

# Políticas de mitigación del cambio climático en México: un análisis de insumo-producto

Pablo Ruiz Nápoles

Las políticas de *mitigación* del cambio climático son aquellas que reducen las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) o aumentan su absorción. Para establecer una, es necesario identificar los sectores productivos que directa o indirectamente generan emisiones de GEI. En este trabajo se desarrolla un modelo de insumo-producto medioambiental de la economía mexicana con el propósito de analizar los efectos de un cambio en la tecnología de algunos de los sectores clave que se identifican como estratégicos y altamente emisores de GEI. La idea central es descubrir en qué medida el uso de tecnologías más eficientes en el sentido ambiental en estos sectores hace posible la reducción de las emisiones totales bajo distintos escenarios de crecimiento económico.

**Palabras clave:** cambio climático, gases de efecto invernadero, insumo-producto, sectores, externalidades.

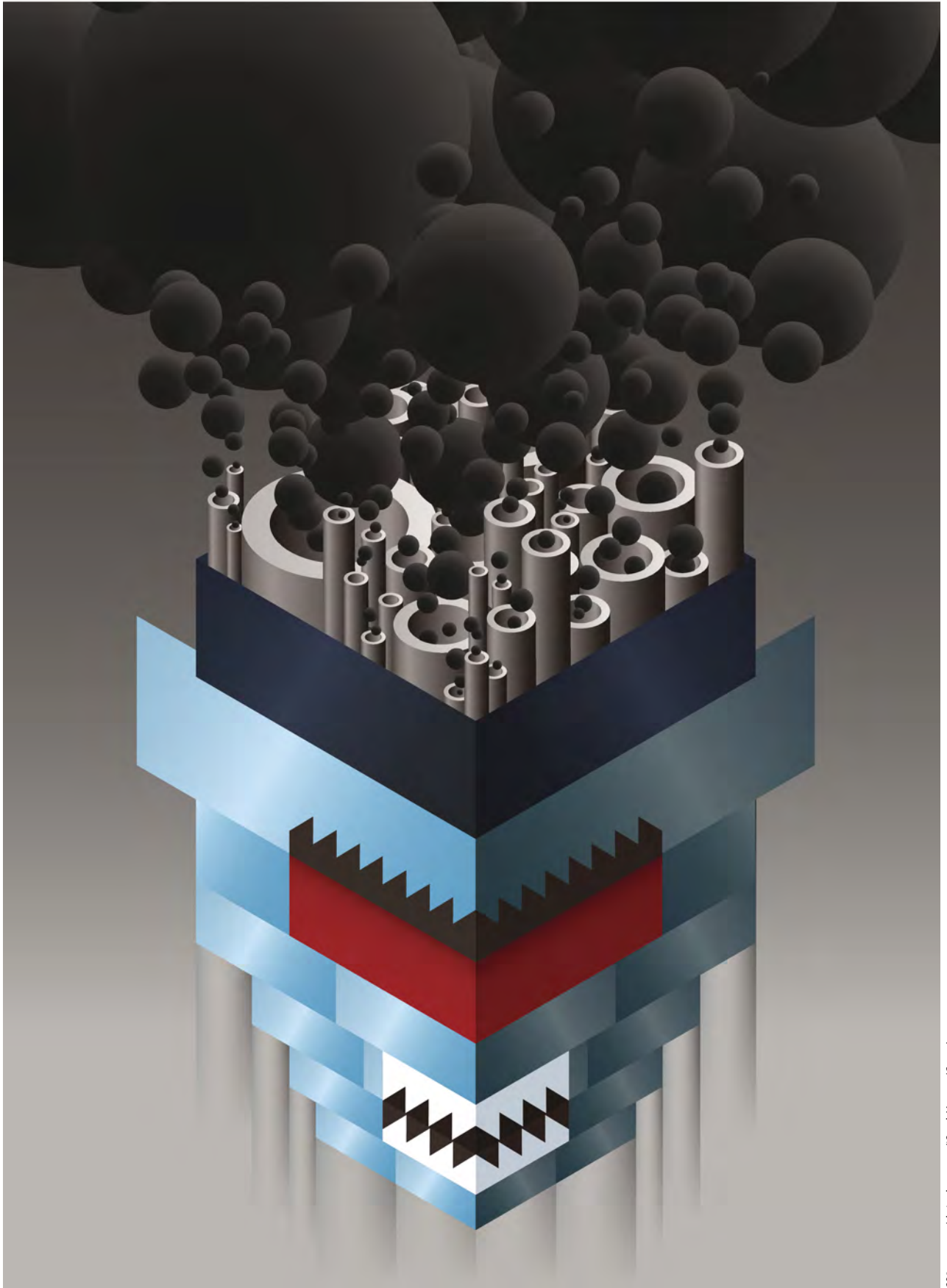
**Clasificación del *Journal of Economic Literature* (JEL):** C67, D62, Q54.

**Recibido:** 15 de octubre de 2013  
**Aceptado:** 9 de enero de 2014

With respect to climate change, mitigation means implementing policies to reduce greenhouse gas (GHG) emissions or enhance sinks. In order to design a mitigation scenario, it is necessary to identify those economic sectors of production, or industries, which directly or indirectly generate GHG emissions becoming, therefore, the sectors that call for special attention. In this work we develop an environment input-model model for the Mexican economy for analyzing the effects of a technological change in some of the key sectors —those we identify as economically strategic and high GHG producers sectors. The main idea is to find out to what extent GHG emissions reducing technologies, applied in these selected sectors reduce overall GHG emissions, under different growth scenarios.

**Key words:** climate change, greenhouse gases, input-output, sectors, externalities.

**JEL classification:** C67, D62, Q54.



CO2 monster/chris\_lemmens/iStock Vectors/Getty Images

## I. Introducción

El cambio climático consiste en el incremento gradual en la temperatura del planeta, el aumento en el nivel del mar y el cambio en los patrones de lluvia, así como en la frecuencia, magnitud e intensidad de eventos de clima extremo, como sequías e inundaciones. Con base en el estado actual del conocimiento es posible identificar algunas relaciones causa-efecto entre las fuentes de los llamados gases de efecto invernadero (GEI), las emisiones y la concentración de estos gases, el calentamiento global y las consecuencias climáticas sobre la población y el medioambiente.

Lo anterior permite prever distintos escenarios de la economía, con base en los cuales podemos evaluar las opciones para políticas de adaptación y mitigación con el fin de enfrentar el problema. La *mitigación* se definió por el Panel Intergubernamental en Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) de la Organización de las Naciones Unidas como: "...el cambio tecnológico y la sustitución que reduce insumos y emisiones por unidad de producto. Aunque varias políticas de orden social, económico y tecnológico podrían producir una reducción de las emisiones, las políticas de *mitigación* respecto al cambio climático son aquellas que reducen las emisiones de gases de efecto invernadero o aumentan su absorción o captura..." (IPCC, 2007, Annex II, p. 84).

En general, las políticas de mitigación tienen como objetivo la reducción del consumo de combustibles fósiles y la sustitución por fuentes bajas en carbono o la captura del mismo proveniente de las emisiones y su absorción o almacenamiento. Por lo tanto, los factores que se deben atender son los que ocasionan este consumo de combustibles fósiles, los cuales se relacionan de un modo u otro con la actividad económica, entendida en un sentido amplio.

Para diseñar un escenario de mitigación desde un punto de vista económico, es necesario identificar aquellos sectores productivos o ramas que directa o indirectamente generan emisiones de GEI

y que, por lo tanto, requieren atención especial, pues son clave para la *mitigación*. Esta perspectiva podría ser considerada del lado de la oferta.

Los costos económicos de la mitigación del cambio climático dependen, en esencia, tanto de las intensidades de uso de energía de los sectores económicos como del valor absoluto de sus correspondientes emisiones de GEI. Ambos factores están asociados a las características tecnológicas de sus respectivos procesos productivos.

Hay distintos tipos de modelos económicos que tratan aspectos diversos de las políticas de mitigación del cambio climático desde perspectivas distintas y, en consecuencia, bajo supuestos diferentes. Los modelos pueden ser macroeconómicos, econométricos, de equilibrio general, etcétera. El presente estudio se refiere sólo a aquellos dentro de la tradición de insumo-producto o análisis estructural que podrían ser definidos como modelos mesoeconómicos (no son ni micro ni macro) que manejan magnitudes económicas sectoriales.

Lo que tratamos, por lo tanto, es construir y desarrollar un modelo de insumo-producto medioambiental (IPM) de la economía mexicana con el propósito de analizar los efectos de un cambio en la tecnología de algunos de los sectores clave que identificamos como estratégicos desde el punto de vista de la estructura económica y como altamente emisores de GEI de manera simultánea. El periodo en el cual se estudia este análisis de impacto va del 2008 al 2020. La idea central es descubrir en qué medida el uso de tecnologías más eficientes en el sentido ambiental —es decir, menos contaminantes en estos sectores clave— hace posible la reducción de las emisiones totales bajo distintos escenarios de crecimiento del producto interno bruto (PIB).

Este artículo es un resumen de un trabajo de investigación más amplio. Está compuesto de cinco secciones incluyendo esta introducción. En la segunda, se abordan algunos problemas de orden general y se identifican los sectores estratégicos

de la economía mexicana, así como los más contaminantes. La tercera expone el modelo diseñado para estimar las emisiones por sector en el periodo 2008-2020 bajo diferentes escenarios de crecimiento y de cambio tecnológico. En la cuarta se analizan los resultados del modelo y en la quinta se extraen algunas conclusiones y recomendaciones de política con base en dichos resultados.

## II. Políticas de mitigación y ramas estratégicas

Estas políticas se encuentran centradas en la introducción de tecnologías de reducción o abatimiento de la emisión de GEI. En algunos casos, éstas son específicas para cada sector o rama económica (*industry*, en inglés) y son de dos tipos, una es llamada tecnología *al final de la línea* (*end-of-the-pipe*, en inglés) que reduce las emisiones de GEI sin implicar otros cambios en el proceso productivo y otra es la que implica un cambio importante en el proceso de producción del bien de que se trate, lo que se refleja en cambios en los coeficientes técnicos del vector de insumos del sector, con el fin de reducir la emisión de GEI.

Para inducir entre los productores de bienes y servicios un cambio tecnológico que reduzca las emisiones de GEI, los gobiernos tienen una variedad de instrumentos y medidas de política a aplicar: programas orientados al mercado, medidas regulatorias, acuerdos voluntarios, impulso a la investigación y desarrollo (I y D) en áreas específicas y medidas de apoyo en infraestructura. Tanto el IPCC (1996, 2000, 2001) como la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OECD, por sus siglas en inglés, 1999) consideran en sus estudios sobre mitigación que no se puede aplicar sólo un instrumento o medida, sino que se debe adoptar un conjunto de medidas de acuerdo con las condiciones nacionales, regionales y locales. Para estimar el impacto del cambio climático en los escenarios económicos futuros, se han construido modelos de varios tipos: de alcance global, regional, nacional y local.

El problema del cambio climático fue definido por Nicholas Stern, como "...la falla de mercado más grande que se haya visto..." (Stern, 2006). Esto significa, sin lugar a dudas, que la naturaleza del problema impide que los mecanismos del mercado, por sí solos, puedan resolverlo. Entre las dificultades que se encuentran hay una amplia serie de imperfecciones de mercado que proliferan en todas las economías del mundo, grandes y pequeñas (Duval, 2008; Stiglitz, 1991). Otro problema no menos importante es que, en la práctica, las innovaciones tecnológicas orientadas a reducir la contaminación sólo ocurren cuando el Estado participa activamente en su promoción (Hašičič *et al.*, 2010). Por último, está el inconveniente de la distribución desigual de los costos de la mitigación que crea o acentúa desigualdades preexistentes dentro o entre regiones y países, que obliga a la acción de las naciones para prevenirlas o compensarlas.

Por todas estas dificultades de los mercados, es una obligación ineludible de los gobiernos la de instrumentar políticas de Estado que complementen o sustituyan a los mecanismos del mercado cuando éstos no funcionan de forma correcta o con la rapidez suficiente para hacer efectivas las políticas de *mitigación* del cambio climático.

### 1. Ramas estratégicas de la economía mexicana

El uso que inicialmente hicimos de la matriz de insumo-producto de México del 2008 (INEGI, 2011) consistió en identificar los sectores clave o estratégicos de la economía —así llamados por su importancia en la estructura económica—; en segundo término, establecer las ramas que, dentro del conjunto de las 79 que integran la matriz, destacan por ser las que emiten más GEI, de acuerdo con las mediciones más recientes (SEMARNAT, 2012).

En el análisis estructural se denominan como estratégicas o claves a ciertas ramas económicas por los efectos que tienen en las demás, ya sea a través de la demanda o de la oferta. La relación económica entre dos ramas se llama *encadenamiento* (*linkage*,

en inglés) de los cuales hay hacia adelante (de oferta) y hacia atrás (de demanda). Para medirlos, se usan dos índices muy reconocidos en el análisis estructural: los coeficientes de Rasmussen (1956) y los determinados por el método de extracción (Dietzenbacher, 1993, 1997).

De acuerdo con el número de estos encadenamientos, cada rama puede tener efectos transmisores fuertes o débiles hacia atrás o hacia adelante con el conjunto de la economía. Las que tienen más encadenamientos son consideradas clave o estratégicas porque su actividad demanda bienes de otras ramas o porque resultan proveedoras importantes de las demás. Este tipo de ramas son importantes para cualquier política que busque promover el crecimiento equilibrado de la economía.

#### **a) Sectores clave según los coeficientes de Rasmussen**

Rasmussen (1956) definió dos índices o coeficientes: uno de demanda (usando la matriz inversa de Leontief), al que llamó índice de poder de absorción, y otro de oferta (utilizando la matriz de distribución), que nombró índice de poder de dispersión. El primero mide los encadenamientos hacia atrás; el segundo, los que se hacen hacia adelante, ambos de cada una de las ramas o sectores que componen la matriz.

Al aplicar este método a la matriz de insumo-producto de la economía mexicana de 2008 obtuvimos resultados para todas las ramas de ambos índices. Son dos conjuntos de ramas económicas cuya intersección está compuesta por 11 ramas que tienen simultáneamente altos índices de absorción y de dispersión —es decir, hacia atrás y hacia adelante—: *Energía eléctrica, Insumos textiles, Industria del papel, Industria química, Industria del plástico y el hule, Industrias metálicas básicas, Productos metálicos, Maquinaria y equipo, Equipo de computación y electrónicos, Equipo de generación eléctrica y aparatos eléctricos y Equipo de transporte.*

#### **b) Encadenamientos determinados por el método de extracción**

Fue desarrollado por Erik Dietzenbacher (1993, 1997); calcula también encadenamientos hacia atrás (de demanda) y hacia adelante (de oferta) usando, de igual forma, las matrices de insumos y de distribución, respectivamente, pero con una formulación diferente a la de Rasmussen.

De la misma manera que el anterior, se utilizó la matriz de insumo-producto de México estimada para 2008, mediante la cual calculamos los encadenamientos hacia atrás y hacia adelante; las ramas más importantes son en total 15 (las mismas identificadas con el método de Rasmussen, menos dos: *Insumos textiles e Industria del papel, más Extracción de petróleo y gas, Edificación, Industria alimentaria, Productos derivados del petróleo y carbón, Productos a base de minerales no metálicos y Autotransporte de carga.*)

## **2. Ramas económicas altamente emisoras de GEI**

De acuerdo con los distintos modelos IPM, la identificación de las ramas o sectores económicos contaminantes es crucial para estimar los costos de la contaminación (Leontief, 1970; Aroche, 2000; Lenzen *et al.*, 2004; Munksgaard *et al.*, 2005). En este caso, nos referimos específicamente a la emisión de GEI.

Para identificar las ramas económicas con emisiones más altas de GEI, se utilizaron dos indicadores: primero se estimaron los niveles absolutos de emisión por rama económica tomando como base el *Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero* del Instituto Nacional de Ecología (INE), acoplado a la clasificación de actividades del IPCC que se usa en el *Inventario* con la del Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte, que usa la matriz de insumo-producto de México. Es de destacar que una sola rama (*Generación de energía eléctrica*), produce 23.7% de las emisiones totales de la economía.

En segundo lugar, se calculó el vector de coeficientes de emisiones por rama normalizando las emisiones con respecto al valor bruto de la producción (VBP) del mismo año para obtener las emisiones por unidad de producto (en este caso gigagramos de CO<sub>2</sub> equivalente de GEI por millón de pesos de VBP a precios del 2008).

En suma, en el caso de las ramas altamente emisoras de GEI en términos absolutos y relativos tenemos un grupo de 22: *Agricultura; Ganadería; Aprovechamiento forestal; Extracción de petróleo y gas; Minería de minerales metálicos y no metálicos; Generación, transmisión y suministro de energía eléctrica; Agua y suministro de gas por ductos al consumidor final; Edificación; Construcción no residencial; Industria alimentaria; Industria de bebidas y tabaco; Fabricación de productos derivados del petróleo y carbón; Industria química; Fabricación de productos a base de minerales no metálicos; Industrias metálicas básicas; Transporte aéreo; Transporte por ferrocarril; Transporte por agua; Autotransporte de carga; Transporte terrestre de pasajeros excepto por ferrocarril; Transporte turístico; Manejo de desechos y servicios de remediación.*

### 3. Ramas estratégicas y altamente emisoras

De las 22 que emiten mayores cantidades de GEI, identificamos un total de 17 ramas estratégicas desde el punto de vista estructural. En la *intersección* de estos dos conjuntos, aparecen tres grupos: en el primero hay sólo cinco ramas que son estratégicas de manera simultánea o claves por sus índices de encañamiento y muy emisoras de GEI en términos absolutos y relativos: *Generación, transmisión y suministro de energía eléctrica; Industrias metálicas básicas, Fabricación de productos derivados del petróleo y el carbón, Autotransporte de carga y Extracción de petróleo y gas.* En un segundo grupo consideramos dos ramas económicas: *Aprovechamiento forestal y Minería de minerales metálicos y no metálicos*, cuya combinación forma el conjunto que denominamos sector *estratégico-contaminante*. Un tercer grupo de ramas con altas emisiones lo constituyen cinco ramas, todas asociadas al transporte: aéreo, por ferrocarril, por agua, terrestre de pasajeros y turístico. El gran total es de 12 ramas económicas a las que consideramos relevantes para fines de mitigación de emisiones de GEI, es decir, que requieren especial atención para su regulación y el cambio tecnológico (ver cuadro 1).

Cuadro 1

#### Emisiones de GEI por rama en México, 2008

##### Ramas seleccionadas

Ord.	Núm. MIP	Ramas	Emisiones GEI Gg CO <sub>2</sub> eq.	% del total
1	9	Generación, transmisión y suministro de energía eléctrica	176 124.8	23.7
2	27	Industrias metálicas básicas	30 713.2	4.1
3	23	Fabricación de productos derivados del petróleo y carbón	4 686.2	0.6
4	39	Autotransporte de carga	91 189.0	12.3
5	6	Extracción de petróleo y gas	46 672.5	6.3
6	3	Aprovechamiento forestal	69 980.2	9.4
7	7	Minería de minerales metálicos y no metálicos	5 146.9	0.7
8	40	Transporte terrestre de pasajeros, excepto por ferrocarril	61 552.9	8.3
9	36	Transporte aéreo	6 094.3	0.8
10	37	Transporte por ferrocarril	2 230.3	0.3
11	38	Transporte por agua	1 848.5	0.2
12	42	Transporte turístico	1 457.6	0.2
<b>Total ramas seleccionadas</b>			<b>497 696.5</b>	<b>67.0</b>
<b>Total todas las ramas</b>			<b>742 436.2</b>	<b>100.0</b>

Fuente: elaboración propia con datos del Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAT.

### III. Modelo de insumo-producto medioambiental para México

A partir de los trabajos de Leontief sobre la limpieza del medioambiente en un análisis de insumo-producto (Leontief, 1970, 1973), ha habido varios modelos e instrumentos de análisis derivados de ellos. Destacan, para nuestro propósito, los aplicados a casos particulares de países o regiones, así como a sectores económicos, por ejemplo los de Duchin y Lange (1992, 1994), Kratena y Scheicher (1999), Idenburg y Wilting (2000, 2004), Lenzen, Pade y Munksgaard (2004), Wilting, Faber e Idenburg (2004), Kelly (2006) y Brink e Idenburg (2007); pero no pueden dejar de mencionarse los enfoques o modelos teóricos relacionados con la limpieza ambiental, como los de Steenge (1978), Lowe (1979), Qayum (1991), Arrous (1994), Lager (1998) y Luptacik and Böhm (1999).

De esta bibliografía destacan cuatro trabajos de IPM aplicados a la economía holandesa: Idenburg y Wilting (2000, 2004), Wilting, Faber e Idenburg (2004) y Brink e Idenburg (2007). Estos modelos resultaron de particular interés porque abordan directamente la introducción de tecnologías de reducción de emisiones de GEI. Comprenden, de hecho, dos tipos de modelos (uno dinámico y otro estático) con objetivos y metodologías relativamente distintas cada uno. El modelo IPM que construimos para México tiene diferencias importantes con estos dos, básicamente por las restricciones que impone la ausencia de información disponible.

#### 1. Objetivos y supuestos del modelo IPM para México

Su propósito central es determinar en qué ramas de la economía es necesario realizar un cambio de tecnología para reducir la emisión total de GEI y cuáles serían sus efectos en el mediano plazo.

El modelo supone la aplicación de un conjunto de tecnologías reductoras en las ramas del sector denominado *estratégico-contaminante* y estima, en primer lugar, su efectividad para reducir las emisiones de GEI y en segundo, su impacto en términos de

producción. El escenario alternativo supuesto es el de *Business as Usual* (BAU), que implica la ausencia de cambio tecnológico en la estructura económica. Se toman como tasas de crecimiento de la economía mexicana, por un lado, las registradas por agencias oficiales en el periodo 2008-2010 y las supuestas por esas mismas agencias para el 2010-2020 y, por el otro, se supone un crecimiento del PIB alternativo a una tasa de la mitad de la estimada para el lapso 2010-2020 que, en términos de PIB per cápita, es igual a cero.

De las siete ramas que integran el sector *estratégico-contaminante* fue posible simular en seis de ellas (*Generación, transmisión y suministro de energía eléctrica; Industrias metálicas básicas, Extracción de petróleo y gas; Autotransporte de carga; Minería de minerales metálicos y no metálicos y Aprovechamiento forestal*) la aplicación de tecnologías ya existentes que reducen en cada rama específica las emisiones de GEI. En el 2008, estas seis ramas representaron casi 60% de las emisiones totales de GEI por lo que, sin duda, es un grupo relevante para las políticas de mitigación desde la perspectiva de la producción económica.

No suponemos en el modelo que el mercado decide en cada caso qué tecnología resulta más conveniente aplicar, sino que esta decisión es el resultado de una política gubernamental basada en criterios de eficiencia técnica que se aplica por los mecanismos de regulación normativos que se consideren más adecuados según la rama, incluyendo la posibilidad de apoyos gubernamentales directos o indirectos para realizar las inversiones necesarias.

#### 2. El modelo y los escenarios

##### a) Modelo de producción con contaminantes

Partimos de la solución usual del modelo de insumo-producto:

$$x_t = (I - A_t)^{-1} y_t \quad (1)$$

donde:

$x_t$  = producción bruta medida en términos económicos en el tiempo  $t$ .

$A_t$  = matriz de coeficientes técnicos en el tiempo  $t$ .

$y_t$  = vector de demanda final o PIB en el tiempo  $t$ .

Introducimos ahora la ecuación de la emisión de GEI como subproducto:

$$x_t^p = \hat{e} x_t \quad (2)$$

donde:

$x_t^p$  = vector de emisiones de GEI medido en unidades de CO<sub>2</sub> equivalente.

$\hat{e}$  = matriz diagonal de emisiones de GEI por unidad de producto  $x$ .

$t = 0, 1, 2, \dots, 12$ , sea  $t = 0$  (2008 el año base) y  $t = 12$  (2020 el año final).

Combinando las ecuaciones (1) y (2) obtenemos:

$$x_t^p = \hat{e} (I - A_t)^{-1} y_t \quad (3)$$

para todo  $t \leq 6$

y,

$$x_t^p = \hat{e}^+ (I - A_t^+)^{-1} y_t \quad (4)$$

para todo  $t \geq 7$

donde:

$A_t^+$  = matriz estimada para  $t = 7$  modificada con nuevas tecnologías en las ramas del sector *estratégico-contaminante*, representadas como vectores nuevos en la matriz  $A$ .

La idea central es estimar diferencias absolutas y relativas entre las variables  $x_{t=0}^p$  y  $x_{t=12}^p$ , es decir, los niveles de contaminación entre el año base y el año final, suponiendo una tasa fija de crecimiento anual

del PIB,  $g^y = \Delta y_t / y_{t-1}$  ( $y$  = producto interno bruto) en el periodo  $t = 2$  a  $t = 12$ ; el resto del tiempo (o sea,  $t = 0, t = 1$  y  $t = 2$ ) son tasas reales proporcionadas por fuentes oficiales.

### b) Determinación de variables

- Variables observadas son todas donde  $t = 0$ , además  $y_{t=1}$  y  $y_{t=2}$ . Éstas y las matrices  $A$  y  $\hat{e}$  son datos que provienen de fuentes oficiales o bien son estimadas sobre esos datos.
- El vector pronosticado es  $y_{t=3, \dots, 12}$ .
- La variable exógena es la matriz  $A^+$  que es la matriz  $A$ , modificada en los vectores de insumos del sector *estratégico-contaminante* definido como  $\hat{e}^+$ .
- Los vectores incógnita estimados por el modelo son:  $x_{t \neq 0}^p, x_{t \neq 0}$ .

### c) Escenarios

Se tienen cuatro alternativos:

- Escenario 1 (E1): no hay cambio tecnológico, la economía crece a una tasa constante del PIB de 3.5% anual del año dos al 12. El supuesto de crecimiento se tomó de la línea base del estudio de SEMARNAT (2009).
- Escenario 2 (E2): no hay cambio tecnológico, la economía crece a una tasa constante del PIB de 1.7% anual del año dos al 12. Este crecimiento significa un PIB per cápita constante en el periodo.
- Escenario 3 (E3): hay un cambio simulado de tecnología en seis ramas del sector *estratégico-contaminante*, que ocurre en el cuarto año (2012), pero comienza a dar resultados al séptimo (2015); es decir, se supone un periodo de maduración o aprendizaje de tres años. Del año uno en adelante, la matriz  $A$  se convierte en  $A^+$ . El supuesto está fundamentado en experiencias de cambio tecnológico en las mismas ramas de otras economías. La economía crece a una tasa constante del PIB de 3.5% anual del año dos al 12.



- Escenario 4 (E4): como en E3, hay un cambio simulado de tecnología en seis ramas del sector *estratégico-contaminante* en los mismos periodos, pero como en E2, la economía crece a una tasa constante del PIB de 1.7% anual del año dos al 12.

## IV. Resultados del modelo aplicado

### 1. Línea base (*Business as Usual*) 2008 al 2020

Los primeros dos escenarios describen igual número de trayectorias sin cambio tecnológico para la reduc-

ción de emisiones de GEI (también llamadas líneas base o BAU), bajo dos supuestos de crecimiento del PIB distintos. La otra suposición importante que se mantiene en los cuatro escenarios considerados es que no hay ningún cambio en la *demand agregada* ni en sus componentes o estructura por rama en el periodo de estimación (2010-2020). Los resultados de las estimaciones aparecen en el cuadro 2 y en la gráfica 1, y tal como se aprecia en éstos, las tendencias de las emisiones de GEI son las mismas que las del PIB, por lo tanto, varían al mismo tiempo y en proporción similar. El 2009 registra un descenso en las emisiones debido a la disminución en el PIB por efecto de la crisis económica internacional que se reflejó en la economía mexicana.

Cuadro 2

### Trayectorias estimadas de emisiones de GEI

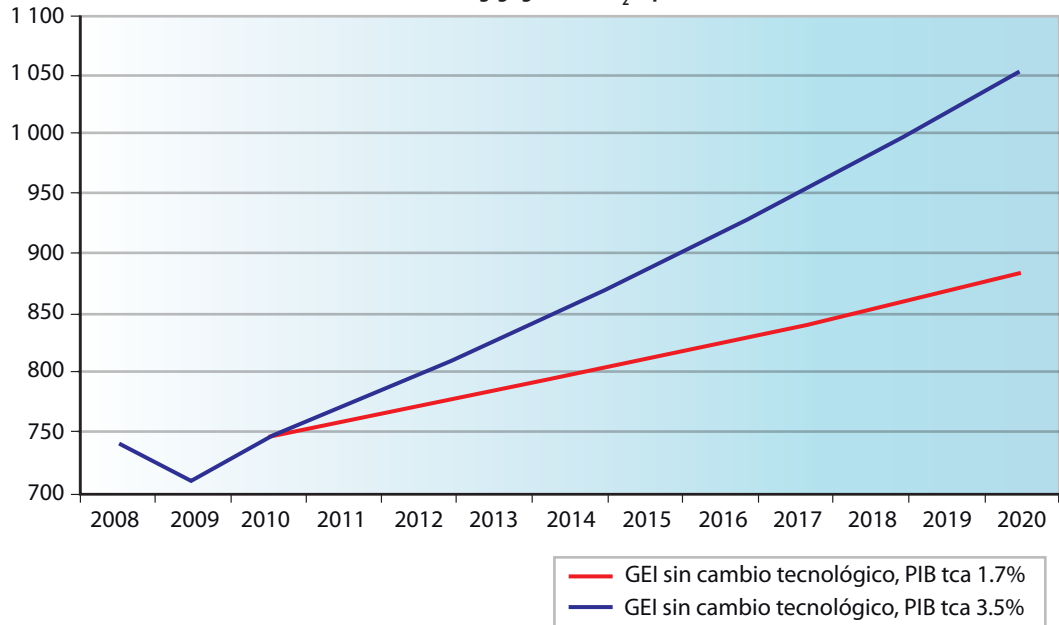
Año	Escenario 1		Escenario 2	
	Gg CO <sub>2</sub> eq.	Var. %	Gg CO <sub>2</sub> eq.	Var. %
2003	562 785.1		562 785.1	
2008	742 436.2	5.7	742 436.2	5.7
2009	708 366.9	-4.6	708 366.9	-4.6
2010	745 581.5	5.3	745 581.5	5.3
2011	771 676.8	3.5	758 256.4	1.7
2012	798 685.5	3.5	771 146.7	1.7
2013	826 639.5	3.5	784 256.2	1.7
2014	855 571.9	3.5	797 588.6	1.7
2015	885 516.9	3.5	811 147.6	1.7
2016	916 510.0	3.5	824 937.1	1.7
2017	948 587.8	3.5	838 961.0	1.7
2018	981 788.4	3.5	853 223.3	1.7
2019	1 016 151.0	3.5	867 728.1	1.7
2020	1 051 716.3	3.5	882 479.5	1.7
2020-2003	488 931.2	86.9	319 694.4	56.8

Fuente: resultados del modelo.

Gráfica 1

### México: emisiones de GEI-BAU, 2008-2020

(miles de gigagramos CO<sub>2</sub> eq.)



Fuente: resultados obtenidos mediante el modelo.

## 2. Introducción de cambio tecnológico y reducción de las emisiones de GEI

De las ramas consideradas en el sector *estratégico-contaminante*, la de *Aprovechamiento forestal* fue incluida sin tener encadenamientos importantes hacia atrás o hacia adelante como las otras seis, pero sí resulta fundamental que sea atendida por el alto nivel de emisiones de GEI absolutas y, sobre todo, relativas que implican esta actividad. Otra de las ramas considerada en este sector fue la de *Productos derivados del petróleo y del carbón*, pero de ella no fue posible conseguir una tecnología adaptable a la matriz que tuviera efectos de reducción de emisiones de GEI.

El tipo de cambio tecnológico que se simuló en seis ramas del sector *estratégico-contaminante* consistió en sustituir el vector columna de coeficientes técnicos de cada una de esas ramas de la MIP de México por otros de la misma magnitud, pero de composición diferente que fueron tomados de la MIP de Canadá, donde estas ramas han probado ser menos contaminantes en términos

relativos que las correspondientes de México, es decir, son probadamente más eficientes.

Las razones particulares por las que se escogieron los coeficientes de estas ramas de la economía de Canadá fueron tres: el sistema de clasificación industrial que usa la MIP es el mismo que se usa en México, como parte de los acuerdos del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN); Canadá registró una reducción sustancial en las emisiones de GEI entre 2003 y 2008 como resultado de cambios tecnológicos y políticas gubernamentales orientadas en esa dirección y las ramas de las que se tomaron los vectores de coeficientes registraron coeficientes de emisión de GEI más bajos que los de México en las mismas unidades, en un periodo idéntico.

Sin duda, podría cuestionarse la transferencia de tecnologías reductoras de GEI de algunas ramas o sectores de la economía de Canadá a México, sobre todo si consideramos las diferencias y asimetrías en los niveles de vida, desarrollo tecnológico y estructura política y social entre ambos países.

Pero, respecto a las transferencias tecnológicas entre países muy diferentes en ramas específicas con el objetivo de reducir las emisiones de GEI, hay constancia de experiencias reales, como indica el estudio de la OECD al respecto (véase Hašičič *et al.*, 2009).

Además de sustituir los vectores de insumos de estas ramas seleccionadas de la economía canadiense a la mexicana, se reemplazan también los coeficientes de emisión de GEI de estas mismas ramas en la matriz  $\hat{e}$ , que se convirtió en  $\hat{e}^+$  y se utilizó en la ecuación (4) con fines de estimación. Los resultados para los cuatro escenarios se presentan en el cuadro 3.

Como era de esperar, el nivel estimado de las emisiones de GEI medido en gigagramos de CO<sub>2</sub> equivalente entre los años 2015 y 2020 es inferior con cambio tecnológico que sin él. La reducción importante ocurrió en el 2015, que es cuando se supone maduraron las nuevas tecnologías simuladas. Desde luego, el descenso en las emisiones es mayor a tasas bajas de crecimiento del PIB que a tasas altas. Por último, es necesario destacar que el

cambio tecnológico simulado ocurre sólo en seis ramas económicas, pero su efecto se esparce a las demás, por ser estratégicas.

### 3. Cambios en las emisiones de GEI por rama

En el cuadro 4 se presentan las estimaciones del modelo de las emisiones de GEI para el 2015 y 2020, así como las registradas en el 2008 según datos del *Inventario* para un conjunto de 16 ramas, todas estratégicas dentro de la MIP y/o altas emisoras de GEI en el 2008; de hecho, representaron en este año 88% del total de emisiones de GEI de la economía. Entre ellas se encuentran las que fueron seleccionadas para simular el cambio tecnológico, de las cuales cuatro (*Aprovechamiento forestal, Extracción de petróleo y gas, Minería de minerales metálicos y no metálicos e Industrias metálicas básicas*) reducen sus emisiones de GEI en ambos escenarios (3 y 4) en términos absolutos entre el 2008 y 2020. No obstante, las otras dos en las que se simuló el cambio tecnológico (*Generación, transmisión y suministro de energía eléctrica y Autotransporte de carga*)

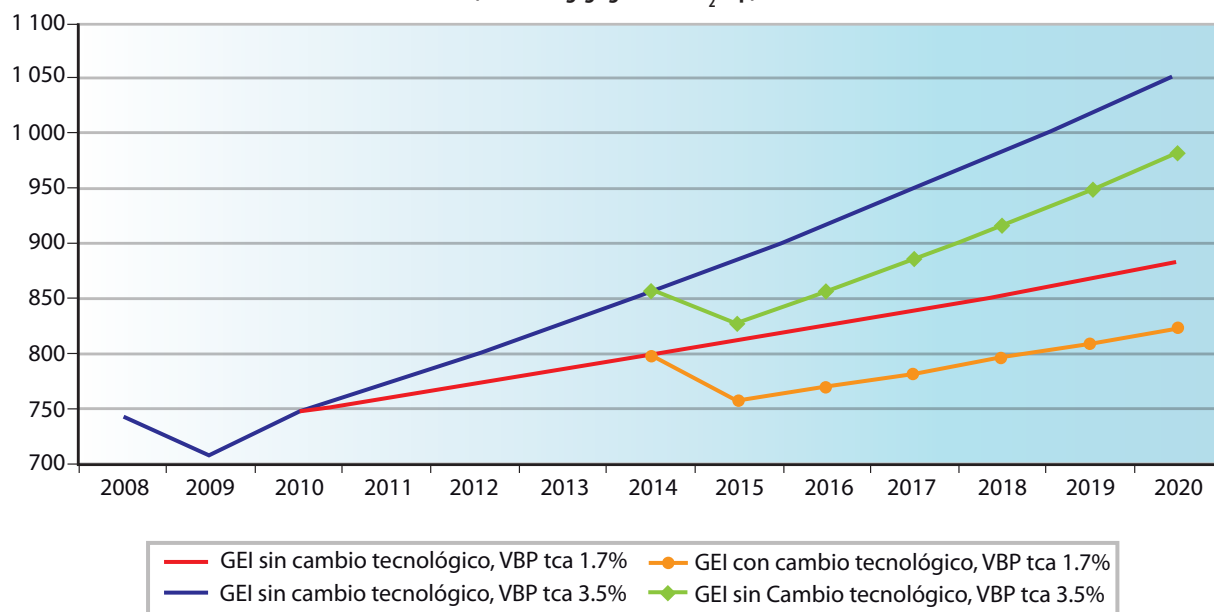
Cuadro 3

#### Estimaciones de GEI con cambio tecnológico Gg CO<sub>2</sub> eq.

Año	Esc. 1	Esc. 3	Var.%	Esc. 2	Esc. 4	Var.%
2008	742 436.2	742 436.2		742 436.2	742 436.2	
2009	708 366.9	708 366.9	-4.6	708 366.9	708 366.9	-4.6
2010	745 581.5	745 581.5	5.3	745 581.5	745 581.5	5.3
2011	771 676.8	771 676.8	3.5	758 256.4	758 256.4	1.7
2012	798 685.5	798 685.5	3.5	771 146.7	771 146.7	1.7
2013	826 639.5	826 639.5	3.5	784 256.2	784 256.2	1.7
2014	855 571.9	855 571.9	3.5	797 588.6	797 588.6	1.7
2015	885 516.9	826 139.0	-3.4	811 147.6	756 756.5	-5.1
2016	916 510.0	855 053.9	3.5	824 937.1	769 621.3	1.7
2017	948 587.8	884 980.8	3.5	838 961.0	782 704.9	1.7
2018	981 788.4	915 955.1	3.5	853 223.3	796 010.9	1.7
2019	1 016 151.0	948 013.5	3.5	867 728.1	809 543.1	1.7
2020	1 051 716.3	981 194.0	3.5	882 479.5	823 305.3	1.7
2008-2020	309 280.1	238 757.8	32.2	140 043.3	80 869.1	10.9

Fuente: resultados del modelo.

Gráfica 2

**México: emisiones de GEI sin y con cambio tecnológico, 2008-2020**(miles de gigagramos CO<sub>2</sub> eq.)

Fuente: resultados obtenidos mediante el modelo.

Cuadro 4

Continúa

**Variaciones estimadas de las emisiones de GEI 2008-2020 por rama en ramas seleccionadas Gg CO<sub>2</sub> eq.**

Núm.	Rama	Año base 2008	Escenario 3				Escenario 4			
			2015	2020	Var. Abs.	Var. %	2015	2020	Var. Abs.	Var. %
9	Generación, transmisión y suministro de energía eléctrica	176 124.8	183 765.5	218 255.7	42 130.9	23.9	168 332.1	183 135.2	7 010.3	4.0
39	Autotransporte de carga	91 189.0	100 720.8	119 624.7	28 435.7	31.2	92 261.8	100 375.3	9 186.3	10.1
3	Aprovechamiento forestal	69 980.2	41 567.8	49 369.5	-20 610.8	-29.5	38 076.7	41 425.2	-28 555.0	-40.8
64	Manejo de desechos y servicios de remediación	61 865.8	128 508.0	152 627.2	90 761.4	146.7	117 715.4	128 067.2	66 201.4	107.0
40	Transporte terrestre de pasajeros, excepto por ferrocarril	61 552.9	74 129.8	88 043.0	26 490.0	43.0	67 904.1	73 875.5	12 322.6	20.0
10	Agua y suministro de gas por ductos al consumidor final	53 220.4	71 710.1	85 169.1	31 948.7	60.0	65 687.6	71 464.1	18 243.7	34.3
6	Extracción de petróleo y gas	46 672.5	20 278.3	24 084.2	-22 588.2	-48.4	18 575.2	20 208.7	-26 463.8	-56.7

**Variaciones estimadas de las emisiones de GEI 2008-2020 por rama  
en ramas seleccionadas Gg CO<sub>2</sub> eq.**

N ú m.	Rama	Año base 2008	Escenario 3				Escenario 4			
			2015	2020	Var. Abs.	Var. %	2015	2020	Var. Abs.	Var. %
26	Fabricación de productos a base de minerales no metálicos	34 429.1	40 267.6	47 825.2	13 396.1	38.9	36 885.7	40 129.4	5 700.3	16.6
27	Industrias metálicas básicas	30 713.2	6 724.9	7 987.1	- 22 726.1	-74.0	6 160.1	6 701.9	- 24 011.3	-78.2
36	Transporte aéreo	6 094.3	7 152.6	8 495.1	2 400.8	39.4	6 551.9	7 128.1	1 033.8	17.0
24	Industria química	5 857.3	6 606.2	7 846.0	1 988.7	34.0	6 051.3	6 583.5	726.2	12.4
7	Minería de minerales metálicos y no metálicos	5 146.9	1 670.7	1 984.3	- 3 162.6	-61.4	1 530.4	1 665.0	- 3 481.9	-67.7
23	Fabricación de productos derivados del petróleo y carbón	4 686.2	5 509.6	6 543.6	1 857.4	39.6	5 046.9	5 490.7	804.4	17.2
37	Transporte por ferrocarril	2 230.3	3 650.2	4 335.3	2 105.0	94.4	3 343.7	3 637.7	1 407.4	63.1
38	Transporte por agua	1 848.5	2 477.6	2 942.6	1 094.1	59.2	2 269.5	2 469.1	620.6	33.6
42	Transporte turístico	1 457.6	19 677.3	23 370.4	21 912.8	1,503.4	18 024.7	19 609.8	18 152.2	1 245.4
	<b>Ramas seleccionadas total</b>	<b>653 069.1</b>	<b>714 416.8</b>	<b>848 503.1</b>	<b>195 433.9</b>	<b>29.9</b>	<b>654 417.2</b>	<b>711 966.3</b>	<b>58 897.2</b>	<b>9.0</b>
	<b>Todas las ramas</b>	<b>742 436.2</b>	<b>826 139.0</b>	<b>981 194.0</b>	<b>238 757.8</b>	<b>32.2</b>	<b>756 756.5</b>	<b>823 305.3</b>	<b>80 869.1</b>	<b>10.9</b>

Fuente: resultados del modelo.

no redujeron sus niveles de emisión estimados para esos años. Casi todas estas ramas de la economía están vinculadas (unas más directamente que otras) a un sector que podríamos denominar como energético, es decir, que consume en su proceso productivo altas cantidades de combustibles fósiles, o sea, carbón, petróleo o sus derivados.

#### 4. Cambio tecnológico y crecimiento de la producción bruta

El cuadro 5 y la gráfica 3 muestran la trayectoria del VBP a precios del 2008 en los cuatro escenarios considerados. Aunque el indicador puede no ser del todo adecuado para medir el crecimiento económico, éste refleja, de cualquier manera, el impulso favorable del cambio tecnológico simulado en la

tendencia general de la economía. Se puede apreciar claramente que una modificación en la matriz de coeficientes técnicos producida por un cambio tecnológico en ramas estratégicas tiene efectos importantes y benéficos, como la reducción de la emisión de contaminantes y el crecimiento del producto simultáneamente, a pesar de lo limitado del cambio tecnológico simulado.

## V. Conclusiones y recomendaciones de política

### 1. Conclusiones a partir de los resultados del modelo

Los resultados del modelo ilustran claramente la forma en que las emisiones de GEI son generadas

Cuadro 5

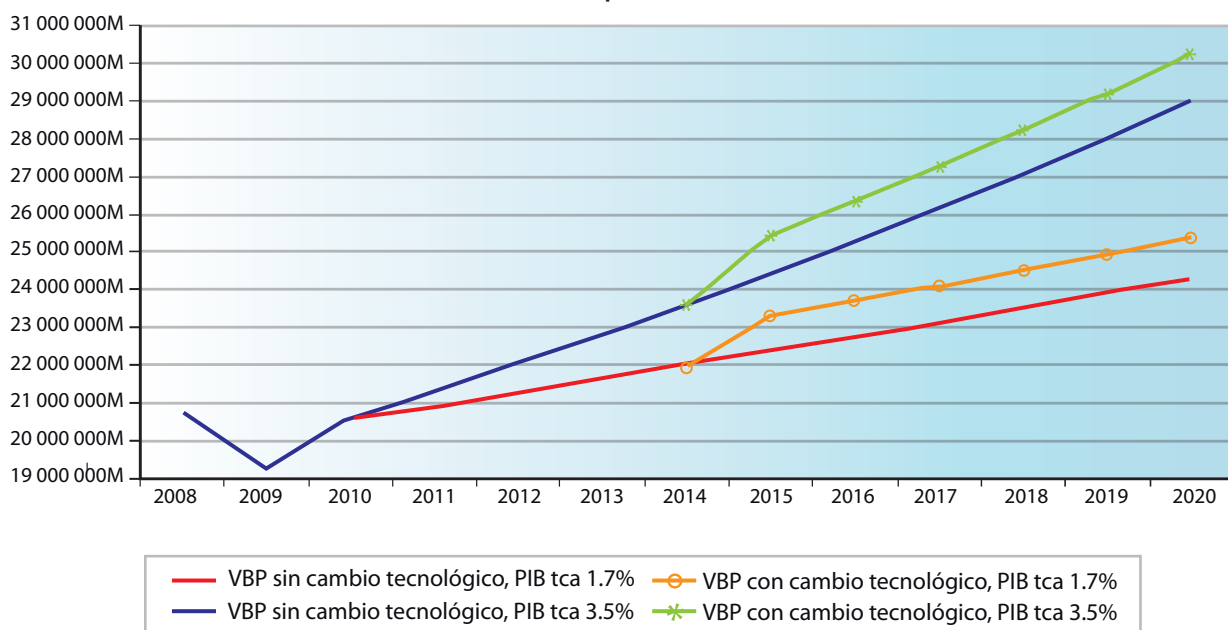
**Valor bruto de la producción estimado, 2008-2020**  
(millones de pesos)

Año	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4
2008	20 762 760.5	20 762 760.5		
2009	19 288 541.1	19 288 541.1		
2010	20 553 420.6	20 553 420.6		
2011	21 272 790.3	20 902 828.8		
2012	22 017 338.0	21 258 176.9		
2013	22 787 944.8	21 619 565.9		
2014	23 585 522.9	21 987 098.5	23 585 522.9	21 987 098.5
2015	24 411 016.2	22 360 879.2	25 446 103.6	23 309 035.7
2016	25 265 401.8	22 741 014.1	26 336 717.2	23 705 289.3
2017	26 149 690.8	23 127 611.3	27 258 502.3	24 108 279.2
2018	27 064 930.0	23 520 780.7	28 212 549.9	24 518 119.9
2019	28 012 202.6	23 920 634.0	29 199 989.1	24 934 928.0
2020	28 992 629.7	24 327 284.8	30 221 988.7	25 358 821.7

Fuente: resultados del modelo.

Gráfica 3

**México: VBP sin y con cambio tecnológico, 2008-2020**  
(millones de pesos, 2008:100)



Fuente: resultados obtenidos mediante el modelo.

(como subproductos) en la estructura de la economía mexicana. Muestran que son las ramas del sector energético las que más emisiones emiten y las que, por su capacidad de difundir influencias, estimulan de manera indirecta las emisiones de GEI del resto de las ramas económicas. Es claro que, a menos que haya un gran cambio tecnológico en todas las ramas del sector energético y las asociadas a los servicios de transporte, hay pocas probabilidades de que se reduzca la tendencia a producir cada vez más emisiones de GEI si hay crecimiento económico.

El impacto de un cambio tecnológico simulado en seis ramas estratégicas y altamente contaminantes parece reducido, pero no es así, pues hay que recordar que en cuatro de las seis se reduce la emisión en términos absolutos entre el año base 2008 y el año meta que es 2020, sin sacrificar crecimiento. Lo anterior significa que si el cambio tecnológico abarca más ramas importantes y se usan tecnologías más audaces, los resultados pueden ser sorprendentes, sin reducir o cancelar las posibilidades de crecimiento económico.

## 2. Recomendaciones de política

De la revisión de los debates y las experiencias respecto a las políticas para reducir las emisiones de GEI que ocasionan el cambio climático (ver Ruiz Nápoles, 2013), así como de los resultados de la aplicación del modelo IPM para México, se desprenden algunas lecciones que pueden servir como recomendaciones:

- Las políticas basadas primordialmente en el mercado libre dan resultados no eficientes, inequitativos, insuficientes o tardíos por imperfecciones de la competencia; es decir, en esta área es común la *falla del mercado*, lo que implica la necesidad de participación directa e indirecta del Estado en la aplicación de medidas que induzcan los cambios tecnológicos que se requieren en las áreas que lo necesitan con oportunidad y eficiencia. Las experiencias mostradas por los estudios del IPCC y de la OECD confirman lo anterior.

- Los sectores energético y de transporte constituyen en México, como en otros países, los que requieren el cambio tecnológico de mayor profundidad para abatir las emisiones de GEI y son los que, a su vez, difundirán sus efectos favorables con mayor fuerza que otros sectores al resto de la economía. Además, en México, hemos podido identificar otras ramas que requieren inmediata y especial atención en materia de política de mitigación, como el *Aprovechamiento forestal* y la *Minería de minerales metálicos y no metálicos*.
- Sin abandonar el uso de instrumentos de mercado, es necesaria en México la actividad del Estado en materia regulatoria para promover el cambio tecnológico que se requiere. El control y la regulación estatal de las empresas productoras de energía son necesarios para la introducción de cambios tecnológicos en este sector. Por su parte, también se requiere la intervención estatal mediante estímulos y regulación para promover innovaciones tecnológicas en las empresas asociadas al transporte.
- La experiencia de Canadá (en especial en materia forestal) nos muestra que este sector puede pasar de ser gran generador de emisiones de GEI a absorber CO<sub>2</sub> en forma importante en un lapso relativamente corto y sin grandes erogaciones financieras, pero con una política estatal clara y decidida orientada a la reforestación.

Para el cambio climático global, todo lo anterior resulta insuficiente si no se impulsan acuerdos internacionales efectivos que establezcan regulaciones generales y mecanismos de sanción a quienes no las cumplan.

## Fuentes

- Aroche, F. *Reformas estructurales y composición de las emisiones contaminantes industriales. Resultados para México*. Núm. 24, Serie Medio Ambiente y Desarrollo. Santiago de Chile, CEPAL, NU, 2000.
- Arrous, J. "The Leontief Pollution model: A systematic formulation", en: *Economic Systems Research*. Núm. 6, 1994, pp. 105-107.

- Brink, C. y A. Idenburg. "Cost-effective pollution-abatement in an input-output model", presented at the 16<sup>th</sup> International Input-Output Conference. Istanbul, Turkey, July, 2007.
- Dietzenbacher, E. y J. A. van der Linden. "Sectoral and Spatial Linkages in the EC Production Structure", en: *Journal of Regional Science*. Vol. 37, núm. 2, 1997, pp. 235-257.
- Dietzenbacher E., J. A. van der Linden y A. E. Steenge. "The Regional Extracion Method: EC Input-Output Comparisons!", en: *Economic Systems Research*. Vol. 5, núm. 2, 1993, pp. 185-206.
- Duchin, F. y G. M. Lange. "Technological choices and prices, and their implications for the US economy", en: *Economic Systems Research*. Vol. 4, núm. 1, 1992, pp. 53-76.
- \_\_\_\_\_ *The future of the environment, ecological economics & technological change*. New York, Oxford University Press, 1994.
- Duval, R. "A Taxonomy of Instruments to Reduce Greenhouse Gas Emissions and their Interactions", en: *OECD Economics Department Working Papers*. Núm. 636. OECD Publishing, 2008, consultado en: <http://dx.doi.org/10.1787/236846121450>
- Hašič, I. et al. "Climate Policy and Technological Innovation and Transfer: An Overview of Trends and Recent Empirical Results", en: *OECD Environment Working Papers*. Núm. 30. OECD, 2009, consultado en: <http://dx.doi.org/10.1787/5km33bnggcd0-en>
- Idenburg, A. y H. Wilting. "DIMITRI: a Dynamic Input-output Model to study the Impacts of Technology Related Innovations", presented at the 13<sup>th</sup> International Input-Output Conference, University of Macerata, Italy, August 21-25, 2000.
- \_\_\_\_\_ "DIMITRI: A Model to Study Policy Issues in relation to Economy, Technology and Environment", en: van den Bergh, J. C. y M. Janssen. *Economics of Industrial Ecology; Materials, Structural Change and Spatial Scales*. Cambridge, MA, MIT Press, 2004, pp. 223-254.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). *Sistema Mexicano de Cuentas Nacionales (SMCN). Matriz de Insumo-Producto 2008*. México, INEGI, 2011, consultado en: [www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/cn/](http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/cn/)
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). "Contribution of Working Groups I, II and III", en: Pachauri, R. K. and A. Reisinger (eds.). *Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (AR4)*. Geneva, Switzerland, IPCC, 2007, p. 104.
- \_\_\_\_\_ *Climate Change 2001: Mitigation*. IPCC Working Group III. Ch. 7 "Costing Methodologies". Cambridge, UK, Cambridge University Press, 2001, pp. 451-498.
- \_\_\_\_\_ IPCC Special Report Emissions Scenarios. IPCC Working Group III. Geneva, Switzerland, IPPC, 2000.
- \_\_\_\_\_ *Technologies, Policies and Measures for Mitigating Climate Change. IPCC Technical Paper I*. Geneva, Switzerland, WMO UNEP, 1996.
- Kelly, A. "An Overview of the RAINS Model", en: *Environmental Research Centre Report*. Ireland, Environmental Protection Agency, 2006.
- Kratena, K. y S. Scheicher. "Impact of CO<sub>2</sub> Emissions Reductions on the Austrian Economy", en: *Economics Systems Research*. Vol. 11, 1999, pp. 245-261.
- Lager, C. "Prices of 'Goods' and 'Bads': an application of the Ricardian theory of differential rent", en: *Economic Systems Research*. 10 (3), 1998, pp. 203-222.
- Lenzen, M., L. L. Pade y J. Munksgaard. "CO<sub>2</sub> Multipliers in Multi-region Input-Output Models", en: *Economic Systems Research*. Vol. 16, núm. 4, 2004, pp. 391-412.
- Leontief, W. "Environmental repercussions and the economic structure: an input-output approach", en: *The Review of Economics and Statistics*. Vol. 52, núm. 3, 1970, pp. 262-271.
- \_\_\_\_\_ "National income, economic structure and environmental externalities", en: Moss, M. (ed.). *The Measurement of Economic and Social Performance. Studies in Income and Wealth*. Vol. 38. New York, National Bureau of Economic Research, 1973.
- Lowe, P. "Pricing problems in an input-output approach to environmental protection", en: *The Review of Economics and Statistics*. 61, 1979, pp. 110-117.
- Luptacik, M. y B. Böhm. "A consistent formulation of the Leontief pollution model", en: *Economic Systems Research*. Vol. 11, núm. 3, 1999, pp. 263-275.
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). *Action Against Climate Change: The Kyoto Protocol and Beyond*. Paris, OECD Publications, 1999.
- Qayum, A. "A reformulation of the Leontief pollution model", en: *Economic Systems Research*. 3, 1991, pp. 428-430.
- Rasmussen, P. *Studies in Inter-Sectoral Relations*. Copenhagen, Einar Harks, 1956.
- Ruiz Nápoles, P. "Macro Policies For Climate Change: Free Market Or State Intervention?", en: *World Economic Review*. 3, 2013, pp. 90-108.
- Secretaría de Hacienda y Crédito Público-Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. *The Economics of Climate Change in Mexico Synopsis*. L. M. Galindo (coord.). México, Gobierno Federal, 2009.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)-Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). "México. Quinta comunicación nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático", en: *Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero*. Cap. IV, 2012, pp. 189-245.
- Steenge, A. E. Environmental repercussions and the economic structure: further comments", en: *The Review of Economics and Statistics*. 60, 1978, pp. 482-486.
- Stern, N. *The Stern Review on the Economics of Climate Change*. London, UK, H. M. Treasury, October, 2006.
- Stiglitz, J. E. "The Invisible Hand and Modern Welfare Economics", en: *Working Paper No. 3641*. Cambridge, MA, National Bureau of Economic Research, March, 1991.
- Wilting, H., A. Faber y A. Idenburg. "Exploring Technology Scenarios with an Input-Output Model", presented at the International Conference on Input-Output and General Equilibrium: Data, Modelling and Policy Analysis. Brussels, Belgium, September 2-4, 2004.