

Evolución de la demanda de energía de uso final y su impacto en las emisiones de CO₂ en el sector industrial mexicano

Domingo González*
y Manuel Martínez**

Introducción

El desarrollo de un país se encuentra ligado al consumo de energía, generalmente de origen fósil como petróleo, gas natural y combustóleo entre otros. La quema de estos combustibles en los procesos industriales y sin control alguno en ciertas etapas de la historia industrial de México ha sido factor preponderante en el incremento de las emisiones de Bióxido de carbono (CO₂) a la atmósfera, representando un cambio de 230% en solo 38 años, de 1965 a 2003, con un incremento anual de 3.2%. En lo que respecta a la participación en el desarrollo económico del país, el sector industrial mexicano (SIM) ha sido el principal aporte al producto interno bruto nacional (PIBN) a lo largo de estos 38 años, contribuyendo en el 2003 con 26.3%, de acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), siendo el principal motor del crecimiento económico y desarrollo nacional y con una tasa media de crecimiento anual (TMCA) de 4.17% durante el período 1965-2003.

En el presente artículo se muestra la evolución histórica de estos indicadores en término de las 16 ramas de actividad económica industrial de importancia para el SIM, como lo marca la desagregación propuesta por el Sistema de Cuentas Nacionales del INEGI y el Balance Nacional de Energía 2003 (BNE-2003). Para una mejor comprensión de lo sucedido en el SIM en el período de 1965 a 2003, el análisis se divide en tres etapas que van de 1965 a 1982, de 1982 a 1994 y de 1994 a 2003, respectivamente. El artículo se organiza de la siguiente manera: en primer lugar presentamos los antecedentes históricos de relevancia que han marcado el desarrollo del sector industrial, en cuanto a crecimiento económico, demanda de energía final y emisiones de bióxido de carbono; enseguida se describirá la metodología utilizada en el análisis y aplicada a las tres etapas de estudio; posteriormente se presentarán los resultados obtenidos para, finalmente, proporcionar las conclusiones del análisis.

* Alumno del Programa de Posgrado en Ingeniería en el área de Energía en el Centro de Investigación en Energía, UNAM, Temixco, Morelos. Email: dogoz@cie.unam.mx (D. González).

** Investigador titular del Centro de Investigación en Energía, UNAM, Temixco, Morelos.

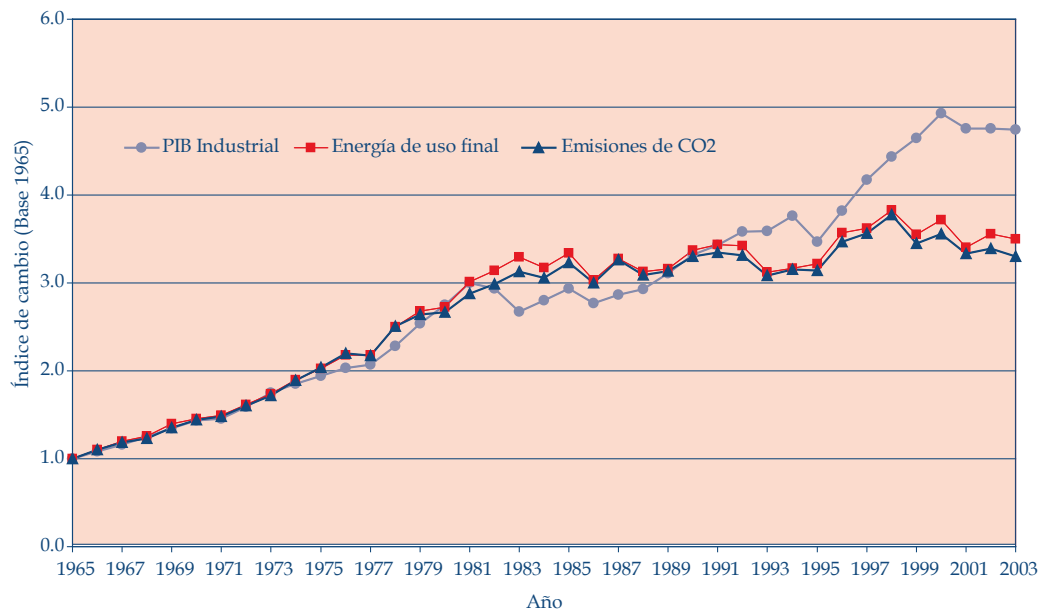
Antecedentes históricos del sector industrial mexicano

Crecimiento económico industrial

En México, 62% del PIB Industrial es generado por grandes empresas, mientras que 38% es producido por micros, pequeñas y medianas unidades productivas de acuerdo a la Consejo Nacional de Industriales Ecologistas, A.C. de México (CONIECO-2001).

De 1965 a 1981, la política económica del gobierno mexicano se caracterizó por un elevado proteccionismo, generosidad en los subsidios a la industria, fuertes concesiones fiscales a la importación de bienes de capital, y un alto contenido importado de la producción manufacturera. En este transcurso el PIBI creció a razón de 7.1% anual, lo que represento un incremento de 200% en su aportación a la economía nacional.

Gráfica 1
Índices de cambio del sector industrial mexicano de 1965 a 2003



Fuente: elaboración propia con datos de la Secretaría de Energía, Dirección General de Formulación de Balances y Anuarios e Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Sistema de Cuentas Nacionales.

De 1982 a 1988, debido a la crisis de deuda externa y a la constante fuga de capitales, el gobierno mexicano inició un proceso de ajuste estructural, en el cual se intentó modernizar la planta productiva del país, así como equilibrar las finanzas públicas y el sector externo. Sin embargo, debido a las recurrentes devaluaciones del tipo de cambio, a la inflación generada por ésta y a la caída de los precios del petróleo a mediados de los años ochenta, dicho ajuste estructural terminó por descapitalizar parte del sistema industrial mexicano, generó una inflación de más de 100% y un menor crecimiento económico. Además, el inesperado terremoto de septiembre de 1985 contribuyó, de manera notable, a la contracción de la economía nacional. De 1986 a 1994, el PIBI creció a una tasa de 3.9% (TMCA), debido en gran parte a la recuperación de los precios del petróleo, a pactos entre el gobierno y los principales sectores económicos del país y, además, a la apertura comercial en 1986 con el ingreso de México al Acuerdo general sobre aranceles por comercio (GATT). La devaluación del tipo de cambio de 1994-1995, la cual tuvo sus orígenes en el abultado endeudamiento externo y en la posterior fuga de capitales, no solo provocó una crisis de pagos internacional, sino que también provocó una crisis financiera interna al dispararse súbitamente la tasa de interés, provocando así una restricción crediticia y un mayor volumen de carteras vencidas. Todo lo anterior terminó provocando una caída del PIB en 1995 del orden de 6.7%, la cual no había sido vista en más de 50 años.

De 1995 a 2000, el crecimiento del PIBI fue de 7.27% (TMCA), ya que las condiciones macroeconómicas fueron más estables, la inflación disminuyó y los déficit de la cuenta corriente y del sector público cayeron a niveles relativamente bajos como porcentaje del PIBN (OCDE-2004). Además, el gobierno impulsó el desarrollo de las pequeñas y medianas empresas (PyMEs) y desarrolló una política industrial en torno a la promoción de las exportaciones del sector manufacturero. De 2001 a 2003, el descenso de la economía de Estados Unidos afectó el crecimiento de México y, ocasionó un estancamiento en su ramo manufacturero industrial. Debido a la caída de las exportaciones, el descenso del PIBI para el 2001 fue de 3.48%. En 2002, la contracción en la industria manufacturera se explica debido a la disminución de 11.8% en la actividad de las empresas maquiladoras de exportación y de 5.7% en las factorías de la transformación, disminuyendo el PIBI en 0.09% (IIEC-UNAM). Para 2003, el PIBI disminuyó en 0.17%. Los cambios descritos anteriormente se relejan en la evolución de la aportación total de cada rama de actividad industrial al PIBN como se observa en la Gráfica 1.

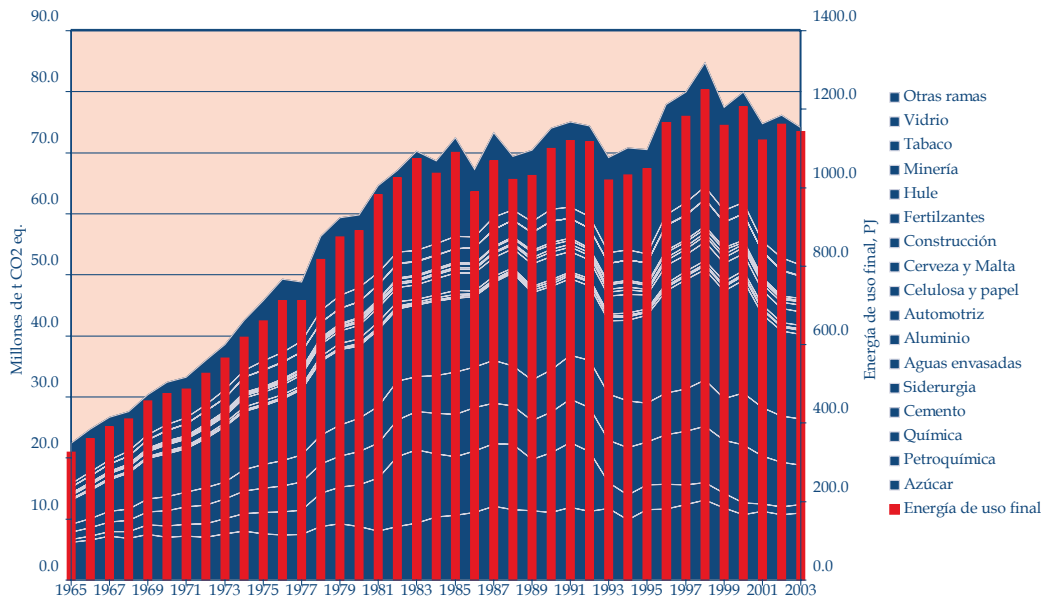
Crecimiento en la demanda de energía final industrial

El consumo de energía final del sector industrial en México tuvo un crecimiento con cierta aceleración durante el período 1965-1983, a una tmca de 6.84%, y el consumo de energía final paso de 326.36 petajoules (PJ) en 1965 a 1074.60 PJ en 1983. Después, de 1984 a 1993, los ajustes en la economía mexicana ocasionados por las devaluaciones del tipo de cambio, crisis económica, inconsistencia en los precios del petróleo y desastres naturales, fueron factores importantes en la evolución del consumo de energía presentando un período de transición en la cual la demanda disminuyó en 0.52% tmca. De 1993 a 1998, la firma del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) explica en parte un crecimiento en el consumo de energía, indicando muy probablemente que este crecimiento en el consumo de energía se debió principalmente a industrias extranjeras, ya que son las que han tenido una mayor capacidad para realizar inversión a pesar de la crisis económica presentada a partir de la devaluación registrada a finales de 1994. En esta etapa la demanda de energía final registro una tmca de 4.15%. Finalmente, de 1998 a 2003, el consumo de energía final del SIM presenta un decrecimiento paulatino a una tmca de -1.78%, ocasionada principalmente por la disminución de la producción, al existir una menor demanda de productos con valor agregado, en respuesta a la recesión de Estados Unidos en el 2000. Estos cambios en la evolución del consumo de energía final se pueden observar en la Gráfica 1.

Evolución de CO₂

El Instituto Nacional de Ecología (INE-2001) publicó en 2001 que el sector industrial logró reducir en promedio 17% del consumo de agua, 15% la generación de aguas residuales, 20% la generación de residuos peligrosos y 80% las emisiones a la atmósfera, mediante auditorías ambientales, CO, NO_x, PST, SO₂ y HC. Tales logros se asocian a cerca de 7 500 millones de pesos en inversiones en tecnologías de control, durante el período de 1995 a 2000. En el 2003, el SIM emitió a la atmósfera 74 millones de toneladas de CO₂ equivalente, en las que se destacaron las siguientes ramas: Siderurgia (18.65%), Azúcar (14.85%), Cemento (10.23%), Química (8.79%) y Minería (4.96%) como las principales emisoras de ese gas de efecto invernadero. Los cambios en la evolución del CO₂ total emitido por la industria mexicana y por cada rama de actividad económica se muestran en contraste con el consumo de energía final total del SIM en la Gráfica 2.

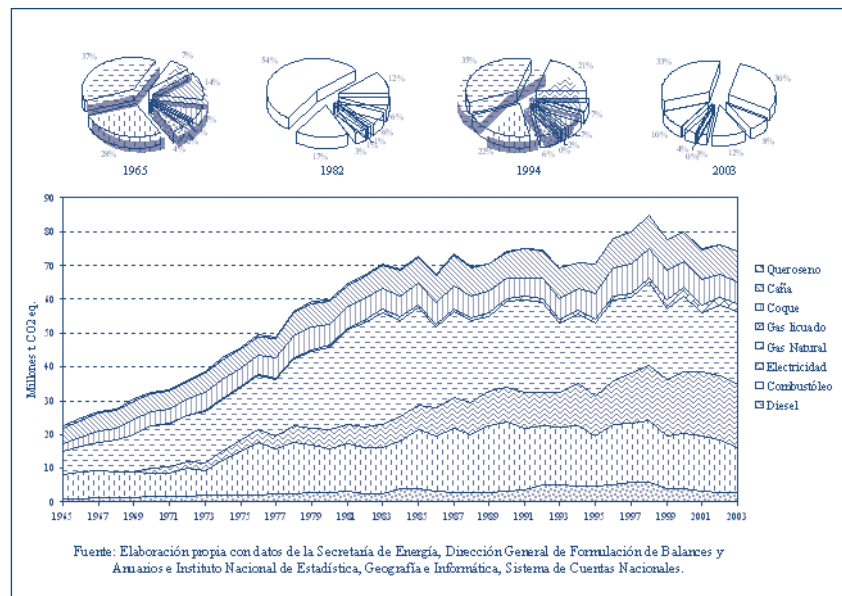
Gráfica 2
Evolución de la demanda de energía final total del sector industrial mexicano y de las emisiones de bióxido de carbono por rama de actividad económica de 1965 a 2003



Fuente: elaboración propia con datos de la Secretaría de Energía, Dirección General de Formulación de Balances y Anuarios e Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Sistema de Cuentas Nacionales.

Durante el período de 1965 a 2003, las ramas más dinámicas en cuanto a su evolución y emisión de CO₂ fueron las industrias de la Construcción y Aguas envasadas. Por lo que se refiere a la primera, observamos que no hubo cambio significativo en la emisión de CO₂ por tipo de combustibles de uso final, siendo el Diesel su principal energético. En 1965 90% del CO₂ era producido por esta rama y, en 2003, bajó a 85%. En lo que respecta a Aguas envasadas, en 1965, las emisiones correspondían al consumo preferente de Diesel (27%) y Combustóleo (57%); para 2003, el Diesel no presentó cambio significativo y el Combustóleo redujo su participación hasta en 28%. Al mismo tiempo se incrementaban las emisiones de electricidad (22%) y Gas natural (21%). La composición de la mezcla de combustibles de energía final para años seleccionados, así como sus respectivas emisiones de CO₂ a lo largo del período de 1965 a 2003 se muestra en el Gráfica 3.

Gráfica 3
Cambio en la composición de la mezcla de combustibles de uso final en el sector industrial mexicano para años seleccionados y evolución de las emisiones de CO₂ para el período 1965-2003



Metodología de descomposición

El análisis de las tendencias históricas de las emisiones de bióxido de carbono por el uso de energía se basa principalmente en el estudio de las actividades en las que ésta fue consumida, de las tecnologías que fueron utilizadas y de la mezcla de combustibles consumidos; es decir, de los factores que provocaron el cambio en el desarrollo industrial. En el análisis presentado, la descomposición de los cambios en el uso de la energía (E) son descritos por la relación conocida como "ASI", referida por Schipper et al (Schipper-2001). La ecuación general de esta metodología se muestra en la ecuación 1.

$$E = \sum A_i * S_{i,j} * I_{i,j} \quad (1)$$

donde: A - Actividad económica en cada sector j, representado por el valor agregado bruto,

S - Estructura, participación porcentual de la rama i dentro del sector j,

I - Intensidad energética en cada rama i.

Si a la ecuación anterior, le introducimos los cambios que se producirían debido a la mezcla de combustibles de uso final y mezcla de combustibles para generación de electricidad en términos de bióxido de carbono y lo aplicamos a cada rama del Sector Industrial Mexicano, la fórmula queda definida de la siguiente forma (Sheinbaum, 1997):

$$CO_{2(tf)} = \left[\sum_j \sum_k G_{(tf)} S_{j(tf)} I_{j(tf)} C_{k(tf)} F_{kj(tf)} \right] \quad (2);$$

donde: tf - Año base para el análisis;

G - Producto Interno Bruto del Sector Industrial (\$US 1993);

S_j - Producto Interno Bruto rama j (\$US 1993)/ Producto Interno Bruto sector industrial (\$US 1993);

I_j - Intensidad energética de la rama j (GJ/\$US 1993);

F_{kj} - combustible k (GJ)/ Energía rama j (GJ);

C_k - Coeficiente de emisión de CO₂ del combustible k (ton CO₂/GJ, del combustible k) y que se consideró constante para cada combustible de 1965 a 2003. (IPCC-1996).

De esta ecuación se desprende que las emisiones de CO₂ en el sector industrial se pueden atribuir a 5 factores:

- Nivel de actividad: valor agregado bruto del grupo industrial;
- Efecto estructural: Variación porcentual del valor agregado normalizado del grupo industrial;
- Efecto de la intensidad energética: Energía consumida por unidad de valor agregado del grupo industrial;
- Mezcla de combustibles en la energía de uso final; y
- Mezcla de combustibles primarios utilizados para producir electricidad.

Las ecuaciones presentadas conforman la metodología conocida como descomposición del consumo de energía y de intensidad energética, la cual es ampliamente utilizada a nivel mundial en el área de la planeación energética como herramienta en la creación de escenarios futuros y el desarrollo de políticas energéticas y ambientales. La metodología aquí presentada se basa en el índice de Laspeyres, y de acuerdo a Liu y Ang (Liu-2003) es el segundo método más empleado en el mundo. Las fórmulas para calcular los efectos correspondientes se muestra en el cuadro 1.

Cuadro 1
Efectos derivados de la ecuación 2 para el cálculo del impacto de las
emisiones de CO₂ en el sector industrial mexicano

Los Efectos debidos a los factores de Actividad G (2a), Estructura S (2b), intensidad energética I (2c), mezcla de combustible en la energía de uso final F (2d) y mezcla de combustibles primarios para la producción de electricidad C(2e), estarán dados de la siguiente forma:

para conocer el efecto de G,

$$\%CO_{2(tf)} = \left[\sum_j \sum_k G_{(tf)} S_{j(to)} I_{j(to)} C_{k(to)} F_{kj(to)} - CO_{2(to)} \right] / CO_{2(to)} \quad (2a);$$

para conocer el efecto de S,

$$\%CO_{2(tf)} = \left[\sum_j \sum_k G_{(tf)} S_{j(to)} I_{j(to)} C_{k(to)} F_{kj(to)} - CO_{2(to)} \right] / CO_{2(to)} \quad (2b);$$

para conocer el efecto de I,

$$\%CO_{2(tf)} = \left[\sum_j \sum_k G_{(tf)} S_{j(to)} I_{j(to)} C_{k(to)} F_{kj(to)} - CO_{2(to)} \right] / CO_{2(to)} \quad (2c);$$

para conocer el efecto de F,

$$\%CO_{2(tf)} = \left[\sum_j \sum_k G_{(tf)} S_{j(to)} I_{j(to)} C_{k(to)} F_{kj(to)} - CO_{2(to)} \right] / CO_{2(to)} \quad (2d);$$

para conocer el efecto de C,

$$\%CO_{2(tf)} = \left[\sum_j \sum_k G_{(tf)} S_{j(to)} I_{j(to)} C_{k(to)} F_{kj(to)} - CO_{2(to)} \right] / CO_{2(to)} \quad (2e).$$

donde to -Año que permanece constante en el análisis.

Las ecuaciones anteriores nos explican la contribución en las emisiones de CO₂ debidas a los cambios de consumo de energía, los cambios económicos, los cambios en la intensidad energética de un sector o rama, etc., al suponer que sólo uno de los factores varía, mientras que los otros se mantienen constantes. Así, se evidencia cual fue la principal causa en el cambio de CO₂ emitido.

Análisis de resultados

A nivel sectorial, de 1965 a 2003, el análisis reveló que el incremento en el uso de energía final del SIM se vio influenciado principalmente por el efecto "Actividad", lo que nos indica que el desarrollo económico expresado a través del PIB Industrial resultó ser el factor decisivo en la tendencia incremental de la demanda de energía. Esto significo para este período llegar a un consumo de 1082.32 PJ en 2003. El efecto que atenuó el consumo de energía final fue la intensidad energética con un consumo de 318.40 PJ. Estas tendencias en el consumo de energía se reflejaron directamente en el aumento de las emisiones de CO₂ donde se encontró que la Actividad económica fue responsable

de un incremento de 398% de las emisiones, mientras que la Intensidad energética aminoró el aumento de estas emisiones en 28% para este período de estudio. El resultado para las etapas de 1965 a 1982, 1982 a 1994 y 1994 a 2003 en cuanto a la evolución de demanda de energía final y emisiones de CO₂ se muestra en el cuadro 2.

Cuadro 2

Efectos de la descomposición de la demanda de energía final industrial y su efecto porcentual en las emisiones de CO₂ para el período de 1965 a 2003

Sector Industrial Mexicano		Año to					
Año tf	Efectos de la descomposición de CO ₂	1982		1994		2003	
		PJ*	CO ₂ **	PJ*	CO ₂ **	PJ*	CO ₂ **
1965	Actividad	647.6	188.0	852.1	321.0	1082.3	398.0
	Estructura	57.8	-1.8	92.0	11.9	52.8	5.2
1982	Intensidad Energética	-6.1	-3.1	-237.9	-20.9	-318.4	-27.8
	Actividad	-----	-----	265.0	54.2	534.2	71.8
	Estructura	-----	-----	161.9	20.0	55.4	6.0
1994	Intensidad Energética	-----	-----	-420.1	-30.4	-472.3	-42.4
	Actividad	-----	-----	-----	-----	252.2	24.2
	Estructura	-----	-----	-----	-----	-21.7	-1.0
	Intensidad Energética	-----	-----	-----	-----	-119.9	-17.7

* Valor en PJ de la demanda de energía de uso final industrial.

** Incremento porcentual de las emisiones de CO₂

Fuente: elaboración propia con datos de la Secretaría de Energía, Dirección General de Formulación de Balances y Anuarios y del Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática, Sistema de Cuentas Nacionales de México.

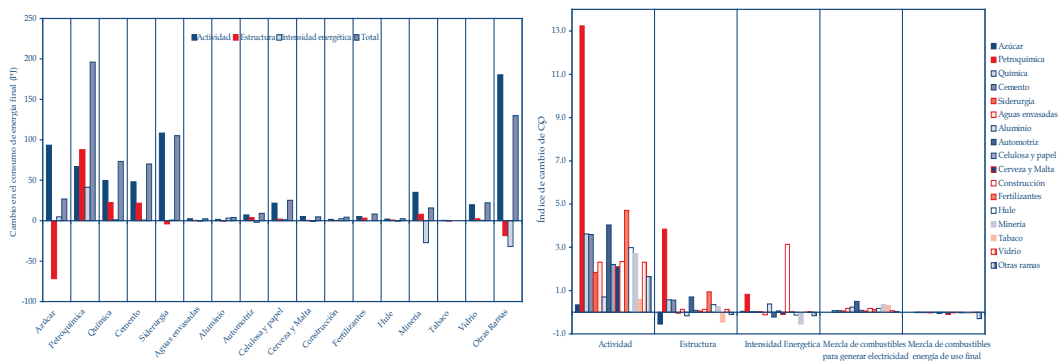
Etapa de 1965 a 1982

De acuerdo al método de descomposición se obtuvo que “Actividad” resultó ser el efecto más significativo llegando a un incremento en la demanda de energía final de 647.65 PJ, mientras que el efecto de la intensidad mitigó la demanda energética final en 6.07 PJ. En cuanto a las emisiones de CO₂ el efecto “Actividad” mostró que esas emisiones se incrementaron en 188%, en tanto que, considerando el efecto de los combustibles de energía de uso final, este significó una disminución en 9% de la emisión de CO₂.

A nivel rama de actividad económica, se encontró que como resultado del efecto Actividad las industrias de la Siderurgia (108.17 PJ), Azúcar (93.31 PJ), Petroquímica (66.78 PJ), Química (49.47 PJ), Cemento (48.02 PJ), Minería (34.95 PJ), Celulosa y Papel (21.74 PJ) incrementaron su demanda de energía, representando 64.88% del incremento total de energía final del SIM. Por tanto, las emisiones de CO₂ se incrementaron debido al efecto Actividad en las 16 ramas analizadas, en las cuales sobresalieron las ramas de la Petroquímica con un cambio incremental en sus emisiones de CO₂ en poco más de 1300%, seguida de la rama de Fertilizantes con 471%, Automotriz con 403%, Química con 362% y Cemento con 359%; siendo estas industrias las de mayor cambio durante dicha etapa. Los efectos de mezcla de combustibles para generar electricidad y mezcla de combustibles de energía de uso final no fueron significativos. Los cambios en la demanda de energía por rama industrial analizada, así como su cambio en cuanto a sus respectivas emisiones de CO₂ se muestran en la Gráfica 4.

Gráfica 4

Cambios en la demanda de energía final y de emisiones de CO₂ por rama de actividad económica del Sector Industrial Mexicano para el período de 1965 a 1982



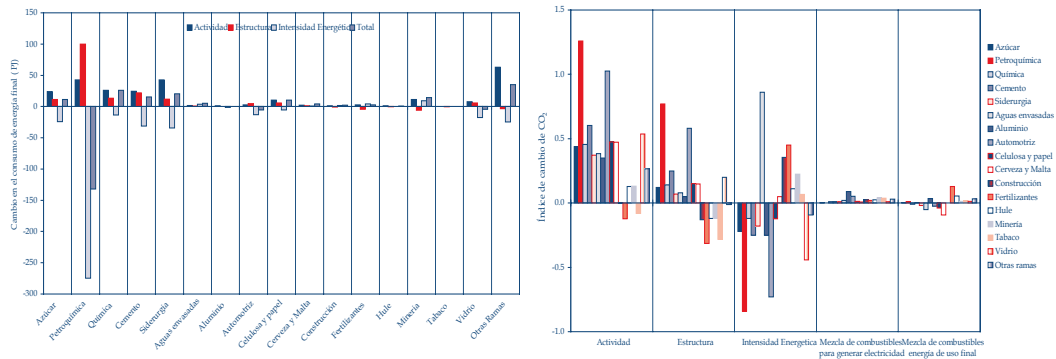
Fuente: elaboración propia con datos de la Secretaría de Energía, Dirección General de Formulación de Balances y Anuarios. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Sistema de Cuentas Nacionales de México.

El impacto mayor, en el efecto de la actividad económica y en el efecto estructural, se observa claramente en la rama de la Petroquímica, la cual fue la industria que prosperó generosamente en esta etapa, en razón del auge de la industria petrolera aunado al compromiso del gobierno con el abastecimiento de productos derivados del petróleo que satisficieran las necesidades del naciente Sector Industrial Mexicano. En cuanto al efecto de la intensidad energética, la industria de Fertilizantes, se debe a la relación directa con la producción petroquímica y la gran demanda de insumos para impulsar y desarrollar el campo mexicano, esto como parte de una política gubernamental de autosuficiencia (CEFP/002/2005).

Etapa de 1982 a 1994

El uso de energía final se ubicó en 1032.5 PJ para 1994, sólo 0.66% de incremento respecto de 1982 y; en lo que respecta al PIBI, éste se incremento en 28.14% ubicándose en 104 MMUSD (de 1993) en 1994. El método de descomposición, reveló que el crecimiento de la demanda de energía final, se debió a la acción conjunta de los efectos “Actividad” y “Estructura”, los cuales mostraron un incremento de 264.99 y 161.89 PJ respectivamente. Por otro lado, el efecto de la intensidad energética sobre la demanda de energía contribuyó a la reducción de esta en 420.11 PJ. El cambio energético debido al efecto Actividad se debe principalmente a la labor desarrollada por las ramas de Siderurgia (42.83 PJ), Petroquímica (42.81 PJ), Química (26.17 PJ), Cemento (24.36 PJ) y Azúcar (24.18 PJ), las cuales representaron 60.52% del incremento total del consumo de energía final del SIM. En cuanto al efecto Estructura, las ramas industriales de la Petroquímica (100.08 PJ) y el Cemento (22.04 PJ) fueron determinantes en el crecimiento de la demanda energética final del SIM. En lo que respecta al efecto de la Intensidad energética sobre la demanda de energía final, las ramas que mostraron cambios significativos en cuanto a su disminución son Petroquímica (-274.70 PJ), Siderurgia (-34.23 PJ), Cemento (-31.11 PJ) y Azúcar (-24.28 PJ) y las que presentaron un aumento son Minería (9.12 PJ), Fertilizantes (4.28 PJ) y Aguas envasadas (3.51 PJ).

Gráfica 5
Cambios en la demanda de energía final y de emisiones de CO₂ por rama de actividad económica del Sector Industrial Mexicano para el período de 1982 a 1994



Fuente: elaboración propia con datos de la Secretaría de Energía, Dirección General de Formulación de Balances y Anuarios. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Sistema de Cuentas Nacionales de México.

Lo anterior, se refleja en la emisión de CO₂, donde advertimos que el efecto de la intensidad energética representó una disminución de las emisiones de CO₂ en 30%, el efecto Actividad incrementaría las emisiones de CO₂ hasta 54% y el efecto estructural en 20%. A nivel rama de actividad económica observamos que estas emisiones de CO₂, debidas al efecto Actividad, se debieron principalmente a las industrias de la Petroquímica (126%), Automotriz (103%), Cemento (60%) y Vidrio (54%). En esta etapa, se distinguieron dos ramas con una tendencia a la baja en cuanto a sus emisiones: Fertilizantes (-12%) y Tabaco (-8%). En cuanto al efecto estructural, las ramas que mostraron un aumento en su emisión de CO₂ son la Petroquímica con 77%, Automotriz con 58%, Cemento con 25% y Vidrio con 20%. Por otra parte, las que presentaron una declinación son Fertilizantes (-32%), Tabaco (-28%). En lo que respecta a la Intensidad energética, las ramas de Aguas envasadas (86%), Fertilizantes (45%) y Construcción (35%) mostraron su impacto en el incremento de la producción de emisiones de CO₂, mientras que las ramas industriales como la Petroquímica (-84%), Automotriz (-73%) y Vidrio (-44%), mitigaron las emisiones de CO₂ del SIM. Por lo que se refiere a la mezcla de combustibles para generar electricidad y Mezcla de combustibles de energía de uso final no existen cambios relevantes en las ramas analizadas. Los efectos conjuntos de cada una de las ramas de actividad industrial para esta etapa en cuanto a su evolución en la demanda de energía final y sus respectivas emisiones de CO₂ en el SIM se muestran en la gráfica 5.

En esta etapa, se distingue un cambio drástico en la rama industrial de la Petroquímica respecto de la etapa anterior. En ésta se aprecia una contracción de la demanda de energía final, la cual se explica en parte por la reestructuración del sector a partir de 1986. Con ella se produjo la apertura a la inversión privada, tanto nacional como extranjera, en la producción de sustancias químicas que hasta ese momento eran reservadas como producción exclusiva de Petróleos Mexicanos (Pemex), además del retiro paulatino de subsidios gubernamentales.

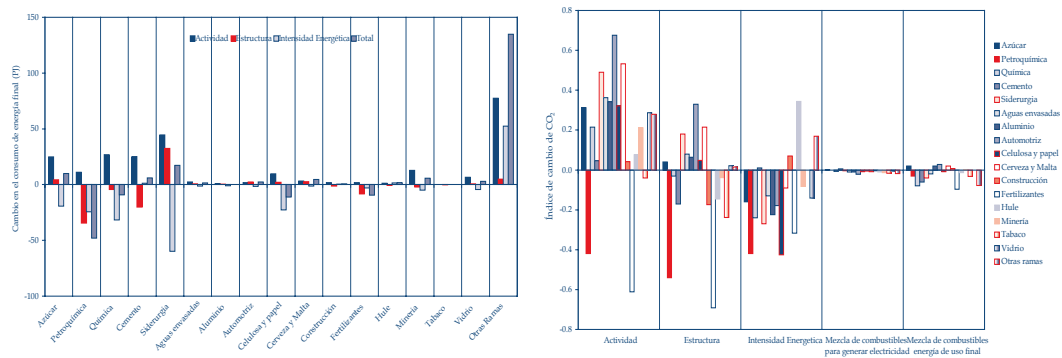
Etapa de 1994 a 2003

En esta etapa, el consumo de energía final se ubicó en 1143.07 PJ. Se observa que el efecto Actividad causó un incremento en la demanda de 252.16 PJ, mientras que los efectos de estructura y de intensidad energética mostraron un decremento de 21.71 y 119.88 PJ, respectivamente. Por lo que ve a las emisiones de bióxido de carbono, resultaron más significativas las procedentes del efecto Actividad, el cual produjo un incremento de 24% de las emisiones de CO₂. Por su parte, el efecto de intensidad energética produjo un decremento del 18% de las emisiones de CO₂ totales del SIM.

A nivel rama de actividad económica, el efecto Actividad para esta etapa muestra a las ramas industriales de la Siderurgia (44.66 PJ), Química (26.75 PJ), Cemento (25.08 PJ) y Azúcar (24.96PJ) como las más activas en el crecimiento del consumo de energía, representando 48.17% del aumento total de la demanda del SIM correspondiente a dicho efecto. En lo que corresponde al efecto de la Intensidad energética, destacan las ramas de la Siderurgia (-59.84 PJ), Química (-31.72 PJ), Petroquímica (-24.48 PJ), Celulosa y papel (-22.67 PJ) y Azúcar (-19.23 PJ) como las principales en cuanto al decremento del consumo de energía. En cuanto a las emisiones de CO₂, la actividad, representada por el valor agregado bruto, es un indicador que influye directamente en el aumento de las emisiones, distinguiéndose las ramas Automotriz (68%), Cerveza y Malta (53%), Siderurgia (49%), Aguas envasadas (36%) y, Aluminio (34%) como características de este efecto. La intensidad energética denota que la mayoría de las ramas analizadas alcanzaría una reducción de las emisiones de CO₂, lo cual se percibe principalmente en las ramas de Celulosa y papel (-43%), Petroquímica (-42%), Fertilizantes (-32%), Siderurgia (-27%) y Química (-24%). La mezcla de combustibles para generar electricidad y la mezcla de combustibles de uso de energía final no presentan cambios significativos para esta etapa. Los efectos para cada una de las ramas de actividad

económica industrial para esta etapa en cuanto a su evolución en la demanda de energía final y sus respectivas emisiones de CO₂ en el SIM se muestran en la gráfica 6.

Gráfica 6
Cambios en la demanda de energía final y de emisiones de CO₂ por rama de actividad económica del sector industrial mexicano para el período de 1994 a 2003



Fuente: elaboración propia con datos de la Secretaría de Energía, Dirección General de Formulación de Balances y Anuarios. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Sistema de Cuentas Nacionales de México.

Conclusiones

En el 2003, el consumo final energético de las 16 ramas de actividad económica industrial de importancia para el SIM constituyó 64.45% del total demandado por ese sistema ese año. En él destacaron las ramas de Siderurgia, Azúcar, Cemento, Química y Minería como industrias de alta demanda energética final. De 1965 a 2003, las ramas industriales con mayor crecimiento anual de demanda de energía fueron Construcción, Aguas envasadas, Hule, Cerveza y malta y Cemento; las de menor crecimiento anual para este período son Azúcar, Fertilizantes y Tabaco.

Las emisiones de CO₂ a la atmósfera por el consumo de energéticos de uso final pasaron de 22 millones de toneladas en 1965 a 74 millones de toneladas en 2003, lo que representa un incremento de 230%. En 1965, las ramas de Azúcar, Siderurgia, Cemento, Química y Minería, aglutinaban 60% de las emisiones de dióxido de carbono del SIM, mientras que en 2003, esas mismas ramas constituyeron 57%. También, observamos que los combustibles: Combustóleo, Gas natural y Bagazo de caña contribuían con 80% de las emisiones totales del SIM en 1965, pasando a aportar 59% para el 2003. Esto se debió al aumento en

el uso de la electricidad como energético de uso final. En cuanto a las etapas previstas en el análisis, de 1965 a 1982, 1982 a 1994 y 1994 a 2003, el incremento de las emisiones de CO₂ fue de 198, 5.6 y 4.5% respectivamente.

El estudio aprecia dos grandes efectos que influyeron fuertemente en el comportamiento de la demanda de energía final y por ende de las respectivas emisiones de CO₂ emitidas por el sector industrial y por cada rama analizada: el efecto *actividad* y el efecto *intensidad energética*. El primero, expresado por el valor agregado bruto y relacionado directamente con la producción de las diversas ramas analizadas, se constituyó como el factor principal que incremento el consumo de energía final. Las ramas de Azúcar, Petroquímica, Química, Cemento, Siderurgia, Celulosa y papel y Tabaco fueron las más activas dentro del período de estudio ya que representaron 65% de la demanda de energía final del SIM. Entre tanto, el efecto intensidad energética, explicado principalmente por el uso eficiente y ahorro de energía final, motivó la disminución del consumo de energía final a lo largo del período de estudio y en cada etapa analizada, siendo la etapa de 1982 a 1994 la más notable con una reducción de 420.10 PJ. Las industrias del Azúcar, Petroquímica, Química, Cemento y Siderurgia trascendieron como las más activas en dicha etapa.

En cuanto a las emisiones de CO₂, el efecto de la actividad económica expresado por el valor agregado bruto, se constituyó como el principal factor en el crecimiento de las emisiones de CO₂ del SIM, con una tasa de crecimiento anual de 4.32% en el período de 1965 a 2003. En éste encontramos que las ramas que han tenido un progreso en su aportación al PIB Industrial han elevado su participación en el total de las emisiones de CO₂. Dentro de estas industrias encontramos a las ramas de Química, Cemento, Siderurgia, Aguas envasadas y Automotriz. El efecto de la intensidad Energética, logra mitigar las emisiones de CO₂ totales del SIM, con una TMCA de -0.85%. A nivel rama económica y, a través de cada etapa analizada (1965-1982, 1982-1994 y 1994-2003), este efecto se hace cada más patente en el impacto de las respectivas emisiones de CO₂, como lo podemos advertir en la evolución a lo largo de estas etapas, en las ramas industriales como Aluminio (38, -25 y -22%), Construcción (314, 35 y 7%), Automotriz (-22,-73 y -18%), Celulosa y Papel (6,-12 y 43%), entre otras.

En cuanto a los efectos *Estructural*, mezcla de combustibles de energía de uso final y mezcla de combustibles para la generación de electricidad no se aprecian cambios significativos a nivel sector y rama económica para cada una de las etapas de este análisis.

El análisis de descomposición empleado nos explica de forma clara los factores *actividad, estructura e intensidad* energética, los cuales afectan directamente la demanda de energía final del sector industrial mexicano, así como lo sucedido en las ramas de actividad económica que presentan un uso intensivo de energía. En términos generales, las técnicas empleadas resultan ser un buen instrumento para medir y desagregar la demanda total de energía final del SIM y de las 16 ramas analizadas en este trabajo, así como las emisiones de CO₂ emitidas a la atmósfera en el período de 1965 a 2003.

Finalmente, al ser la intensidad energética el indicador que mitiga de una manera considerable la demanda de energía final y las emisiones de CO₂ del sector industrial, se debe llevar a cabo, por un lado, un análisis para incrementar aun más este efecto. Por el otro, se debe analizar cómo poner en marcha decisiones que reduzcan esas emisiones al modificar “estructura” y “mezcla de combustibles”, siempre considerando un aumento en la actividad económica ■

Bibliografía

- Balance Nacional de Energía (BNE) [2003]. Secretaría de Energía, www.sener.gob.mx
- Centro de Estudios de las Finanzas Públicas (CEFP) [2004], "Evolución del Sector Manufacturero de México, 1980-2003", Cámara de Diputados; H. Congreso de la Unión, diciembre.
- CONIECO [2001], *Desempeño ambiental del Sector Industrial en Latinoamérica y el Caribe a 10 años de los acuerdos de Río* (elaborado por: José María Fernández-Busto; Editado por: Diego Masera).
- IIEC-UNAM [2001], Instituto de Investigaciones Económicas, Universidad Nacional Autónoma de México, *Momento Económico*, boletín electrónico, vol. 7, ejemplar 12.
- Instituto Nacional de Ecología (INE) [2001], "Programa para mejorar la calidad del aire del Valle de México", 1995-2000, Guadalajara 1996-2000, Monterrey 1997-2000 y Ciudad Juárez 1998-2000.
- Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC) [1996], "Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero", versión revisada en 1996. Módulo 1, 1.7
- Liu-2003, Liu, F.L., Ang, B.W. [2003], "Eight methods for decomposing the aggregate energy-intensity of industry", *Applied Energy* 76, 15-23.
- OCDE (2004), *Estudios económicos de la OCDE. México 2003*, Organization for Economic Cooperation and Development, Paris.
- Schipper, L., Unander, F., Murtishaw, S., Ting, M. [2001], "Indicators of Energy Use and Carbon Emissions: Explaining the energy economy Link", *Annu. Rev. Energy Environ* 26, 49-81.
- Sheinbaum, C.; Rodríguez V., L., [1997], "Recent trends in Mexican industrial energy use and their impact on carbon dioxide emissions", *Energy Policy* 25, 7-9, 825-831.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), Banco de Información Económica, Sistema de Cuentas Nacionales. www.inegi.gob.mx