

Costos de mitigación de gases de efecto invernadero: Canadá y México¹

Pablo Ruiz Nápoles *

Introducción

En un estudio anterior más amplio¹ hicimos una estimación del *costo de oportunidad* de la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) de la economía mexicana de las ramas de la Matriz de Insumo-Producto de 2003 (INEGI, 2008), de acuerdo con la nueva clasificación denominada Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (INEGI, 2002).

Este análisis siguió los enfoques de análisis estructural sobre el tema (Leontief 1970; Lenzen *et al.*, 2004; Munksgaard *et al.*, 2005). En particular siguiendo el enfoque de Ten Raa (2006) se interpretó la emisión de GEI como una *externalidad negativa*, la cual aparece asociada, en este caso, a la actividad productiva. Dicha externalidad es indisoluble del proceso de producción de las diferentes ramas de la economía, aunque desde luego con una intensidad distinta en cada una de ellas. Es decir, la emisión de GEI aumenta o disminuye con la actividad productiva, de modo que abatir por completo dichas emisiones, implicaría que las ramas dejaran de producir totalmente bienes y servicios, o bien que cambiaran súbitamente las fuentes de energía que usan en la actualidad, por otras que no implicaran emisiones de GEI. Entre ambos extremos de *remediación* –inaceptable el primero, inalcanzable en el corto plazo el segundo– habría una serie de opciones alternativas cuyo denominador común es un cambio tecnológico que permita reducir los niveles de emisión de GEI por rama y en el conjunto, en el mediano plazo.

Para evaluar estas opciones alternativas, consideramos necesario estimar el *costo efectivo* de reducción de gases mediante gastos corrientes y de inversión en procesos diversos con tecnologías ya existentes y aplicables. Este es el propósito de este breve trabajo de análisis y comparación que se sirve de una parte de la información procesada en el estudio más amplio ya citado.

* Profesor Titular de Tiempo Completo, adscrito al Posgrado en Economía, de la Facultad de Economía de la UNAM.

¹ Este trabajo constituye una parte ligeramente modificada del estudio “Distribución de los costos del Cambio Climático entre los sectores de la Economía Mexicana. Un enfoque de Insumo-Producto”, que el autor realizó en 2008 para la SEMARNAT. El autor agradece la valiosa asesoría en ese proyecto del Dr. Martín Puchet y del Mtro. Valentín Solís. Las opiniones vertidas en el trabajo, así como los errores, son responsabilidad exclusiva del autor.

Del conjunto de países que se han visto obligados a instrumentar medidas efectivas de reducción de emisiones de GEI, en cumplimiento del *Protocolo de Kyoto* desde hace varios años, está Canadá, país que es cercano a México por varias razones, entre las cuales destaca su pertenencia al Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN).

En Canadá se ha dado seguimiento tanto a la emisión de GEI por rama económica, como a los gastos que las empresas públicas y privadas han hecho para reducir, en particular, la emisión de GEI asociada a las actividades que realizan. Con esta información y la relacionada con el producto interno bruto (PIB) por rama de este mismo país y fuente estadística, hemos podido hacer un cálculo del costo (en gasto corriente y de capital) realizado para la reducción de la emisión de GEI por rama económica. Una vez estimado este costo, se aplicó a las mismas ramas de la economía mexicana, para estimar los costos efectivos en que se incurriría, en caso de utilizar la misma tecnología de remediación de Canadá.

En el primer apartado hacemos un breve resumen de los hallazgos del análisis de la estructura de la economía mexicana del estudio más amplio; en el segundo se describe el método de estimación del costo efectivo de remediación de la emisión de GEI en los casos de México y Canadá; en el tercer apartado se presentan los resultados y, al final algunas conclusiones.

Ramas estratégicas en México

La Matriz de Insumo-Producto (MIP) de México de 2003 incorpora una nueva clasificación industrial distinta de la del anterior Sistema de Cuentas Nacionales de México. La nueva clasificación utilizada se llama Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN) y es compartida por Estados Unidos y Canadá. La MIP aparece en una clasificación desagregada de 79 ramas o subsectores, que aparece en el cuadro 1.

Si bien la estructura de la economía mexicana que se muestra en la Matriz de Insumo-Producto de 2003 revela cambios importantes respecto a la correspondiente a la matriz de 1980, lo que no cambió mucho es la importancia absoluta y relativa del sector energético. Se pudieron identificar a las ramas que integran este sector, junto con las relacionadas con el transporte como aquellas que se consideran *estratégicas* por sus encadenamientos, por su consumo de energéticos y por su alto grado de emisión de gases de efecto invernadero (GEI). De ellas destacan las siguientes cuatro ramas: (9) Generación, transmisión y suministro de energía eléctrica, (23) Fabricación de productos derivados del petróleo y el carbón, (24) Industria química y, (39) Autotrans-

porte de carga. Un segundo nivel de importancia estratégica y energética lo constituyen las siete ramas siguientes: (6) Extracción de petróleo y gas, (7) Minería, (27) Industrias metálicas básicas, (36) Transporte aéreo, (37) Transporte por ferrocarril, (40) Transporte terrestre de pasajeros excepto por ferrocarril y (42) Transporte turístico. Por último hay seis ramas que representan un tercer nivel de importancia: (20) Industria de la madera, (21) Industria del papel, (25) Industria del plástico y el hule, (26) Fabricación de productos a base de minerales no metálicos, (28) Fabricación de productos metálicos y (29) Fabricación de maquinaria y equipo.

Podemos afirmar que estas 17 ramas son las que revisten importancia fundamental en la transmisión de efectos contaminantes sobre las demás y sobre el medio externo.

Estas ramas presentan un variado pero alto costo, en términos de producto, asociado a la emisión de gases de efecto invernadero, lo que implica que la reducción total 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.

Método de estimación de costos efectivos

El método de estimación seguido para la estimación de los costos efectivos de reducción de emisiones de GEI, consistió en obtener primero el gasto corriente y de inversión en reducción de GEI, realizado por ramas económicas de Canadá, en datos anuales, así como la cantidad de emisiones de GEI en años similares. En el primer caso los datos más recientes disponibles corresponden a 2002 y 2004; en el segundo corresponden a 2003 y 2005. Esto nos permitió además tener un plazo de un año para que los gastos para reducir las emisiones tuvieran efecto. Con esta información se obtuvo el costo de reducción de GEI, por tonelada de CO₂ eq. Esta estimación permitió hacer las comparaciones con las mismas ramas económicas en México y calcular el costo de reducción total de las emisiones de GEI de las ramas seleccionadas.

Es importante destacar que las ramas económicas para las que hubo información en Canadá son en total quince y todas corresponden a los sectores *estacionario* e *industrial*, según la terminología del IPCC, que forman parte del gran sector de la energía. En conjunto estas ramas emitieron 45 y 38% del total de las emisiones de Canadá en los años 2003 y 2005, respectivamente. En términos del PIB, las quince ramas representan más de 20% del total, integrado por 79 ramas o subsectores. La única ausencia importante a destacar

Cuadro 1
Sistema de clasificación industrial de américa del norte (SCIAN)
Clasificación de ramas industriales en la MIP de 2003

Núm.	SCIAN	Nombre de la Rama
1	111	Agricultura
2	112	Ganadería
3	113	Aprovechamiento forestal
4	114	Pesca, caza y captura
5	115	Servicios relacionados con las actividades agropecuarias y forestales
6	211	Extracción de petróleo y gas
7	212	Minería de minerales metálicos y no metálicos excepto petróleo y gas
8	213	Servicios relacionados con la minería
9	221	Generación, transmisión y suministro de energía eléctrica
10	222	Agua y suministro de gas por ductos al consumidor final
11	236	Edificación
12	237	Construcción de obras de ingeniería civil u obra pesada
13	238	Trabajos especializados para la construcción
14	311	Industria alimentaria
15	312	Industria de las bebidas y del tabaco
16	313	Fabricación de insumos textiles
17	314	Confeción de productos textiles, excepto prendas de vestir
18	315	Fabricación de prendas de vestir
19	316	Fabricación de productos de cuero, piel y materiales sucedáneos, excepto prendas de vestir
20	321	Industria de la madera
21	322	Industria del papel
22	323	Impresión e industrias conexas
23	324	Fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón
24	325	Industria química
25	326	Industria del plástico y del hule
26	327	Fabricación de productos a base de minerales no metálicos
27	331	Industrias metálicas básicas
28	332	Fabricación de productos metálicos
29	333	Fabricación de maquinaria y equipo
30	334	Fabricación de equipo de computación, comunicación, medición y de otros equipos, componentes y accesorios electrónicos
31	335	Fabricación de equipo de generación eléctrica y aparatos y accs. eléctricos
32	336	Fabricación de equipo de transporte
33	337	Fabricación de muebles y productos relacionados
34	339	Otras industrias manufactureras
35	43-46	Comercio
36	481	Transporte aéreo
37	482	Transporte por ferrocarril

38	483	Transporte por agua
39	484	Autotransporte de carga
40	485	Transporte terrestre de pasajeros, excepto por ferrocarril
41	486	Transporte por ductos
42	487	Transporte turístico
43	488	Servicios relacionados con el transporte
44	491	Servicios postales
45	492	Servicios de mensajería y paquetería
46	493	Servicios de almacenamiento
47	511	Edición de publicaciones y de software, excepto a través de Internet
48	512	Industria fílmica y del video, e industria del sonido
49	515	Radio y televisión, excepto a través de Internet
50	516	Creación y difusión de contenido exclusivamente a través de Internet
51	517	Otras telecomunicaciones
52	518	Proveedores de acceso a Internet, servicios de búsqueda en la red y servicios de procesamiento de información
53	519	Otros servicios de información
54	521	Banca central
55	522	Instituciones de intermediación crediticia y financiera no bursátil
56	523	Actividades bursátiles cambiarias y de inversión financiera
57	524	Compañías de fianzas, seguros y pensiones
58	531	Servicios inmobiliarios
59	532	Servicios de alquiler de bienes muebles
60	533	Servicios de alquiler de marcas registradas, patentes y franquicias
61	541	Servicios profesionales, científicos y técnicos
62	551	Dirección de corporativos y empresas
63	561	Servicios de apoyo a los negocios
64	562	Manejo de desechos y servicios de remediación
65	611	Servicios educativos
66	621	Servicios médicos de consulta externa y servicios relacionados
67	622	Hospitales
68	623	Residencias de asistencia social y para el cuidado de la salud
69	624	Otros servicios de asistencia social
70	711	Servicios artísticos y deportivos y otros servicios relacionados
71	712	Museos, sitios históricos, jardines botánicos y similares
72	713	Servicios de entretenimiento en instalaciones recreativas y otros serv. recrea.
73	721	Servicios de alojamiento temporal
74	722	Servicios de preparación de alimentos y bebidas
75	811	Servicios de reparación y mantenimiento
76	812	Servicios personales
77	813	Asociaciones y organizaciones
78	814	Hogares con empleados domésticos
79	931	Actividades del Gobierno

son las ramas de transporte en sus distintas variedades, que como se sabe son grandes emisoras de GEI. Pero de estas ramas no hubo información sobre gastos de reducción de emisiones. El sector completo de transporte de Canadá no redujo sus emisiones, ni el subsector de industria tampoco, con lo cual las fuentes estacionarias de energía fueron superadas en su reducción efectiva y, en el total, las emisiones de GEI se incrementaron a pesar de los gastos realizados y las acciones orientadas a reducirlas. Es de destacar sin embargo, que las intensidades de emisión medidas respecto al PIB nos hablan de una reducción general importante en el período.

En México casi todas las ramas equivalentes son también grandes emisoras de GEI, ya que representan 57% del total en el periodo. Su participación en el Valor Agregado Bruto es también de más de 20% del total. La única rama que en México no tiene importancia ni siquiera aproximada a la de Canadá es la (41) Transporte por ductos.

Resultados de la estimación

Los resultados aparecen en los cuadros 2 y 3. El primero se refiere al Canadá y muestra que con un gasto equivalente a 0.5% del PIB del conjunto de las ramas, se redujo 6% la emisión de GEI de éstas por año. Los resultados por rama varían mucho ya que hubo ramas en las que la variación de las emisiones en el periodo fue positiva y no negativa como se esperaba. Esto podría deberse por una parte a que las inversiones y gastos corrientes toman más tiempo en madurar en algunas ramas y también a que la producción creció más que en las demás ramas.

Destaca también el importante tema de la rama (3) Aprovechamiento forestal que pasó de ser rama emisora a rama captadora de CO₂. En este caso la política de reforestación seguida por Canadá, ha sido sin duda muy positiva y el costo ha sido muy bajo por tonelada de GEI de reducción respecto a las demás ramas.

Las seis ramas que no redujeron su nivel de emisiones de GEI en el período (ramas 14, 15, 20, 24, 26 y 27), tendrían, como resultado del cálculo, un gasto muy alto por tonelada *emitida* de modo que se sustituyó este dato por el total original registrado en la rama como si no hubiera habido variación en la emisión, dado que el gasto se hizo de todas formas. El resultado del total no fue, sin embargo, modificado. El dato que sustenta este supuesto es que las intensidades de emisión respecto al PIB o variaron en forma negativa o no variaron, lo que muestra que los efectos de los gastos de reducción pudieron ser positivos o irrelevantes.

Cuadro 2
Emisiones de GEI y gastos de reducción en Canadá

Num.	Rama	Emisiones de GEI Gg CO2 eq.			Gastos de Reducción de emisiones por año			Gasto de Reducción por Ton	Intensidad de emisión GEI		
		2003		2005	Var. Anual	Mill Dls C. % PIB	GgCO2/PIB		Var.		
		2003	2005	2003					2005		
3	Aprovechamiento forestal	11 000	-27 000	-19 000	45.5	0.76	2.39	2.03	-4.43	-3.23	
6	Extracción de petróleo y gas	69 164	68 244	-460	181.6	0.38	394.64	1.22	0.78	-0.22	
7	Minería de minerales metálicos y no metálicos	15 700	15 600	-50	38.0	0.35	760.00	1.69	0.98	-0.36	
9	Generación, transmisión y sum. de energía eléctrica	135 000	129 000	-3 000	172.1	0.71	57.35	5.20	4.66	-0.27	
14	Industria alimentaria	8 729	9 517	394	34.3	0.19	34.30	0.48	0.49	0.00	
15	Industria de las bebidas y del tabaco	2 988	3 399	205	6.8	0.11	6.80	0.48	0.49	0.00	
20	Industria de la madera	5 538	6 048	255	146.5	1.12	146.50	0.48	0.49	0.00	
21	Industria del papel	8 990	7 340	-825	200.2	1.74	242.67	0.84	0.68	-0.08	
23	Fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón	4 836	4 756	-40	33.3	0.82	833.33	1.22	1.02	0.10	
24	Industria química	13 210	14 250	520	91.6	0.61	91.60	0.87	0.97	0.05	
26	Fabricación de productos a base de minerales no metálicos	13 180	14 080	450	23.7	0.44	23.65	2.41	2.35	-0.03	
27	Industrias metálicas básicas	6 370	6 520	75	50.0	0.43	50.00	0.60	0.51	-0.05	
28	Fabricación de productos metálicos	17 200	16 200	-500	32.5	0.23	65.00	1.23	1.10	-0.07	
32	Fabricación de equipo de transporte	14 546	12 936	-805	29.6	0.10	36.78	0.48	0.49	0.00	
41	Transporte por ductos	9 110	10 100	495	23.8	0.44	23.80	1.64	1.82	0.09	
	Total Ramas seleccionadas	335 560	290 990	-22 285	1 109.3	0.49	49.78	1.46	1.07	-0.20	

Fuentes: elaborado con datos de Statistics Canada (2008) *EnviroStats y Canada's 2005 Greenhouse Gas Inventory*.

En el caso de México, los resultados de calcular las intensidades de emisión respecto al Valor Agregado Bruto y compararlas con las de Canadá nos indica que en ese período y en ese grupo de quince ramas, México era en general más ineficiente que Canadá, es decir, cada unidad de producto generaba una emisión de GEI mayor en México que en Canadá.

Pero lo más importante es que, aplicando los procesos técnicos de producción utilizados por Canadá en cada una de las ramas seleccionadas con el propósito de reducir la emisión de GEI y suponiendo que los costos de aplicación fueran esencialmente los mismos aquí que allá, el país tendría que gastar 8.5% del Valor Agregado Bruto de este conjunto de ramas económicas para reducir a cero la emisión de GEI que representa 57% del total de emisiones de GEI registradas en México.

Este resultado está calculado también para cada una de las ramas y destaca por su importancia el de la rama (23) Productos derivados del petróleo y del carbón, que implica un gasto de siete veces el VAB de la rama para eliminar totalmente las emisiones de GEI. La explicación del elevado costo de esta rama radica en que es la tercera más contaminante y la primera en cuanto al costo efectivo de reducción por unidad de emisión.

Conclusiones

En términos generales y salvo la destacada excepción de la rama forestal, Canadá muestra una estructura similar en cuanto a ramas importantes asociadas a la emisión de gases de efecto invernadero (GEI). Este país ha realizado gastos importantes corrientes y de capital para reducir sus emisiones. Lo cual ha significado reducciones efectivas, tanto absolutas como relativas, en la emisión de GEI de aquellas ramas en las que se han llevado a cabo dichos gastos. El cambio más significativo en ese país fue la política de reforestación que en sólo dos años hizo que la rama (3) aprovechamiento forestal pasara de ser emisora neta importante a cumplir un papel de atractor neto de las emisiones, con una inversión relativamente reducida. Hubo en cambio otras ramas que no han visto reducida sus emisiones ni su cociente de intensidad emisora a pesar de haber realizado inversiones en montos mayores.

La experiencia canadiense nos ha permitido hacer un cálculo, aproximado y con muchas reservas, del costo efectivo de la reducción de la emisión de gases en México. Del total de 17 ramas importantes en México mencionadas en el primer apartado, once producen más de 50% de la emisión de GEI y coinciden con las mismas ramas, en número y nombre, en las que en Canadá se hicieron inversiones para reducir la emisión de GEI. El costo efectivo suponiendo la adopción de tecnologías similares en estas ramas con un

Cuadro 3
Emisiones de gei y costos estimados de reducción en México

Num.	Ramas Seleccionadas	Valor Agregado Bruto		Emisiones de GEI de GgCO2	Intensidad de emisión	Costo por		Costo de Reducción Total		
		Millones				Tonelada	Millones		Porcentaje	
		Pesos	Dls. Can			Reducida	Dls. Can	Pesos	del VAB	
3	Aprovechamiento forestal	15 513.2	2 005.5	51 500	25.68	2.39	123.2	952.9	6.14	
6	Extracción de petróleo y gas	369 934.5	47 824.2	37 253	0.78	394.64	14 701.7	113 721.8	30.74	
7	Minería de minerales metálicos y no metálicos	35 923.4	4 644.1	2 637	0.57	760.00	2,004.2	15 503.4	43.16	
9	Generación, transmisión y sum. de energía eléctrica	77 012.1	9 955.9	120 845	12.14	57.35	6 930.4	53 609.1	69.61	
14	Industria alimentaria	301 297.5	38 951.0	7 052	0.18	34.30	241.9	1 871.0	0.62	
15	Industria de las bebidas y del tabaco	69 672.6	9 007.1	1 374	0.15	6.80	9.3	72.3	0.10	
20	Industria de la madera	17 392.5	2 248.5	551	0.25	146.50	80.7	624.4	3.59	
21	Industria del papel	27 740.5	3 586.2	1 644	0.46	242.67	398.9	3 085.4	11.12	
23	Fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón	33 838.5	4 374.6	36 941	8.44	833.33	30 783.8	238 121.6	703.70	
24	Industria química	116 740.0	15 091.9	8 476	0.56	91.60	776.4	6 005.6	5.14	
26	Fabricación de productos a base de minerales no metálicos	84 604.7	10 937.5	40 157	3.67	23.65	949.7	7 346.3	8.68	
27	Industrias metálicas básicas	76 476.1	9 886.6	11 080	1.12	50.00	554.0	4 285.2	5.60	
28	Fabricación de productos metálicos	40 461.0	5 230.7	1 282	0.25	65.00	83.3	644.5	1.59	
32	Fabricación de equipo de transporte	191 874.8	24 805.1	209	0.01	36.78	7.7	59.5	0.03	
41	Transporte por ductos	4 999.6	646.3	0	0.00	23.80	0.0	0.0	0.00	
	Total Ramas Seleccionadas	1 463 481.1	189 195.1	321 000	1.70	49.78	15 978.7	123 600.0	8.45	

Fuente: elaborado con datos del INEGI, la SEMARNAT y estimados con base en el Cuadro 2.

gasto también similar representa 8.5% del producto neto del conjunto de las ramas. El costo, sin embargo, es relativamente más alto para la rama de productos derivados del petróleo (más de siete veces su valor agregado) y para la de energía eléctrica (cerca de 70 por ciento).

En conclusión, el sector energético es el más importante para la economía como difusor de los efectos negativos de la contaminación y, por ello, es el sector en el que la reducción de esos efectos (externalidades negativas) resulta más alto el costo en términos de disminución de producción sin cambio tecnológico y de gasto efectivo con cambio tecnológico. De la importancia de este sector se desprende la necesidad de que el Estado no sólo supervise sus operaciones, sino haga efectivas reglas estrictas para aumentar de la eficiencia productiva y realice las inversiones y gastos necesarios para adoptar tecnologías reductoras de GEI, en tanto se desarrollan paralelamente fuentes alternativas de energía.

Bibliografía

- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2002), *Sistema de clasificación industrial de América del Norte, México 2002*, INEGI, México.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2008), *Actualización del Sistema de Cuentas Nacionales de México*, INEGI, México.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (2008), "Sistema de consulta de la matriz insumo-producto". Sitio web:
<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" Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Houghton, J.T., et al. (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, UK & New York.
- Lenzen, M., Pade, L.-L. & Munksgaard, J. (2004), "CO₂ Multipliers in Multi-region Input-Output Models", *Economic Systems Research*, 16:4, 391-412.
- Leontief, W. (1970), "Environmental Repercussions and the Economic Structure: An Input-Output Approach" *The Review of Economics and Statistics*, Vol. 52, núm. 3. (Aug., 1970), pp. 262-271.
- Munksgaard, J., Wier M., Lenzen M., and Dey Ch. (2005), "Using Input-Output Analysis to Measure the Environmental Pressure of Consumption at Different Spatial Levels", *Journal of Industrial Ecology* vol. 9, núm. 1-2, pp. 169-185.

Ten Raa, T. (2006), *The Economics of Input-Output Analysis*, Cambridge University Press, Cambridge, U.K. Ch.11 "Environmental input-output economics", pp.139-150.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología (INE) (2006), *México, Tercera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*, México.

Secretaría de Energía (2005), *Balance Nacional de Energía 2004*, SENER, México.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología (INE) (2006), "Inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero, 1990-2002", SEMARNAT/INE, México.

Statistics Canada (2008), *EnrivoStats*, Vol. 2 núm. 2, Summer 2008.

Statistics Canada: <http://www.statcan.gc.ca/start-debut-eng.html>