de cómo interactúan las actividades económicas y la generación de contaminantes. Una ventaja de esta metodología consiste en que permite estimar los impactos totales en la producción de contaminantes en contraposición a la práctica común de estimación de impactos en la contaminación basada en los coeficientes

directos, que sólo incluye los impactos parciales.

La metodología de insumo-producto es particularmente relevante cuando se consideran los enlaces sectoriales y la contaminación ambiental, dado que cualquier acción orientada a combatir la contaminación debe tomar en consideración sus efectos y costos no sólo en el sector bajo consideración, sino en todos los sectores relacionados de la economía. Similarmente, en los estudios orientados a valorar los beneficios y los costos de reducción de la contaminación, puede ser de particular importancia contabilizar no sólo la contaminación que de manera directa genera o deja de generar un sector, sino también la que se produce o se deja de producir en otros sectores de manera indirecta e inducida; estas últimas pueden ser más relevantes que la primera.

De la combinación de datos en unidades físicas de contaminación y la tabla de insumo-producto en términos monetarios, es posible obtener una herramienta consistente, sistemática y precisa para la construcción de índices de intensidad de la contaminación y de esta manera cuantificar el impacto de cambios en las variables económicas sobre la contaminación ambiental. El índice y por lo tanto los impactos son separados en efectos directos, indirectos e inducidos y cuantifican la contribución sectorial a la generación de contaminantes.

El resto del artículo es organizado de la manera siguiente: la segunda sección presenta antecedentes relevantes del área de estudio. La tercera sección revisa de manera concisa la metodología de insumo-producto y la construcción de los índices de intensidad de contaminación atmosférica. La cuarta sección expone la construcción del modelo de insumo-producto con énfasis en la contaminación atmosférica para el estado de Nuevo León. En la quinta se presentan los resultados. Finalmente, en la sexta se remarcan las conclusiones más relevantes.

ANTECEDENTES

La contaminación ambiental en México ha alcanzado niveles insospechados generando en algunos casos preocupación alarmante. Particularmente, en las áreas más pobladas e industrializadas del país, tales como las metropolitanas de las ciudades de México (D.F.), Guadalajara (Jalisco) y Monterrey (Nuevo León), el crecimiento persistente de la contaminación es una de las mayores preocupaciones.

Este estudio está enfocado al AMM del estado de Nuevo León, ubicado en el Noreste de México. Este estado está caracterizado por su desarrollo industrial, así como por su ingreso per cápita por arriba de la media

¹ El AMM está integrada por los siguientes municipios: Apodaca, Cadereyta Jiménez, Escobedo, García, Guadalupe, Juárez, Monterrey, San Nicolás de los Garza, San Pedro Garza García y Santa Catarina

nacional. El 85 % de la población del estado se localiza en el AMM, que es una zona conurbada de 10 municipios¹ que albergan a una población de más de 3.3 millones de habitantes.²

El dinamismo económico del estado tiene su origen, principalmente, a partir de la década de los cuarenta; convirtiéndolo en un importante polo de crecimiento económico del país. Sin embargo, a la par con este crecimiento, la contaminación de la cuenca atmosférica del AMM ha surgido como uno de los problemas prioritarios de esta región.

El nivel actual de contaminación del Estado tiene su origen en diversas causas, entre ellas se señalan la implantación de políticas de fomento industrial basadas en precios subsidiados de energéticos, agua, basura, transporte, etc. Por ejemplo: la aplicación de subsidios a las tarifas eléctricas promovió el alto consumo de energía y redujo los incentivos para la utilización de tecnologías ahorradoras de energía. Similarmente, la deficiencias del transporte colectivo y las regularizaciones de autos usados provenientes de los EUA facilitaron el crecimiento acelerado del parque vehicular.

El crecimiento urbano de Nuevo León ocurrido en la segunda parte del siglo XX se señala también como responsable del incremento en la contaminación. Este proceso de crecimiento urbano se mantiene en la actualidad haciendo cada vez más agudos los problemas de transporte urbano, incrementando el consumo de combustibles y consecuentemente agravando los problemas de contaminación atmosférica. Aunado a lo anterior, el AMM no está favorecida geográficamente para eliminar la contaminación ya que está rodeada de cerros que dificultan la dispersión del aire contaminado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los modelos de insumo-producto son herramientas para la simulación y la predicción económica. El modelo es una representación simple del equilibrio general que contabiliza los enlaces o cadenas productivas entre los sectores de la economía, provee una representación concisa del flujo de bienes entre los sectores y además, permite la estimación de los efectos de cambios en ciertas variables sobre otras.³ Esta metodología describe la interdependencia de la economía, dado un determinado nivel de consumo y producción; tradicionalmente es utilizada para la cuantificación y el análisis de las relaciones intersectoriales en la producción y consumo de bienes económicos que son intercambiados por medio del mercado; sin embargo es posible utilizarla para cuantificar y analizar las relaciones económicas intersectoriales en la

generación de contaminación. Igualmente, el uso de esta técnica provee información importante en el diseño de políticas ambientales (Fankhauser y McCoy 1995, Casler y Blair 1997, Frickman 2000, Machado 2000).

Esta metodología supone que todos los sectores mantienen una proporción constante en el mercado de cada producto; que los insumos que se utilizan en la elaboración de un producto están relacionados con la producción industrial por una función de producción de coeficiente lineal y fijo (al menos a corto plazo); que los procesos de producción de estos sectores son tecnológicamente interdependientes y caracterizados por una relación lineal entre la cantidad de insumos requeridos y el producto final de cada sector. Por lo tanto, las relaciones de insumo-producto se transforman en relaciones técnicas y cada columna de la matriz de coeficientes representa una técnica de producción.

La interdependencia capturada por este modelo se debe principalmente al hecho de que cada industria emplea productos de otras industrias como materia prima; además de que los sectores de demanda final compran los productos de cada industria como bienes de consumo final. De esta manera se puede visualizar la interrelación de los diversos sectores productivos y los impactos directos, indirectos e inducidos sobre algunas variables económicas (producto, ingreso, empleo, contaminantes, etc.) de un incremento o una reducción en la demanda final o en el tamaño de una industria (Miller y Blair 1985).

Un modelo de insumo-producto en su forma más simple consiste en un sistema de ecuaciones lineales, en el que cada ecuación describe la distribución del producto a través de la economía. Las relaciones pueden ser expresadas en notación matricial tal que,

$$X = AX + Y \quad (1)$$

Donde

X es un vector de productos a nivel sector,

A es una matriz cuadrada de coeficientes técnicos (directos) de insumo-producto,

Y es un vector de demanda final de producto a nivel sector.

Dado que los valores de los coeficientes técnicos son conocidos y el nivel de demanda final es también conocido o supuesto, la solución (los niveles de producto del vector X) de la ecuación (1) depende de la no-singularidad de la matriz A, de la siguiente manera,

$$\begin{aligned} X &= AX + Y \\ X - AX &= Y \\ [I - A]X &= Y \\ X &= [I - A]^{-1} Y \end{aligned}$$

² XII Censo General de Población y Vivienda 2000

³ Un tratamiento completo de los modelos insumo-producto se encuentra en Miller y Blair (1985) y en Naciones Unidas (1999)

La matriz $[I-A]^{-1}$ es comúnmente conocida como la inversa de Leontief o matriz de interdependencia. Cada elemento de esta matriz representa la cantidad de producto directo e indirecto del sector i requerido para satisfacer los requerimientos de la demanda final de una unidad del sector j . Esta matriz puede ser usada para saber la respuesta de cambios en la demanda del producto de un sector que impacta en la producción de otros sectores.

Cálculo de los multiplicadores de insumo-producto

Los multiplicadores del producto se obtienen de la suma de columnas de la matriz $[I-A]^{-1}$. El multiplicador del producto para el sector j contabiliza el valor total en la producción de todos los sectores de la economía que es necesario para satisfacer el valor de una unidad monetaria (peso, dólar, etc.) de demanda final por el producto del sector j y proveen una medida del grado de integración e interdependencia entre los sectores de la economía.⁴ Frecuentemente se calculan dos tipos de multiplicadores del producto, 1 y 2. Los primeros se obtienen de los elementos de la inversa de Leontief para un modelo abierto con respecto al consumo de las familias. Esto es, el consumo de las familias es una variable exógena de $[I-A]^{-1}$. Los multiplicadores llamados tipo 2 se obtienen del modelo cerrado respecto al consumo de las familias. El vector de consumo de las familias es una variable endógena de $[I-A]^{-1}$ (Miller y Blair 1985, Naciones Unidas 1999).

Los multiplicadores tipo 1 capturan los efectos directos e indirectos de un cambio exógeno en la demanda final. Los efectos indirectos resultan de la vinculación regresiva interindustrial.⁵ Los multiplicadores tipo 2 capturan además de los efectos directos e indirectos, el inducido derivado de los gastos de los ingresos obtenidos a través del pago por los servicios de trabajo (Naciones Unidas 1999).⁶

Cálculo de índices de intensidad de contaminación

La metodología de insumo producto ha sido extendida para cuantificar la generación y el abatimiento asociada con la actividad interindustrial. El principal aspecto que debe ser resuelto en modelos ambientales de este tipo es encontrar las unidades de medida apropiadas para cada caso de los elementos ambientales considerados, por ejemplo, en unidades monetarias, unidades físicas o una combinación de ambas.

En este estudio se sigue la técnica de los modelos de insumo-producto generalizados. Éstos, en una de sus variantes, consisten en aumentar la matriz de coeficientes técnicos con hileras y columnas que representan la generación y el abatimiento de contaminantes por los sectores de la economía. Los coeficientes técnicos de contaminación representan la cantidad de contaminante tipo k , por ejemplo, plomo o dióxido de azufre, que se genera por unidad monetaria, dólar o peso, de valor del producto del sector j . Se supone que los coeficientes de contaminación varían linealmente con la generación de producto; de aquí, los niveles de contaminación asociados con el nivel de producto de los diversos sectores de la economía puede ser representado utilizando el modelo de Leontief, en donde v representa la matriz de coeficientes de contaminación y v^* es el vector de niveles de contaminación como función de la demanda final de la economía; esto es, la contaminación total de cada contaminante generado en la economía de manera directa, indirecta e inducida para satisfacer esa demanda final:

$$v^* = [v(I - A)]^{-1} Y$$

El resultado de las operaciones de los elementos entre los paréntesis rectangulares es una matriz de coeficientes de impacto total o índices de intensidad de contaminación; de aquí, cada elemento de esta matriz refleja el impacto total en contaminación generado por dólar de producto requerido para satisfacer la demanda final de la economía.⁷ Estos índices cuantifican el cambio total en un contaminante del aire (en toneladas) para cada industria debido al cambio de una unidad (millón de pesos) en el producto total de la economía.

Construcción del modelo de insumo-producto con énfasis en la contaminación atmosférica

La construcción periódica de matrices de insumo-producto con técnicas de investigación directa es costosa en términos de tiempo, recursos e información. Por las razones señaladas, se hace conveniente la aplicación de métodos de investigación no-directa o la combinación de ambos (modelos híbridos) para estimarlas (Babcock 1993, Braschler y Devino 1993). En este estudio se combinan datos obtenidos directamente con otros publicados por organizaciones oficiales.

El proceso de construcción del modelo de insumo-

⁴ En este estudio no se incluyen los multiplicadores del ingreso y del empleo

⁵ Incrementos en la demanda del producto j de un sector j requerirá de incrementos de aquellos productos de otros sectores que son utilizados como insumos en la producción adicional del producto j "backward linkages"

⁶ El efecto inducido refleja el hecho de que productos adicionales serán requeridos para satisfacer el gasto anticipado de los consumidores resultante del incremento en el ingreso

⁷ Los índices de intensidad de contaminación pueden también ser considerados como multiplicadores de la contaminación

producto del estado de Nuevo León con énfasis en la contaminación atmosférica incluye tres etapas: la primera corresponde a la actualización de la matriz insumo-producto para México. En la segunda etapa se efectúa la regionalización de la matriz mencionada para obtener la de insumo-producto para el estado de Nuevo León. Finalmente, en la tercera se incorporan los coeficientes técnicos de 6 contaminantes: partículas suspendidas totales, plomo, hidrocarburos, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y el dióxido de azufre.

El modelo incluye 17 sectores de demanda interna, 4 sectores de demanda final y 4 sectores de pagos finales. Los sectores de demanda interna son agricultura, minería, alimentos, textiles, madera, papel, agentes químicos, minerales no metálicos, metálicos, maquinaria y equipo, otras industrias metálicas, construcción, electricidad, gas y agua, comercio, transporte, bancos y servicios. Los sectores de demanda final se componen de: consumo de las familias, consumo del gobierno, exportaciones y formación bruta de capital y los sectores de pagos finales por: salarios y otros ingresos de las familias, excedente bruto de explotación, impuestos e importaciones.

En este estudio se parte del modelo nacional de insumo-producto, el cual fue actualizado para cambios en los precios y en la tecnología de 1987 a 1998.⁸ En la actualización se utilizó un programa computacional basado en las metodologías que combina el método de Henry con el de McMenamin y Haring (1974). Estos procedimientos permiten realizar ajustes por cambios en precios relativos y de esta manera reducir substancialmente los problemas de cambio tecnológico en la actualización de matrices (Miller y Blair 1985). La información sobre demanda final de los sectores económicos para 1998 se obtuvo de las cuentas nacionales para el ingreso y el producto nacional publicadas por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) y el Banco de México (BANXICO).

La matriz regional de insumo-producto para Nuevo León se generó a partir de la matriz nacional actualizada para 1998. La regionalización se efectuó bajo el procedimiento *Location Quotients* que compara la importancia relativa de una industria en una región con respecto a la nación (Guajardo y García 2001).⁹ Este método es relativamente menos demandante de datos y puede ser aplicado con datos de las cuentas nacionales publicadas por INEGI en los que se incluye el producto interno bruto por entidad federativa y en el ámbito nacional y es reportado como satisfactoriamente preciso. Por ejemplo, Cartwright, Beemiller y Gustley citados por Braschler

y Devino (1993) encontraron que el procedimiento de "*Location Quotients*" resultó en multiplicadores entre 5 y 10 % mayores que los esperados de modelos obtenidos con muestreo directo.

RESULTADOS

Esta sección se centra en la presentación de los coeficientes técnicos ambientales y de los índices de intensidad de la contaminación atmosférica estimados para los seis contaminantes mencionados: partículas suspendidas totales, plomo, hidrocarburos, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y el dióxido de azufre. Se incluyen los índices directos, indirectos, inducidos y totales.

Coefficientes técnicos ambientales

Los coeficientes técnicos de los contaminantes indican la cantidad de cada contaminante emitida por unidad de producción en cada sector de la economía, en este caso la del estado de Nuevo León. En la **tabla I** se presentan los coeficientes técnicos ambientales estimados para el estado de Nuevo León para el año de 1998.¹⁰ Estos se obtuvieron haciendo una proyección de los datos publicados por la Subsecretaría de Ecología del Estado de Nuevo León, SEMARNAP y Secretaría de Salud, (1997) y actualizados proporcionalmente con el crecimiento del producto interno bruto sectorial del estado de Nuevo León. La información sobre emisiones se refiere sólo a emisiones antropogénicas y la mayor parte de ésta a emisiones industriales.

Índices de intensidad producto-ambientales

Los índices de intensidad de generación de contaminantes relacionan la cantidad total de contaminantes generados en unidades físicas por cada millón de pesos de demanda adicional de cada sector de la economía. Estos se componen de la suma de los efectos directos, indirectos e inducidos. Por ejemplo: los primeros expresan la contaminación que de manera directa genera un sector *j* por cada millón de pesos de producto. Los indirectos expresan la contaminación generada en otros sectores como resultado de incrementos en la demanda de este sector *j* en aquellos sectores cuyos productos son usados como insumos en el sector *j*. Finalmente, los inducidos reflejan el incremento en la contaminación resultante de incrementos en la demanda de productos por el sector familias del sector *j*.

En particular, el índice de intensidad producto-ambien-

⁸ La actualización a 1987 se encuentra en Guajardo-Quiroga (1990)

⁹ Una presentación detallada de la metodología de "*Location Quotients*" se encuentra en Miller y Blair op. cit.

¹⁰ La generación de contaminantes por cada millón de pesos de producto interno bruto de los 17 sectores en que es desagregada la economía del estado de Nuevo León

TABLA I. TONELADAS DE CONTAMINACIÓN POR MILLÓN DE PESOS DE PRODUCTO EN EL ESTADO DE NUEVO LEÓN EN 1998¹

Sector*	PST	SO ₂	CO	NOX	HC	Pb ²
1	30.11396	0	0	4.4829E-04	0.13338	0
2	46.84672	0	0	4.1494E-03	1.23455	0
3	1.25557	3.0224E-03	5.0373E-03	1.1929E-02	8.0911E-02	0
4	3.79865	0	0	0	0.1267	0
5	15.71125	0.33534	3.7693E-02	0.20907	0.52709	0
6	3.26912	0	0	3.6653E-04	0.10905	0
7	1.05895	0.14475	3.3804E-02	4.1657E-02	0.1876	0
8	3.64157	1.07554	1.8905E-02	0.2708	4.6235E-02	0
9	1.38571	1.162E-03	5.1016E-02	2.175E-02	6.6608E-02	0
10	0.27183	3.2325E-05	5.075E-03	2.141E-03	1.5183E-02	0
11	6.30252	2.6039E-04	1.302E-03	5.6521E-03	0.47706	0
12	11.29793	0	0	1.6141E-04	4.8022E-02	0
13	3.4713	0.48742	8.4362E-02	1.62399	0.12172	0
14	0.41907	0	0	4.6986E-05	0.11216	0
15	0.65615	5.3866E-02	19.73297	0.74769	1.98409	2.5308E-03
16	0.5256	0	0	5.893E-05	1.7533E-02	0
17	0.30277	0	0	3.3947E-05	0.11724	0

* El sector 1 es agricultura, el 2 es minería y así sucesivamente de acuerdo con el orden presentado en la sección 4.1

¹ Los datos de esta tabla provienen del inventario de emisiones publicado por el Programa de Administración de la Calidad de Aire del Área Metropolitana de Monterrey 1997-2000 y fueron actualizados utilizando una relación simple entre PIB y generación de contaminación

² La Subsecretaría de Ecología del estado de Nuevo León, la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca y la Secretaría de Salud sólo estiman la generación de plomo para el sector transporte, por lo que los resultados de este estudio pudiesen subestimar la existencia de plomo en el aire

tal refleja el cambio total (la suma de los efectos directos, indirectos e inducidos) en la generación de un contaminante (en toneladas) para cada industria o sector debido al cambio de una unidad (millón pesos) en el producto total de un sector. En las **tablas II a VII** se presentan los efectos producto-ambientales directos, indirectos, in-

ducidos y totales para los 6 contaminantes considerados, para cada sector de la economía del estado de Nuevo León.

Partículas suspendidas totales

En la **tabla II** se muestra los índices producto-am-

TABLA II. ÍNDICES DE INTENSIDAD PRODUCTO-AMBIENTALES POR SECTOR DE LA GENERACIÓN DE PARTÍCULAS SUSPENDIDAS TOTALES (PST) EN EL AIRE DEL ESTADO DE NUEVO LEÓN EN 1998 (TONELADAS POR MILLÓN PESOS DE PRODUCTO)

Sector	Directo	Indirecto	Inducido	Total ¹
Agricultura	30.11396	0.85977	0.28224	31.25597
Minería	46.84672	0.34468	0.2663	47.4577
Alimentos	1.25557	1.46561	0.14751	2.8687
Textiles	3.79865	0.95711	0.27074	5.0265
Madera	15.71125	2.68989	0.28390	18.68504
Papel	3.26912	1.16089	0.44472	4.87473
Agentes químicos	1.05895	0.72453	0.31651	2.09999
Minerales no metálicos	3.64157	1.12127	0.51104	5.27388
Metálicos	1.38571	1.11464	0.31412	2.81447
Maquinaria y equipo	0.27183	0.70125	0.41867	1.39175
Otras industrias metálicas	6.30252	0.9618	0.27698	7.5413
Construcción	11.29793	1.43896	1.12499	13.86188
Electricidad, gas y agua	3.4713	1.53405	0.84388	5.84922
Comercio	0.41907	0.52283	1.10077	2.04268
Transporte	0.65615	0.54316	0.95686	2.15617
Bancos	0.5256	0.67554	0.81271	2.01385
Servicios	0.30277	0.50622	1.75587	2.56487

¹ Es la suma de los efectos directo, indirecto e inducido

TABLA III. ÍNDICES DE INTENSIDAD PRODUCTO-AMBIENTALES POR SECTOR DE LA GENERACIÓN DE DIÓXIDO DE AZUFRE (SO₂) EN EL AIRE DEL ESTADO DE NUEVO LEÓN EN 1998 (TONELADAS POR MILLÓN PESOS DE PRODUCTO)

Sectores	Directo	Indirecto	Inducido	Total
Agricultura	0	4.0361E-03	6.19812E-03	1.0234E-02
Minería	0	9.6931E-03	5.84812E-03	1.5541E-02
Alimentos	3.0224E-02	3.6028E-03	3.23951E-03	3.7066E-02
Textiles	0	7.9966E-03	5.94572E-03	1.3942E-02
Madera	0.33534	1.2841E-02	6.23466E-03	0.35441
Papel	0	2.1637E-02	9.76627E-03	3.1403E-02
Agentes químicos	0.14475	2.7793E-02	6.9508E-03	0.1795
Minerales no metálicos	1.07554	0.14706	1.12228E-02	1.23383
Metálicos	1.162E-02	3.2024E-02	6.89828E-03	5.0543E-02
Maquinaria y equipo	3.2325E-05	3.3145E-02	9.19431E-03	4.2371E-02
Otras industrias metálicas	2.6039E-04	2.5608E-02	6.08266E-03	3.1951E-02
Construcción	0	0.14958	2.47055E-02	0.17429
Electricidad, gas y agua	0.48742	4.3568E-02	1.85321E-02	0.54952
Comercio	0	1.845E-02	2.41737E-02	4.2624E-02
Transporte	5.3866E-02	2.9288E-02	2.10134E-02	0.10417
Bancos	0	2.4013E-02	1.78476E-02	4.186E-02
Servicios	0	1.859E-02	3.8561E-02	5.715E-02

bientales para la emisión de partículas suspendidas totales se incluyen los índices de impacto directo, indirecto, inducido y el total. Su interpretación es la siguiente, por ejemplo, para la industria química: si la producción total de la industria química se incrementa en un millón de pesos, la cantidad (en toneladas) de partículas suspendidas totales se incrementa en 2.1 toneladas; este total está compuesto de: 1.06 que se genera de manera directa, 0.72 de manera indirecta y 0.32 de manera inducida.

El sector minero tiene el mayor índice de intensidad de generación de partículas suspendidas totales; por cada millón de incremento en su producto total genera 47.46 toneladas de PST. El índice total está integrado por 46.85 de generación directa, 0.34 toneladas de generación indirecta y 0.27 toneladas de generación inducida.

Con respecto a la generación de partículas suspendidas totales, se encontró que el sector minero tiene el índice de generación mayor, principalmente debido a su generación directa. Sin embargo, el sector que arroja más partículas suspendidas totales de manera indirecta es la madera, seguido por la electricidad, el gas y el agua, el de la construcción y el sector que reporta mayor efecto inducido es el de servicios, seguido por los de la construcción y el comercio. En general, los resultados muestran que para los sectores alimentos, maquinaria y equipo, comercio, transporte, bancos y servicios, la contaminación indirecta e inducida son más relevantes que la contaminación generada de manera directa.

Bióxido de azufre

En la **tabla III** se presentan los índices de intensidad de generación contaminación para el bióxido de azufre asociado con la producción de cada sector de la economía del estado de Nuevo León. El sector de productos

no metálicos tiene el mayor índice de intensidad de generación de bióxido de azufre generando 1.23 toneladas de dióxido de azufre por cada millón de pesos de producto. Este total está compuesto por 0.14706 toneladas de generación directa, 0.000012 toneladas de indirecta y 0.00122 toneladas de inducida.

En la generación de bióxido de azufre se observa que el sector con el mayor índice de contaminación es el de minerales no metálicos, principalmente debido a su generación directa. Sin embargo, el índice indirecto más alto lo tiene el sector de la construcción y el de servicios tiene el mayor índice inducido.

Se observa que a pesar de que en algunos sectores como agricultura, minería, textiles, papel, construcción, comercio, bancos y servicios no generan de manera directa dióxido de azufre, si lo producen de manera indirecta e inducida. Esto se debe a que incrementos en la demanda de su producto requerirán insumos o bienes de otros sectores que si lo generan. En particular, es evidente en los resultados de que se presentan en la **tabla III** que la generación indirecta e inducida de dióxido de azufre, en la mayoría de los casos, es más relevante que la generación directa.

Monóxido de carbono

La **tabla IV** presenta los índices de intensidad producto-ambientales y su descomposición en índices directos, indirectos, inducidos y totales para el monóxido de carbono. Por ejemplo, por cada millón pesos de producto adicional del sector transporte, principal generador de este contaminante, se producen 22.03 toneladas de monóxido de carbono; esta cantidad se compone de: 19.73 toneladas de efecto directo, 0.73 toneladas de efecto indirecto y 1.57 toneladas de efecto inducido.

TABLAIV. ÍNDICES DE INTENSIDAD PRODUCTO-AMBIENTALES POR SECTOR DE LA GENERACIÓN DE MONÓXIDO DE CARBONO (CO) EN EL AIRE DEL ESTADO DE NUEVO LEÓN EN 1998 (TONELADAS POR MILLÓN PESOS DE PRODUCTO)

Sectores	Directo	Indirecto	Inducido	Total
Agricultura	0	5.7853E-02	0.46392	0.52177
Minería	0	0.30089	0.43772	0.73862
Alimentos	5.0373E-03	6.5808E-02	0.24247	0.31332
Textiles	0	0.19381	0.44503	0.63884
Madera	3.7693E-02	0.26715	0.46666	0.7715
Papel	0	0.39143	0.73099	1.12242
Agentes químicos	3.3804E-02	0.35814	0.52026	0.9122
Minerales no metálicos	1.8905E-02	0.56264	0.84001	1.42156
Metálicos	5.1016E-02	0.64433	0.51633	1.21168
Maquinaria y equipo	5.075E-03	0.78286	0.68818	1.47611
Otras industrias metálicas	1.302E-03	0.50259	0.45528	0.95917
Construcción	0	1.16069	1.84917	3.00986
Electricidad, gas y agua	8.4362E-02	0.51343	1.3871	1.98489
Comercio	0	0.89497	1.80937	2.70434
Transporte	19.73297	0.72687	1.57282	22.03267
Bancos	0	0.58508	1.33587	1.92095
Servicios	0	0.36468	2.88617	3.25085

El sector transporte tiene también el índice de generación directa mayor, pero el índice indirecto mayor lo tiene la construcción, y el mayor índice inducido lo presenta el sector servicios. Aquí también se observa que aunque algunos sectores no producen directamente monóxido de carbono, si lo generan de manera indirecta e inducida; tal es el caso de los sectores agricultura, minería, textiles, papel, construcción, comercio, bancos y servicios.

Óxidos de nitrógeno

Los índices de generación de óxidos de nitrógeno se muestran en la **tabla V**. La interpretación de esta tabla es similar a las anteriores. El sector transporte es el principal generador de este contaminante y tiene un índice de intensidad total de 0.87342, compuesto por 0.74769 toneladas por millón de pesos, generadas de manera directa, 0.049469 producidas indirectamente y 0.0762592 debidas al efecto inducido de gasto de las familias.

TABLA V. ÍNDICES DE INTENSIDAD PRODUCTO-AMBIENTALES POR SECTOR DE LA GENERACIÓN DE ÓXIDOS DE NITRÓGENO (NO_x) EN EL AIRE DEL ESTADO DE NUEVO LEÓN EN 1998 (TONELADAS POR MILLÓN PESOS DE PRODUCTO)

Sector	Directo	Indirecto	Inducido	Total
Agricultura	4.4829E-04	5.4923E-03	2.24935E-02	2.8434E-02
Minería	4.1494E-03	2.8029E-02	2.12233E-02	5.3402E-02
Alimentos	1.1929E-02	5.0084E-03	1.17564E-02	2.8694E-02
Textiles	0	1.4224E-02	2.15775E-02	3.5801E-02
Madera	0.20907	2.0702E-05	2.26261E-05	0.2524
Papel	3.6653E-04	4.9053E-02	3.54426E-02	8.4862E-02
Agentes químicos	4.1657E-02	4.5922E-02	2.5225E-02	0.1128
Minerales no metálicos	0.2708	0.14018	4.07286E-02	0.45171
Metálicos	2.175E-02	9.3453E-02	2.50344E-02	0.14024
Maquinaria y equipo	2.141E-03	5.9808E-02	3.33669E-02	9.5316E-02
Otras industrias metálicas	5.6521E-03	3.7576E-02	2.20745E-02	6.5303E-02
Construcción	1.6141E-05	0.11038	8.96583E-02	0.2002
Electricidad, gas y agua	1.62399	0.13301	6.72545E-02	1.82426
Comercio	4.6986E-05	6.2873E-02	8.77284E-02	0.15065
Transporte	0.74769	4.9469E-02	7.62592E-02	0.87342
Bancos	5.893E-05	5.485E-02	6.47706E-02	0.11968
Servicios	3.3947E-05	2.8657E-02	0.139938	0.16863

TABLA VI. ÍNDICES DE INTENSIDAD PRODUCTO-AMBIENTALES POR SECTOR DE LA GENERACIÓN DE HIDROCARBUROS (HC) EN EL AIRE DEL ESTADO DE NUEVO LEÓN EN 1998 (TONELADAS POR MILLÓN PESOS DE PRODUCTO)

Sector	Directo	Indirecto	Inducido	Total
Agricultura	0.13338	1.6674E-02	5.94186E-02	0.20947
Minería	1.23455	4.6554E-02	5.60633E-02	1.33717
Alimentos	8.0911E-02	1.8234E-02	3.10557E-02	0.1302
Textiles	0.1267	4.4716E-02	5.6999E-02	0.22841
Madera	0.52709	5.8894E-02	5.97689E-02	0.64575
Papel	0.10905	8.961E-02	9.36249E-02	0.29229
Agentes químicos	0.1876	7.223E-02	6.66342E-02	0.32646
Minerales no metálicos	4.6235E-02	0.10605	0.107588	0.25988
Metálicos	6.6608E-02	0.11629	6.61307E-02	0.24903
Maquinaria y equipo	1.5183E-02	0.12486	8.81418E-02	0.22818
Otras industrias metálicas	0.47706	0.10064	5.83118E-02	0.63601
Construcción	4.8022E-02	0.18323	0.236841	0.46809
Electricidad, gas y agua	0.12172	0.11573	0.177659	0.41511
Comercio	0.11216	0.13346	0.231743	0.47736
Transporte	1.98409	0.12793	0.201446	2.31347
Bancos	1.7533E-02	0.12231	0.171098	0.31094
Servicios	0.11724	7.0452E-02	0.369659	0.55735

La emisión de óxidos de nitrógeno por unidad de producto está en su mayor parte influida (si se toman todos los efectos) por los sectores electricidad y agua. También se puede observar que el mayor efecto directo es por parte de este mismo sector; sin embargo, el mayor efecto indirecto lo reporta el sector de minerales no metálicos y nuevamente los servicios producen el mayor efecto inducido.

En esta **tabla V** también se hace evidente la importancia de la generación indirecta e inducida, por ejemplo el sector de electricidad y agua tiene el mayor índice de generación indirecta y el sector servicios el de mayor efecto inducido. También se observa que, en general, la producción de contaminantes indirectos e inducidos es frecuentemente más relevante que la generación directa. Incluso, el sector textil aunque no produce óxidos de nitrógeno de manera directa, sí lo hace de manera indirecta e inducida.

Hidrocarburos

En **tabla VI** se presentan los índices producto-ambientales de la generación de hidrocarburos. Se observa que el sector transporte tiene el índice de intensidad total mayor en la economía del estado de Nuevo León, 2.31347 toneladas por cada millón de pesos de producto. Este índice total está compuesto por 1.98409 toneladas por millón de pesos de generación directa, 0.12793 de generación indirecta y 0.201446 de generación inducida.

En lo referente a la emisión de hidrocarburos por unidad de producción el sector con mayor índice de generación indirecta es la construcción y el que tiene el mayor índice de generación inducida es el sector servicios. También para el caso de hidrocarburos se encontró que algu-

nos sectores para los cuales la generación directa es relativamente pequeña su generación indirecta e inducida es más relevante como en el caso de los sectores de minerales no metálicos, metálicos, maquinaria y equipo, comercio, bancos y servicios.

Plomo

La **tabla VII** presenta los índices de intensidad de la generación de plomo en la atmósfera del estado de Nuevo León. El sector transporte es el principal generador de plomo en el ambiente con un índice de 0.0028245 toneladas por cada millón de pesos de producto. Este índice se compone de 0.0025308 toneladas de plomo de generación directa y 0.00009234 toneladas de generación indirecta y 0.00020136 toneladas de generación inducida.

En la **tabla VII** se hace evidente que el sector transporte es el único sector reportado que contamina el aire con plomo de manera directa; sin embargo, todos los sectores lo hacen de manera indirecta e inducida. El sector de la construcción tiene el mayor índice indirecto y el sector de los servicios tienen el mayor índice de generación inducida.

CONCLUSIONES

En este trabajo, se utiliza un modelo de insumo-producto que incorpora la interdependencia de la estructura económica y de la generación de contaminación para obtener índices de intensidad de la generación de contaminación del aire. Los índices reflejan los efectos directos, indirectos e inducidos de la generación de 6 contami-

TABLA VII. ÍNDICES DE INTENSIDAD PRODUCTO-AMBIENTALES POR SECTOR DE LA GENERACIÓN DE PLOMO (Pb) EN EL AIRE DEL ESTADO DE NUEVO LEÓN EN 1998 (TONELADAS POR MILLÓN PESOS DE PRODUCTO)

Sector	Directo	Indirecto	Inducido	Total
Agricultura	0	7.3223E-06	5.9395E-05	6.6717E-05
Minería	0	3.8385E-05	5.6041E-05	9.4425E-05
Alimentos	0	8.3814E-06	3.1043E-05	3.9425E-05
Textiles	0	2.4652E-05	5.6976E-05	8.1628E-05
Madera	0	3.4017E-05	5.9745E-05	9.3762E-05
Papel	0	4.9674E-05	9.3587E-05	1.4326E-04
Agentes químicos	0	4.5326E-05	6.6607E-05	1.1193E-04
Minerales no metálicos	0	7.0901E-05	1.0755E-04	1.7845E-04
Metálicos	0	8.0826E-05	6.6104E-05	1.4693E-04
Maquinaria y equipo	0	9.9373E-05	8.8106E-05	1.8748E-04
Otras industrias metálicas	0	6.3962E-05	5.8288E-05	1.2225E-04
Construcción	0	1.4732E-04	2.3675E-04	3.8406E-04
Electricidad, gas y agua	0	6.4889E-05	1.7759E-04	2.4248E-04
Comercio	0	1.1438E-04	2.3165E-04	3.4603E-04
Transporte	2.5308E-03	9.2342E-05	2.0136E-04	2.8245E-03
Bancos	0	7.463E-05	1.7103E-04	2.4566E-04
Servicios	0	4.6417E-05	3.6951E-04	4.1593E-04

nantes atmosféricos; partículas suspendidas totales (PST), dióxido de azufre (SO₂), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), hidrocarburos (HC) y plomo (Pb); resultantes de incrementos en la demanda final de cada sector de la economía.

Los índices de intensidad de la generación de contaminación del aire aquí presentados contribuyen al diseño, a la evaluación y al seguimiento de políticas para regular la contaminación. Estos índices incorporan los efectos totales en la contaminación derivados del crecimiento económico, o de otra manera, los costos económicos de la regulación ambiental. Además, éstos son una guía para seleccionar los sectores que pudiesen ser objeto de regulación y para trazar los avances o los retrocesos en materia de contaminación ambiental.

Se encontró que todos los sectores productivos están relacionados de manera directa o indirecta con la producción de al menos un contaminante del aire, y que aunque algunos sectores, en particular, no producen algún contaminante de manera directa si lo hacen en forma indirecta o inducida. Además, para la mayoría de los sectores la contaminación que se genera de manera indirecta e inducida es más relevante que la contaminación que se genera de manera directa. Por lo tanto, contrario a la práctica común de estimación de impactos en la contaminación basada en los coeficientes directos, se recomienda el uso de índices totales de intensidad de generación de contaminantes.

Finalmente, aunque son bien conocidas las ventajas y limitaciones de los modelos de insumo-producto, se pretende subrayar principalmente los problemas para llevarlos al campo de la aplicación práctica. En general, sobresale la colección de datos económicos que inciden en la confiabilidad del modelo y en particular, la dificultad para

obtener información relacionada con la generación de contaminantes, resultado de la reticencia de organizaciones públicas y privadas en proporcionar este tipo de información. Sin embargo, los resultados de este artículo sugieren que los problemas de la contaminación y el diseño de políticas para combatirla deben apoyarse en estudios de este tipo.

REFERENCIAS

- Babcock M. W. (1993). A survey approach to developing an input-output model. In: *Microcomputer-based input-output modeling applications to economic development* (D. M. Otto y T. G. Johnson, Eds.). Westview Press, Boulder, pp. 57-69.
- Braschler C. H. y Devino G. T. (1993). Nonsurvey approach to I/O modeling. In: *Microcomputer-based input-output modeling applications to economic development* (D. M. Otto y T. G. Johnson, Eds.). Westview Press, Boulder, pp. 70-78.
- Casler S. D. y Blair P. D. (1997). Economic structure, fuel combustion, and pollution emissions. *Ecol. Econ.* 22,19-27.
- Fankhauser P y McCoy D. (1995). *Modeling the economic consequences of environmental policies*. In: *Principles of environmental and resource economics*. (H. Folmer, H. L. Gabel y H. Opschoor, Ed.). Eduard Elger, Cheltenham, pp. 253-275.
- Frickman C. E. (2000). *International trade emissions in Brazil: an input-output approach*. In *XIII International Conference on Input-Output Techniques*, Macerata, pp. 1-23.
- Guajardo-Quiroga R. (1990). *Economic impact of the maquiladora industry in Mexico*. Ph.D. Dissertation, Texas A&M University. College Station, pp. 68-70.

- Guajardo-Quiroga R. y García-López P. (2001). Análisis de la estructura del sector agua en Nuevo León y sus relaciones intersectoriales. *Estud. Econom.* 16, 253-270.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, INEGI:
- Clasificación Mexicana de Actividades y Productos, 1999. (CMAP)
 - Sistema de Cuentas Nacionales de México, 1999. Cuentas de Bienes y Servicios 1988-1997, Tomo I.
 - Sistema de Cuentas Nacionales de México: Producto Interno Bruto por Entidad Federativa 1993-1996. Por gran división y división industrial.
 - XII Censo General de Población y Vivienda, 2000.
- Machado G. V. (2000). *Energyuse, CO₂ emissions and foreign trade: an input-output approach applied to the Brazilian case.* In *XIII International Conference on Input-Output Techniques*, Macerata, pp. 1-12.
- McMenamin D. G. y Haring J. E. (1974). An appraisal of nonsurvey techniques for estimating regional input-output models. *Reg. Science* 14, 191-205.
- Miller R. E. y Blair P. D. (1985). *Input-output analysis: Foundations and extensions*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, Nueva Jersey, pp. 237-252.
- Naciones Unidas (1999). *Manual sobre la compilación y el análisis de los cuadros de insumo-producto.* Naciones Unidas, Nueva York, pp. 3-15.
- Subsecretaría de Ecología del Estado de Nuevo León, SEMARNAP y Secretaría de Salud, (1997). *Programa de administración del aire del Área Metropolitana de Monterrey 1997-2000*, Monterrey, Nuevo León.