



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA**

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN ENERGÍA**

**Prospectiva de la energía de uso final y sus  
emisiones de bióxido de carbono en las ramas  
económicas del Sector Industrial Mexicano**

**T E S I S**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**DOCTOR EN INGENIERÍA**

ENERGÍA – ENERGÍA Y MEDIO AMBIENTE

P R E S E N T A:

**Domingo González Zúñiga**

Director de tesis: **Dr. Manuel Martínez Fernández**



Temixco, Morelos, 2012



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**JURADO ASIGNADO:**

Presidente: Dr. De la Vega Navarro, Ángel.  
Secretario: Dr. Martínez Fernández, Manuel.  
Vocal: Dr. Fernández Zayas, José Luis.  
1er. Suplente: Dr. Manzini Poli, Fabio.  
2do. Suplente: Dr. Rivera Gómez Franco, Wilfrido.

Lugar donde se realizó la tesis:

Centro de Investigación en Energía, Temixco Morelos

Tutor de Tesis:  
Manuel Martínez Fernández

---

Firma

## **Agradecimientos.**

Al jurado de Tesis: Dr. Manuel Martínez Fernández, Dr. Ángel De la Vega Navarro, Dr. Fabio Manzini Poli, Dr. Wilfrido Rivera Gómez Franco, y Dr. José Luis Fernández Zayas, por sus observaciones, sugerencias, correcciones y sobre todo paciencia en este largo proceso de obtención de grado.

A todos: la presente Tesis es un esfuerzo en el cual participaron varias personas leyendo, opinando, y corrigiendo.

A la UNAM, al CIE, al CONACYT.

Gracias.

## Prospectiva de la energía de uso final y sus emisiones de bióxido de carbono en las ramas económicas del Sector Industrial Mexicano

### Índice general

<b>Índice general.</b>	<i>iv</i>
<b>Índice de figuras.</b>	<i>viii</i>
<b>Índice de tablas.</b>	<i>x</i>
<b>Acrónimos y nomenclatura.</b>	<i>xii</i>
<b>Resumen.</b>	<i>xiv</i>
<b>Abstract.</b>	<i>xv</i>
<b>Prólogo.</b>	<i>xvi</i>
<b>La propuesta.</b>	<i>xvi</i>
Antecedentes.	<i>xvi</i>
Planteamiento del problema.	<i>xx</i>
Justificación.	<i>xx</i>
Hipótesis.	<i>xx</i>
Objetivo general.	<i>xxi</i>
Objetivos específicos.	<i>xxi</i>
Narrativa por capítulos.	<i>xxi</i>
<b>Introducción.</b>	<b>1</b>
Desarrollo sustentable en el sector industrial.	<b>2</b>
<b>Capítulo 1. Industrialización en México.</b>	
1.1 Introducción.	<b>5</b>
1.2 Estructura y evolución del sector industrial.	<b>5</b>
1.3 Desarrollo económico y crecimiento industrial.	<b>7</b>
1.4 Reestructuración Industrial y apertura comercial.	<b>9</b>
1.5 Medio ambiente, Industria y CO <sub>2</sub> .	<b>13</b>
1.5.1 Micro, Pequeña y Mediana Empresa, (MiPyME).	<b>14</b>
<b>Capítulo 2. Estudio retrospectivo.</b>	
2.1 Introducción.	<b>16</b>
2.1.1 ¿Qué son los indicadores energéticos?	<b>16</b>
2.1.2 Indicadores de eficiencia energética en la industria.	<b>18</b>
2.1.3 Importancia de los indicadores energéticos en la planeación y desarrollo estratégico nacional.	<b>19</b>
2.1.4 Relación crecimiento energético, económico y emisiones de CO <sub>2</sub> .	<b>20</b>
2.1.5 Emisiones internacionales de CO <sub>2</sub> .	<b>21</b>
2.1.6 Emisiones nacionales de CO <sub>2</sub> .	<b>23</b>
2.2 Tendencias en los indicadores energéticos seleccionados en la industria Mexicana.	<b>24</b>
2.2.1 Análisis cualitativo.	<b>24</b>

2.2.1.1	Producto interno bruto.	24
2.2.1.1.1	Crecimiento económico por rama de actividad industrial.	26
2.2.1.2	Energía de uso final.	28
2.2.1.2.1	Energía de uso final por rama de actividad industrial.	29
2.2.1.2.2	Mezcla de combustibles de uso final.	31
2.2.1.3	Intensidad energética de uso final.	31
2.2.1.4	Emisiones de bióxido de carbono.	34
2.2.1.4.1	Bióxido de carbono debido a la mezcla de combustibles de uso final.	36
2.2.1.5	Cambio Metodológico en México.	37
2.2.1.5.1	Sistema de contabilidad industrial de América del Norte (SCIAN).	37
2.2.1.5.2	Indicadores económicos de la industria Mexicana, 2004-2010.	37
2.2.1.5.3	Compromisos y acciones de México ante el cambio climático.	39
2.3	Metodologías de análisis de descomposición.	39
2.3.1	Clasificación de las técnicas de descomposición.	40
2.3.1.1	Método de Divisia.	42
2.3.1.2	Método de Laspeyres.	42
2.3.1.3	Otros métodos de descomposición.	43
2.4	Análisis cuantitativo de los Indicadores seleccionados.	44
2.4.1	Energía de uso final.	45
2.4.1.1	Descomposición usando Laspeyres simple.	45
2.4.1.1.1	Sector Industrial Mexicano.	46
2.4.1.1.2	Ramas de actividad económica industrial.	48
2.4.1.2	Descomposición usando Laspeyres modificado.	52
2.4.1.2.1	Sector Industrial Mexicano.	53
2.4.1.2.2	Ramas de actividad económica industrial.	55
2.4.2	Intensidad energética de uso final.	58
2.4.2.1	Descomposición de la intensidad energética mediante Laspeyres refinado.	58
2.4.2.1.1	Sector Industrial Mexicano.	60
2.4.2.1.2	Ramas de actividad económica industrial.	61
2.4.3	Bióxido de Carbono.	65
2.4.3.1	Descomposición usando Laspeyres simple.	65
2.4.3.1.1	Sector Industrial Mexicano.	68
2.4.3.1.2	Ramas de actividad económica industrial.	70
2.4.3.2	Descomposición usando Laspeyres modificado.	75
2.4.3.2.1	Sector Industrial Mexicano.	77
2.4.3.2.2	Ramas de actividad económica industrial.	79
2.4.3.3	Intensidad de emisión de bióxido de carbono.	84
2.4.3.3.1	Descomposición Divisia de media logarítmica.	84
2.4.3.3.1.1	Sector Industrial Mexicano.	86
2.4.3.3.1.2	Ramas de actividad económica industrial.	88
2.5	Resultados.	96
<b>Capítulo 3. La Prospectiva.</b>		
3.1.	Introducción.	100
3.1.1	¿Qué es Prospectiva?	101

3.1.2 Utilidad de los estudios de prospectiva.	102
3.1.3 Planeación.	103
3.1.3.1 Metodologías en el proceso de planeación.	103
3.1.4 Elementos esenciales del proceso prospectivo.	105
3.1.5 Fases de la prospectiva.	106
3.1.6 Herramientas para el diseño de futuros.	107
3.2. Metodología para creación de escenarios.	108
3.2.1 ¿Qué es un escenario?	109
3.2.2 Construcción de escenarios.	109
3.2.2.1 Técnicas que apoyan la construcción de escenarios.	111
3.2.3 Tipos de escenarios.	111
3.3 Metodología para construcción de escenario base o de referencia.	113
3.3.1 Métodos de pronósticos.	113
3.3.2 Series de tiempo.	114
3.3.2.1 Características de las series temporales.	115
3.3.2.2 Ruido Blanco.	115
3.3.2.2.1 Estadístico de Box-Pierce.	115
3.3.2.3 Correlación y Autocorrelación.	116
3.3.2.4 Estacionariedad.	117
3.3.2.4.1 Métodos para tornar una serie de tiempo en estacionaria.	117
3.3.3 Modelos ARIMA.	118
3.3.3.1 Metodología de Box Jenkins.	119
3.3.3.1.2 Identificación del modelo.	120
3.4 Construcción de escenario base o de referencia.	121
3.4.1 Antecedentes.	121
3.4.2 Metodología.	125
3.4.3 Análisis.	126
3.4.3.1 Antecedentes.	126
3.4.3.2 Selección del modelo ARIMA.	127
3.4.3.3 Pronóstico de demanda de energía de uso final en la industria Mexicana.	133
3.4.3.4 Pronóstico de emisiones de CO <sub>2</sub> .	134
3.4.3.4.1 Electricidad.	135
3.4.3.4.2 Gas Natural.	137
3.4.3.4.3 Combustóleo.	139
3.4.3.4.4 Gas licuado, Diesel y Coque.	140
3.5 Resultados.	142
<b>Capítulo 4. Escenarios alternativos.</b>	
4.1 Introducción.	144
4.1.1 Ahorro de energía y eficiencia energética industrial.	145
4.1.2 Programas de ahorro de energía.	146
4.1.2.1 En México.	146
4.1.2.2 En el Mundo.	149
4.2 Energía renovable en México.	151
4.2.1 Opciones y potencial de energía renovable.	152
4.2.2 Barreras en el desarrollo de las energías renovables.	155

4.3 Tecnologías emergentes de eficiencia energética en la industria.	156
4.4 Consideraciones generales en la conformación de los escenarios alternativos.	157
4.4.1 Ahorro posible de energía en el Sector Industrial.	157
4.4.2 Uso de Energía Renovable en el Sector Industrial.	158
4.5 Escenarios energéticos alternativos.	160
4.5.1 Sector Industrial Mexicano.	160
4.5.2 Ramas de Actividad económica industrial.	162
4.5.2.1 Siderurgia.	162
4.5.2.2 Química.	165
4.5.2.3 Cemento.	167
4.5.2.4 Vidrio.	170
4.5.2.5 Minería.	172
4.5.2.6 Celulosa y Papel.	173
4.5.2.7 Cerveza y Malta.	176
4.5.2.8 Azúcar.	178
4.5.2.9 Petroquímica.	180
4.5.2.10 Aguas Envasadas.	183
4.5.2.11 Construcción.	185
4.5.2.12 Automotriz.	186
4.5.2.13 Aluminio.	188
4.5.2.14 Hule.	190
4.5.2.15 Fertilizantes.	191
4.5.2.16 Tabaco.	193
4.5.2.17 Otras ramas.	195
4.6 Resultados.	196
<b>Resultados y conclusiones finales.</b>	198
<b>Recomendaciones y trabajos futuros.</b>	204
<b>Anexos.</b>	
Anexo 1. Definición de las subramas del Sector Industrial Mexicano.	207
Anexo 2. Encadenamiento de series históricas del producto Interno Bruto.	213
Anexo 3. Producto Interno Bruto por rama de actividad económica industrial, 1965-2003.	215
Anexo 4. Calculo de Factores de Emisión de Carbón para el uso de electricidad.	217
Anexo 5. Factores de cambio en la demanda de energía de uso final en el Sector Industrial Mexicano para el período de 1965 a 2003 y etapas consideradas.	218
Anexo 6. Tecnologías emergentes de eficiencia energética empleadas en la industria.	219
Anexo 7. Publicaciones.	220
González, D., Martínez M., 2012. Decomposition analysis of CO <sub>2</sub> emissions in the Mexican industrial sector. Energy for Sustainable Development 16, 204-215.	220
González, D., Martínez M., 2012. Changes in CO <sub>2</sub> emission intensities in the Mexican industry. Energy Policy.	232
<b>Bibliografía.</b>	260



## Índice de figuras

<b>Figura 2.1.</b>	Pirámide de los indicadores energéticos.	19
<b>Figura 2.2.</b>	Índices de cambio del sector industrial Mexicano de 1965 a 2003.	21
<b>Figura 2.3.</b>	Principales países emisores de CO <sub>2</sub> a nivel mundial.	22
<b>Figura 2.4.</b>	Contribución de emisiones de CO <sub>2</sub> por categoría de procesos industriales en 1990 y 2002.	24
<b>Figura 2.5.</b>	Producto interno bruto por grandes sectores económicos de México, 1965-2003.	25
<b>Figura 2.6.</b>	Producto interno bruto por rama de actividad económica industrial de México, 1965-2003.	27
<b>Figura 2.7.</b>	Demanda de energía de uso final en grandes sectores económicos de México, 1965-2003.	28
<b>Figura 2.8.</b>	Demanda de energía de uso final por rama de actividad económica industrial, 1965-2003.	29
<b>Figura 2.9.</b>	Demanda de energía de uso final por tipo de combustible en el sector industrial Mexicano, 1965-2003.	31
<b>Figura 2.10.</b>	Intensidad energética final por rama económica industrial del sector industrial Mexicano, 1965-2003.	32
<b>Figura 2.11.</b>	Emisiones de CO <sub>2</sub> por rama de actividad económica industrial de México, 1965-2003.	34
<b>Figura 2.12.</b>	Emisiones de CO <sub>2</sub> por tipo de combustible de uso final en el sector industrial Mexicano, 1965-2003.	36
<b>Figura 2.13.</b>	Métodos recomendados para el análisis de descomposición de energía.	41
<b>Figura 2.14.</b>	Descomposición simple de las emisiones de CO <sub>2</sub> asociadas al consumo de energía de uso final en la industria Mexicana, 1965-1982.	71
<b>Figura 2.15.</b>	Descomposición simple de las emisiones de CO <sub>2</sub> asociadas al consumo de energía de uso final en la industria Mexicana, 1982-1994.	73
<b>Figura 2.16.</b>	Descomposición simple de las emisiones de CO <sub>2</sub> asociadas al consumo de energía de uso final en la industria Mexicana, 1994-2003.	74
<b>Figura 2.17.</b>	Descomposición M-LMDI-I de la intensidad de carbono en la industria Mexicana.	87
<b>Figura 2.18.</b>	Descomposición M-LMDI-II de la intensidad de carbono en la industria Mexicana.	88
<b>Figura 2.19.</b>	Atributos de descomposición M-LMDI-II de la intensidad de carbono de la industria Mexicana, 1965-1982 (base = 1965, %).	89
<b>Figura 2.20.</b>	Atributos de descomposición M-LMDI-II de la intensidad de carbono de la industria Mexicana, 1982-1994 (base = 1982, %).	92
<b>Figura 2.21.</b>	Atributos de descomposición M-LMDI-II de la intensidad de carbono de la industria Mexicana, 1994-2003 (base = 1994, %).	94
<b>Figura 3.1.</b>	Fases del proceso prospectivo.	106
<b>Figura 3.2.</b>	Diagrama del método de construcción de escenarios.	111
<b>Figura 3.3.</b>	Diagrama de la metodología de Box-Jenkins.	120
<b>Figura 3.4.</b>	Evolución de las emisiones de CO <sub>2</sub> por tipo de combustible y rama de la industria Mexicana, 1965-2003.	123
<b>Figura 3.5.</b>	Series de tiempo del consumo de energía de uso final de la industria de aguas envasadas.	127
<b>Figura 3.6.</b>	Funciones de autocorrelación y autocorrelación parcial para la industria de aguas envasadas.	128
<b>Figura 3.7.</b>	Funciones de autocorrelación y autocorrelación parcial de los datos diferenciados para la industria de aguas envasadas.	129
<b>Figura 3.8.</b>	Funciones fac y fap de los residuos de los modelos propuestos a la serie de tiempo de gas licuado para la industria de aguas envasadas.	130
<b>Figura 3.9.</b>	Pronóstico del consumo de gas licuado de la industria de aguas envasadas.	131
<b>Figura 3.10.</b>	Pronóstico del consumo de diesel, combustóleo, gas natural y electricidad de la industria de aguas envasadas.	132
<b>Figura 3.11.</b>	Pronóstico del consumo de energía de uso final de la industria Mexicana.	134
<b>Figura 3.12.</b>	Escenario base de emisiones de CO <sub>2</sub> debidas al consumo de electricidad en la industria Mexicana, 2003-2030.	136

---

<b>Figura 3.13.</b>	Escenario base de emisiones de CO <sub>2</sub> debidas al consumo de gas natural en la industria Mexicana, 2003-2030.	138
<b>Figura 3.14.</b>	Escenario base de emisiones de CO <sub>2</sub> debidas al consumo de combustóleo en la industria Mexicana, 2003-2030.	139
<b>Figura 3.15.</b>	Escenario base de emisiones de CO <sub>2</sub> debidas al consumo de gas licuado, diesel y coque en la industria Mexicana, 2003-2030.	141
<b>Figura 4.1.</b>	Participación porcentual de la demanda de calor en el sector industrial por nivel de temperatura.	159
<b>Figura 4.2.</b>	Escenarios alternativos de la industria Mexicana, 2003-2030.	161
<b>Figura 4.3.</b>	Escenarios alternativos de la industria Mexicana de siderurgia, 2003-2030.	165
<b>Figura 4.4.</b>	Escenarios alternativos de la industria Mexicana de química, 2003-2030.	167
<b>Figura 4.5.</b>	Escenarios alternativos de la industria Mexicana de cemento, 2003-2030.	169
<b>Figura 4.6.</b>	Escenarios alternativos de la industria Mexicana de vidrio, 2003-2030.	171
<b>Figura 4.7.</b>	Escenarios alternativos de la industria Mexicana de minería, 2003-2030.	173
<b>Figura 4.8.</b>	Escenarios alternativos de la industria Mexicana de celulosa y papel, 2003-2030.	175
<b>Figura 4.9.</b>	Escenarios alternativos de la industria Mexicana de cerveza y malta, 2003-2030.	178
<b>Figura 4.10.</b>	Escenarios alternativos de la industria Mexicana del azúcar, 2003-2030.	180
<b>Figura 4.11.</b>	Escenarios alternativos de la industria Mexicana de petroquímica, 2003-2030.	183
<b>Figura 4.12.</b>	Escenarios alternativos de la industria Mexicana de aguas envasadas, 2003-2030.	184
<b>Figura 4.13.</b>	Escenarios alternativos de la industria Mexicana de la construcción, 2003-2030.	186
<b>Figura 4.14.</b>	Escenarios alternativos de la industria Mexicana automotriz, 2003-2030.	187
<b>Figura 4.15.</b>	Escenarios alternativos de la industria Mexicana de aluminio, 2003-2030.	189
<b>Figura 4.16.</b>	Escenarios alternativos de la industria Mexicana de hule, 2003- 2030.	191
<b>Figura 4.17.</b>	Escenarios alternativos de la industria Mexicana de fertilizantes, 2003-2030.	193
<b>Figura 4.18.</b>	Escenarios alternativos de la industria Mexicana de tabaco, 2003-2030.	194
<b>Figura 4.19.</b>	Escenarios alternativos de la industria Mexicana de ‘otras’ industrias, 2003-2030.	196

## Índice de tablas

<b>Tabla 2.1.</b>	Medidas de actividad, estructura e intensidad energética en la industria.	19
<b>Tabla 2.2.</b>	Producto interno bruto industrial por rama de actividad económica de México, 1965-2003.	27
<b>Tabla 2.3.</b>	Demanda de energía de uso final por rama industrial en la industria Mexicana, 1965-2003.	30
<b>Tabla 2.4.</b>	Evolución y crecimiento de la intensidad energética por rama industrial del sector industrial Mexicano, 1965-2003.	33
<b>Tabla 2.5.</b>	Emisiones de CO <sub>2</sub> por rama de actividad económica industrial, 1965-2003.	35
<b>Tabla 2.6.</b>	Clasificación de las técnicas de descomposición para el análisis de descomposición de energía.	44
<b>Tabla 2.7.</b>	Resumen de técnicas de descomposición completa empleados para el análisis de descomposición de energía.	44
<b>Tabla 2.8.</b>	Efectos de descomposición de Laspeyres simple del consumo de energía de uso final de la industria Mexicana.	48
<b>Tabla 2.9.</b>	Descomposición de Laspeyres simple de la demanda de energía de uso final de la industria Mexicana, 1965-1982.	49
<b>Tabla 2.10.</b>	Descomposición de Laspeyres simple de la demanda de energía de uso final de la industria Mexicana, 1982-1994.	51
<b>Tabla 2.11.</b>	Descomposición de Laspeyres simple de la demanda de energía de uso final de la industria Mexicana, 1994-2003.	52
<b>Tabla 2.12.</b>	Efectos de descomposición completa del consumo de energía final de la industria Mexicana, Laspeyres refinado.	54
<b>Tabla 2.13.</b>	Descomposición completa de la demanda de energía de uso final del sector industrial Mexicano, 1965-1982.	56
<b>Tabla 2.14.</b>	Descomposición completa de la demanda de energía de uso final del sector industrial Mexicano, 1982-1994.	57
<b>Tabla 2.15.</b>	Descomposición completa de la demanda de energía de uso final del sector industrial Mexicano, 1994-2003.	58
<b>Tabla 2.16.</b>	Descomposición completa periódica y serie de tiempo de la intensidad energética de la industria Mexicana.	60
<b>Tabla 2.17.</b>	Descomposición completa periódica y serie de tiempo de la intensidad energética por rama de actividad económica de la industria Mexicana, 1965-1982.	62
<b>Tabla 2.18.</b>	Descomposición completa periódica y serie de tiempo de la intensidad energética por rama de actividad económica de la industria Mexicana, 1982-1994.	63
<b>Tabla 2.19.</b>	Descomposición completa periódica y serie de tiempo de la intensidad energética por rama de actividad económica de la industria Mexicana, 1994-2003.	65
<b>Tabla 2.20.</b>	Índices de descomposición simple de las emisiones de CO <sub>2</sub> de la industria Mexicana.	69
<b>Tabla 2.21.</b>	Descomposición completa de las emisiones de CO <sub>2</sub> de la industria Mexicana.	78
<b>Tabla 2.22.</b>	Descomposición completa de las emisiones de CO <sub>2</sub> asociadas al consumo de energía de uso final de la industria Mexicana, 1965-1982.	80
<b>Tabla 2.23.</b>	Descomposición completa de las emisiones de CO <sub>2</sub> asociadas al consumo de energía de uso final de la industria Mexicana, 1982-1994.	81
<b>Tabla 2.24.</b>	Descomposición completa de las emisiones de CO <sub>2</sub> asociadas al consumo de energía de uso final de la industria Mexicana, 1994-2003.	83
<b>Tabla 2.25.</b>	Formulas de descomposición M-LMDI-I y M-LMDI-II.	85
<b>Tabla 2.26.</b>	Formulas de descomposición para análisis atributivo M-LMDI de la intensidad de emisión de CO <sub>2</sub> .	86
<b>Tabla 2.27.</b>	Cambios de descomposición M-LMDI de la intensidad de CO <sub>2</sub> en la industria Mexicana.	87
<b>Tabla 2.28.</b>	Resultados atributivos de la descomposición M-LMDI-II del efecto de estructura en la	90

	intensidad de carbono de la industria Mexicana, 1965-1982 (base = año previo, %).	
<b>Tabla 2.29.</b>	Resultados atributivos de la descomposición M-LMDI-II del efecto de intensidad energética en la intensidad de carbono de la industria Mexicana, 1965-1982 (base = año previo, %).	90
<b>Tabla 2.30.</b>	Resultados atributivos de la descomposición M-LMDI-II del efecto de coeficiente de emisión de CO <sub>2</sub> en la intensidad de carbono de la industria Mexicana, 1965-1982 (base = año previo, %).	91
<b>Tabla 2.31.</b>	Resultados atributivos de la descomposición M-LMDI-II del efecto de intensidad energética en la intensidad de carbono de la industria Mexicana, 1982-1994 (base = año previo, %).	93
<b>Tabla 2.32.</b>	Resultados atributivos de la descomposición M-LMDI-II del efecto de estructura en la intensidad de carbono de la industria Mexicana, 1982-1994 (base = año previo, %).	93
<b>Tabla 2.33.</b>	Resultados atributivos de la descomposición M-LMDI-II del efecto de coeficiente de emisión de CO <sub>2</sub> en la intensidad de carbono de la industria Mexicana, 1982-1994 (base = año previo, %).	94
<b>Tabla 2.34.</b>	Resultados atributivos de la descomposición M-LMDI-II del efecto de intensidad energética en la intensidad de carbono de la industria Mexicana, 1994-2003 (base = año previo, %).	95
<b>Tabla 2.35.</b>	Resultados atributivos de la descomposición M-LMDI-II del efecto de coeficiente de emisión de CO <sub>2</sub> en la intensidad de carbono de la industria Mexicana, 1994-2003 (base = año previo, %).	96
<b>Tabla 2.36.</b>	Resultados atributivos de la descomposición M-LMDI-II del efecto de estructura en la intensidad de carbono de la industria Mexicana, 1994 a 2003 (base = año previo, %).	96
<b>Tabla 3.1.</b>	Herramientas para el desarrollo de futuros.	108
<b>Tabla 3.2.</b>	Tasas medias de crecimiento anual de emisiones de CO <sub>2</sub> por tipo de combustible consumido por el Sector Industrial Mexicano, 1965-2003.	124
<b>Tabla 3.3.</b>	Pronóstico y valores oficiales de la demanda energética final de la industria Mexicana.	133
<b>Tabla 3.4.</b>	Proyección de crecimiento anual de las emisiones de CO <sub>2</sub> en la industria Mexicana, 2003-2030.	135
<b>Tabla 4.1.</b>	Participación porcentual de las energías renovables en la demanda de energía de México.	153
<b>Tabla 4.2.</b>	Tasas de penetración de energía renovable en el sector industrial.	159
<b>Tabla 4.3.</b>	Escenarios por rama de actividad industrial del sector industrial Mexicano, 2003-2030.	162
<b>Tabla 4.4.</b>	Eficiencia Energética técnica y reducciones potenciales de emisiones de CO <sub>2</sub> en la industria siderúrgica.	163
<b>Tabla 4.5.</b>	Potenciales técnicos de ahorro de energía y reducción de emisiones de CO <sub>2</sub> en la industria del cemento.	168
<b>Tabla 4.6.</b>	Ahorros energéticos específicos en la producción de cerveza.	176

---

## Acrónimos y nomenclatura

---

### Acrónimos

<b>APEC</b>	Asia Pacific Economic Cooperation, Agencia de Cooperación Económica Asia-Pacífico
<b>ARIMA</b>	Modelos Autorregresivos de Media Móvil
<b>ASI</b>	Activity, Structure and Intensity (Actividad, Estructura e Intensidad)
<b>BANCOMEXT</b>	Banco Nacional de Comercio Exterior, S.N.C.
<b>BM</b>	Banco Mundial
<b>CANACINTRA</b>	Cámara Nacional de la Industria de la Transformación
<b>CC</b>	Cambio Climático
<b>CCE</b>	Consejo Coordinador Empresarial
<b>CENAPRED</b>	Centro Nacional de Prevención de Desastres
<b>CEFP</b>	Centro de Estudios de las Finanzas Públicas
<b>CEPAL</b>	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
<b>CESPEDES</b>	Centro del Sector Privado para el Desarrollo Sustentable
<b>CH<sub>4</sub></b>	Metano
<b>CMNUCC</b>	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático
<b>CO<sub>2</sub></b>	Bióxido de Carbono
<b>CONABIO</b>	Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la Biodiversidad
<b>CONAE</b>	Comisión Nacional para el Ahorro de Energía
<b>CONCAMIN</b>	Confederación de Cámaras Industriales
<b>CONCANACO</b>	Confederación de Cámaras Nacionales de Comercio
<b>CONIECO</b>	Consejo Nacional de Industriales y Ecologistas, A.C. de México
<b>DOF</b>	Diario Oficial de la Federación
<b>FIDE</b>	Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica
<b>FMI</b>	Fondo Monetario Internacional
<b>FOMECAR</b>	Fondo Mexicano de Carbono
<b>GAR</b>	Gestión Ambiental Rentable
<b>GATT</b>	General Agreement of Tariffs and Trade, Acuerdo General de Aranceles y Comercio
<b>GEI</b>	Gases de Efecto Invernadero
<b>GTZ</b>	
<b>IEA</b>	Internacional Energy Agency, Agencia Internacional de Energía
<b>IBES</b>	Índice de Bienestar Económico Sostenible
<b>IED</b>	Inversión Extranjera Directa
<b>INE</b>	Instituto Nacional de Ecología
<b>INEGEI</b>	Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero
<b>INEGI</b>	Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática
<b>IPAT</b>	Impacto, Población, Ambiente y Tecnología
<b>IPCC</b>	Intergovernmental Panel on Climate Change, Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático
<b>I-P</b>	Insumo – Producto
<b>MDL</b>	Mecanismo para un Desarrollo limpio
<b>MiPyME</b>	Micro, Pequeña y Mediana Empresa
<b>MMUSD</b>	Miles de Millones de Dólares Estadounidenses.
<b>N<sub>2</sub>O</b>	Óxido nitroso
<b>O<sub>3</sub></b>	Ozono
<b>OCDE</b>	Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico
<b>OMC</b>	Organización Mundial de Comercio
<b>ONU</b>	Organización de las Naciones Unidas
<b>PIB</b>	Producto Interno Bruto
<b>PEMEX</b>	Petróleos Mexicanos
<b>PIB</b>	Producto Interno Bruto
<b>PYME</b>	Pequeña y Mediana Empresa

<b>PNUMA</b>	Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente
<b>PUE</b>	Programa Universitario de Energía
<b>SEMARNAP</b>	Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, Ahora SEMARNAT, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
<b>SENER</b>	Secretaría de Energía
<b>SIM</b>	Sector Industrial Mexicano
<b>TLC</b>	Tratado de Libre Comercio
<b>TLCAN</b>	Tratado de Libre Comercio de América del Norte.
<b>TMCA</b>	Tasa Media de Crecimiento Anual, tmca
<b>UE</b>	Unión Europea
<b>USCUSS</b>	Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura
<b>WBCSD</b>	World Business Council for Sustainable Development, Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sustentable
<b>WCED</b>	World Commission on Environment and Development, Comisión Mundial del Ambiente y Desarrollo
<b>WRI</b>	World Resource Institute, Instituto de Recursos Mundiales
<b>GJ</b>	Gigajoule
<b>Gg</b>	Gigagramo
<b>Gt</b>	Giga tonelada
<b>EJ</b>	Exajoule
<b>E</b>	Energía
<b>G</b>	Actividad económica
<b>S</b>	Estructura económica
<b>I</b>	Intensidad energética

---

## Resumen

---

El Sector Industrial Mexicano es uno de los pilares de la economía Mexicana, se constituye como el segundo consumidor de energía de uso final y el principal contribuyente al Producto Interno Bruto Nacional. El desarrollo del presente trabajo muestra una perspectiva a mediano y largo plazos de la industria Mexicana en cuanto a sus emisiones de bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) relacionadas al consumo de energía de uso final y mezcla de combustibles consumidos por rama de actividad económica industrial. El análisis retrospectivo establece variables económicas y energéticas, que tanto en el pasado como en la actualidad, influyen las tendencias en el consumo de energía y la emisión de carbono. La importancia de los cambios económicos, energéticos, políticos y sociales son evaluados mediante herramientas altamente probadas a nivel internacional en los campos de la planeación política, económica, energética y de toma de decisiones. Tales herramientas metodológicas se fundamentan en el análisis de descomposición basado en índices como Laspeyres y Divisia, siendo aplicadas las metodologías de Laspeyres simple (Schipper et al., 1992), Laspeyres refinado (Sun, 1998) y el índice Divisia de media logarítmica (Choi y Ang, 2011).

La proyección o pronóstico hacia el 2030 de las emisiones de CO<sub>2</sub> se plasma en un escenario base y tres escenarios posibles o alternativos: eficiencia energética, energía renovable y eficiencia energética más energía renovable. El método de proyección utilizado para el desarrollo del escenario base se fundamenta en la selección de modelos autorregresivos integrados y de media móvil (ARIMA), cuya selección se realizó con base a la metodología desarrollada por Box-Jenkins (1970). El Escenario de Eficiencia Energética considera los ahorros posibles y viables mediante el uso de una mejor tecnología futura, así como programas de ahorro de energía y sustitución de combustibles. El Escenario Renovable supone y toma en cuenta el potencial renovable de México en cuanto al desarrollo e implementación de fuentes alternas en procesos industriales, sobre todo en cuanto a suministro de energía eléctrica y demanda de calor de proceso. Así, los resultados obtenidos manifiestan que, para lograr un futuro sustentable, es necesario llevar a cabo no solo un programa de ahorro de energía fósil basado en la disminución de la intensidad energética sino también un programa de sustitución de energía fósil por fuentes de energía renovable, o uso de combustibles con menor contenido de carbono como lo expone el escenario de eficiencia energética más energía renovable. La disminución futura de las emisiones de CO<sub>2</sub> bajo un esquema de eficiencia energética y uso de energía alterna proporcionaría un impulso hacia la sustentabilidad de la industria en México y podría ser el camino propicio hacia una economía baja en carbono.

## Abstract

---

The Mexican industrial sector is one of the major sectors of the Mexican economy. It is the second largest consumer of end-use energy, and the first contributor to the national gross domestic product. The present study shows a prospective view at the middle and long-term of the carbon dioxide emissions related to its consumption of final energy use by fuel mix in the main industrial branches of the Mexican industry. The analysis uses economic and energetic indicators with the aim of knowing and understanding the past and present that have influenced the CO<sub>2</sub> emissions trends, thus providing a reliable view of the industrial sector based on consistent tools proved at international level. The decomposition methodologies based on indices such as Laspeyres index and Divisia index are applied by using the Laspeyres simple (Schipper et al., 1992), refined Laspeyres (Sun, 1998), and the logarithmic mean Divisia (Choi y Ang, 2011).

The study intends a prospective view up to 2030. It shows a base scenario and three possible scenarios: energy efficiency, renewable energy, and energy efficiency plus renewable energy. The forecasting methodology used to develop the baseline scenario is based on autoregressive and integrated moving average models (ARIMA), and Box-Jenkins (1970) methodology was applied to select the appropriate ARIMA model. The energy efficiency scenario takes into account the potential savings achievable through the use of a better future technology as well as energy saving and conservation, and switching from high carbon content fuels to lower carbon content ones. The renewable scenario considers the renewable energy potential of Mexico to put into practice alternative energy sources in industrial processes to supply electricity, and heat process demand. The results show that might be necessary carry out saving programs, fossil fuel energy switching by renewable energy sources or less-content carbon fuels that helps to reach better levels of energy intensity that currently is based on fossil fuels as it is showed in the energy efficiency plus renewable energy scenario. The future CO<sub>2</sub> emissions will be defined by taking actions in favor of energy efficiency and conservation combined with renewable energy introduction through a sustainable planning in the path of a low carbon economy.



# Prólogo.

---

## La propuesta.

### *Antecedentes.*

Las actividades industriales, tanto en los países industrializados como en los países en vías de desarrollo, son factor determinante para el crecimiento económico, científico, tecnológico y social. Éstas consumen grandes cantidades de energía y, por lo tanto, han generado emisiones contaminantes al medio ambiente, y a la salud humana. Así, las industrias con mayor incidencia ambiental negativa están conformadas por actividades productivas que, a la par de tener una participación económica y social importante, hacen un uso intensivo de recursos naturales no renovables de origen fósil. Los efectos ambientales de la actividad industrial se encuentran estrechamente relacionados con las intermediaciones financieras, políticas, tecnológicas, así como por el volumen de producción, y materias primas consumidas, entre otros factores<sup>1</sup>.

En México, la relevancia del sector industrial radica no sólo en el aspecto energético al representar el 34% de la demanda de energía de uso final a nivel nacional, ubicándolo como el segundo sector de importancia, detrás del sector Transporte (44%); sino también, representa un gran aporte al desarrollo y crecimiento económico nacional, su contribución es de aproximadamente el 26% (valor promedio de 1965 a 2003) al producto interno bruto nacional (PIB), siendo aproximadamente de 410.0 mil millones

---

<sup>1</sup> Casais Padilla Enrique, 2009. Políticas económicas y pobreza en México, 1982-2007. México, D.F.-Madrid. ISBN: 978-84-692-8458-2.

de pesos (a precios constantes base 1993) en 2003<sup>2</sup>. La matriz de insumo producto nacional se encuentra desagregado en 72 sectores o ramas de actividad económica, de las cuales 57 forman parte del sector industrial<sup>3</sup>. Dentro de estas 57 ramas, se encuentran dieciséis actividades industriales señaladas como industrias de alto uso intensivo de energía final. La aportación de las dieciséis ramas al PIB industrial representó el 46% en el 2003, mientras que su consumo de energía de uso final representó el 65% de la demanda de todo el sector para el mismo año. Para complementar el desempeño del sector industrial Mexicano (SIM), la actividad industrial denominada como ‘otras’ ramas industriales, integrada por 41 ramas de actividad económica industrial, significaron el 35% del consumo final de energía. En gran parte, la rama denominada ‘otras’ industrias, se encuentran integradas por Pequeñas y Medianas Empresas (PyMEs). La aportación al PIB industrial proveniente de ‘otras’ industrias alcanzó una participación de 54% en 2003.

Lo previamente expuesto, aunado a sucesos históricos en materia política, social, económica y energética, han influido en el crecimiento y desarrollo del país y del SIM, pero también han afectado de forma directa la creciente emisión de gases de efecto invernadero (GEI)<sup>4</sup>. De los cuales, el bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es considerado como el de mayor importancia debido a sus altas concentraciones en la atmósfera, intensificando el efecto invernadero, y catalogado como uno de los principales factores responsables del cambio climático (CC) a nivel mundial. Acontecimientos, como la crisis petrolera de los setentas, cuando el precio del petróleo pasó de tres dólares por barril en 1973 a más de 40 dólares por barril en 1979, en los países industrializados se impulsaron vigorosamente políticas de ahorro, conservación y diversificación de fuentes de energía, que produjeron un abatimiento sin precedente de la intensidad energética de sus economías. En el panorama local, México no fue la excepción, el precio del gas se triplicó en dos años y el de la energía eléctrica inicio un aumento continuo<sup>5</sup>. Además, durante el periodo 1984-1988 se implementó en México a través del Programa Nacional de Energía, el ahorro y el uso eficiente de energía en la política energética del país, al introducir el manejo directo e intencionado de variables e instrumentos de política que inciden sobre la demanda. A pesar de que los resultados han sido pobres en todas las áreas de actividad económica, la apertura comercial del país a partir de 1986 (General Agreement of Tariffs and Trade, GATT) motivó que en un par de años pasáramos de una economía cerrada, donde se requerían permisos de importación para la mayoría de los productos, a una totalmente abierta, donde la única barrera comercial son los aranceles. Muchas empresas emprendieron programas integrales de modernización. La transformación en la industria fue notoria en todas las áreas, incluyendo la energética. Durante el periodo de 1988 a 1993, el PIB

---

<sup>2</sup> Los precios constantes o todos los precios referidos a un año determinado, conocido como año base, permite aislar los efectos que originan las fluctuaciones en el nivel y estructura de los precios.

<sup>3</sup> Sistema de Información Geográfica. Los agrupamientos del Sector Industrial Mexicano. México, Secretaría de Economía del Gobierno Federal.

<sup>4</sup> En la atmósfera de la Tierra, los principales gases de efecto invernadero son el vapor de agua (H<sub>2</sub>O), el bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), el metano (CH<sub>4</sub>) y el ozono (O<sub>3</sub>). Hay además en la atmósfera una serie de GEI creados íntegramente por el ser humano, como los halocarbonos y otras sustancias con contenido de cloro y bromo, regulados por el Protocolo de Montreal. Además del CO<sub>2</sub>, el N<sub>2</sub>O y el CH<sub>4</sub>, el Protocolo de Kyoto establece normas respecto de otros gases de invernadero, a saber, el hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>), los hidrofluorocarbonos (HFC) y los perfluorocarbonos (PFC). IPCC–Intergovernmental Panel on Climate Change.

<sup>5</sup> Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal, 1988. Consumo de energía en la industria. Comisión de las Comunidades Europeas.

industrial creció 19%, mientras que el consumo de energía en la industria aumento solo 11%<sup>6</sup>. La necesidad del cambio se reforzó con la firma y entrada en vigor del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) en 1994 y otros acuerdos similares con países latinoamericanos, europeos y asiáticos<sup>7</sup>. Así, las emisiones de bióxido de carbono a la atmósfera se ven influidas, no sólo por las altas demandas energéticas de industrias con un uso intensivo de energía, sino también, por los cambios estructurales a nivel mundial y nacional, de igual forma como las incertidumbres en los precios de los energéticos de origen fósil principalmente.

Para explicar tales factores, estudios sobre la relación existente entre el consumo de energía y la emisión de CO<sub>2</sub> y de otros gases GEI, han acaparado el interés de la comunidad científica, en vías de determinar, comprender, evaluar causas y consecuencias a corto, mediano y largo plazo en el desarrollo del notable aumento de temperatura global, y de los fenómenos naturales negativos a nivel local y mundial. El objetivo principal es proponer acciones desde un punto de vista político, de planeación, y de desarrollo en cualquier ámbito afín, enfocadas a detener y/o mitigar el deterioro ambiental causado por el CC<sup>8</sup>.

A principios de la década de los años setenta, Ehrlich y Holdren (1972), realizaron la primera propuesta de un modelo orientado a discutir los agentes causales detrás de los impactos ambientales, relacionando factores de impacto (I), población (P), actividad económica (A), y tecnología (T); dieron a conocer la ecuación que se conoce con el nombre de Identidad IPAT<sup>9</sup>. Este modelo ha sido ampliamente discutido en diversos análisis sobre consumo de energía en relación con sus emisiones de CO<sub>2</sub> (Ogawa 1991, Parikh et al., 1991; Nakicenovic et al., 1993; Parikh, 1994; Alcamo et al., 1995; Gaffin y O'Neill, 1997; Güner y Ban, 1997; O'Neill et al., 2000), y en los cuales con frecuencia es referenciada con el nombre de Identidad de Kaya (1990). La identidad de Kaya<sup>10</sup> es una aplicación específica de la identidad IPAT utilizada en estudios energéticos en relación a las emisiones de carbono; Albrecht et al. (2001), Karakaya y Ozcag (2005), Raghuvanshi et al. (2006), Kawasea et al. (2006), y Ma y Stern (2007) son algunos de los autores que han realizado estudios aplicando este concepto.

A partir de la propuesta de la ecuación IPAT y de la Identidad de Kaya, han aparecido otra clase de modelos que proponen evaluar el uso intensivo de la energía versus emisiones de CO<sub>2</sub> de una manera desagregada mediante datos del tipo energético, y datos que describen los factores que originan el

---

<sup>6</sup> La energía en México replanteamiento de retos y oportunidades, 1995, Primer congreso nacional de la Asociación Mexicana para la Economía Energética A. C. Programa Universitario de Energía, UNAM. Instituto Mexicano del Petróleo.

<sup>7</sup> Colombia, Venezuela, Costa Rica, Bolivia, Nicaragua, Chile, Unión Europea, Israel, El Salvador, Guatemala, Honduras, Islandia, Noruega, Liechtenstein, Suiza, Uruguay, Japón. Secretaria de Economía, [www.economia.gob.mx](http://www.economia.gob.mx).

<sup>8</sup> Los fenómenos meteorológicos (ciclones, huracanes, tormentas) cobraron alrededor de 700 vidas humanas y costaron cerca de 700 millones de dólares anuales entre 1980 y 1999, según datos de INEGI y CENAPRED (cit. en CONABIO, 2006).

<sup>9</sup> Chertow M.R., 2000. En el artículo "The IPAT equation and its variants", publicado en *The Journal of Industry Ecology*, es proporcionada una revisión de la evolución de esta ecuación en los últimos 30 años.

<sup>10</sup> La Identidad de Kaya evalúa cuatro parámetros básicos en cuanto a la relación Energía-Emisiones de CO<sub>2</sub>: Población, Producto Interno Bruto Per capita, Intensidad energética e Intensidad de carbón de acuerdo al tipo de combustible.

consumo en sectores de uso final. Estas técnicas son conocidas como metodologías de análisis de descomposición basadas en índices (indicadores energéticos y/o económicos). Una de estas metodologías, ampliamente utilizada, fue desarrollada por la International Energy Agency (IEA, 1994), conocida como ecuación ‘ASI’<sup>11</sup> (Por sus siglas en inglés: Activity, Structure e Intensity; es decir, Actividad, Estructura, e Intensidad), la cual describe la relación existente entre los factores de actividad, estructura y de eficiencia energética (haciendo uso de la intensidad energética). Publicaciones referentes a esta técnica son Krackeler et al. (1998), Schipper y Murtishaw et al. (2001), Schipper y Unander et al. (2001), Unander et al. (2001), y Unander et al. (2004). Esta metodología ha sido utilizada para realizar comparaciones internacionales, como herramienta de planeación y definición de políticas a mediano y largo plazos en beneficio de un desarrollo sustentable, entre los países que han utilizado esta técnica tenemos a Australia, Canadá, Dinamarca, Finlandia, Francia, Alemania, Italia, Japón, Holanda, Nueva Zelanda, Noruega, Suecia e Inglaterra, entre otros.

En el caso de México, encontramos que se han desarrollado pocos estudios conducentes al análisis de las tendencias de uso de energía y de emisiones de CO<sub>2</sub>, ya sea nivel de grandes sectores de actividad económica (transporte, industria, residencial, servicios, etc.), o a nivel desagregado por actividad económica, como lo muestran trabajos publicados por Sheinbaum y Ozawa (1998), y Ozawa et al. (2002), en los cuales se analiza a las industrias del cemento y de la siderurgia, respectivamente. Utilizan la metodología de descomposición basada en el índice Divisia, tanto en su forma aditiva, como multiplicativa. Previamente, Sheinbaum y Rodríguez (1997) analizaron el período comprendido entre 1987 y 1993 considerando siete ramas de actividad industrial: minería, construcción, química, azúcar, cemento, celulosa y papel, y vidrio; mediante la aplicación de la metodología de descomposición basada en el índice de Laspeyres simple<sup>12</sup>. Sterner (1985 y 1987) realizó un estudio enfocado al SIM durante el período 1970-1981, el cual consideraba trece ramas industriales, entre las cuales mencionamos las industrias de alimentos, tabaco y bebidas, textiles, prendas de vestir, productos de madera, papel e imprenta, hule y otros químicos, productos metálicos y maquinaria; en este estudio se empleó una metodología de descomposición basada en el índice de Laspeyres, y en el índice de Paasche<sup>13</sup>.

En resumen, nuestro país cuenta con una historia de regulación ambiental reciente donde se observa una rápida convergencia hacia los estándares normativos de países desarrollados; en particular a partir de los primeros años de la década de los noventa. La política ambiental se ha basado tradicionalmente en un enfoque normativo y coactivo, centrado en la imposición de estándares y en su verificación oficial por parte de la autoridad<sup>14</sup>. Los avances en el cumplimiento de la normatividad, sumados a las iniciativas propias de la industria, se expresan en una reducción significativa de emisiones, así como de

---

<sup>11</sup> Resultados importantes de este trabajo se presentaron en la publicación “Oil Crises and Climate Challenges: 30 Years of Energy Use in IEA Countries. (IEA, 2004).

<sup>12</sup> El índice de Laspeyres (Etienne Laspeyres), es una forma de mostrar la evolución en el tiempo, a partir de un año base, de un conjunto de magnitudes, ponderando en cada una su importancia dentro del conjunto.

<sup>13</sup> El índice de Paasche (Hermann Paasche), a diferencia del índice de Laspeyres, utiliza las magnitudes del año actual, es decir del año en curso.

<sup>14</sup> El argumento de una aplicación coactiva de la regulación ambiental a través de instituciones gubernamentales es la necesidad de revertir el deterioro y agotamiento del capital natural, en aras del interés colectivo y en nombre de la viabilidad de la vida en el planeta. Véase: Política Ambiental y Eco-eficiencia en la Industria: Nuevos Desafíos en México (CCE-1999).

residuos contaminantes y aguas residuales. Por lo anterior, se hace necesario realizar estudios que ayuden a evaluar las causas de la generación de bióxido de carbono para diferentes escenarios de mitigación que tomen en cuenta metodologías de análisis acordes con la producción de bienes, consumo de energía y emisiones de CO<sub>2</sub>, entendiendo la estrecha relación que existe entre éstas y el desarrollo de políticas necesarias encaminadas al aseguramiento de menores niveles de contaminantes presentes en el ambiente.

### ***Planteamiento del problema.***

Dentro de la economía nacional se observa que uno de los sectores más dinámicos es el sector industrial, como se aprecia en los indicadores del PIB a nivel nacional. Tomando en cuenta, que un desarrollo económico ha implicado un crecimiento en la demanda de energía, aunado al acelerado proceso de industrialización, las emisiones de bióxido de carbono también se verán incrementadas como consecuencia del empleo de una mezcla de combustibles de uso final, basada en energía de origen fósil, necesaria para satisfacer la demanda de productos de la creciente población y de la propia industria. Por lo cual, se hace necesario un mejor conocimiento de los posibles crecimientos futuros de la demanda energética y sus factores explicativos interrelacionados con las emisiones de bióxido de carbono, que nos permitan una visión general y específica hacia el desarrollo de una planeación estratégica en el mediano y largo plazos, y que además, contemplen objetivos para el desarrollo sustentable y sostenible del sector y, por supuesto, de la nación. Asimismo, puntualizar el rumbo de las tendencias y perspectivas tecnológicas, y de políticas del sector industrial que ubiquen al país dentro de un marco referencial en el contexto mundial.

### ***Justificación.***

México es uno de los países con mayor potencial energético renovable del mundo<sup>15</sup>; sin embargo, las políticas económicas, sociales, ambientales y de innovación tecnológica que existen impiden un desarrollo sustentable. El desarrollo de modelos futuros de generación y consumo de energía relacionados a las emisiones de bióxido de carbono, que incorpore factores como el crecimiento económico, avances tecnológicos, políticas de ahorro, uso eficiente de combustible e incorporación de energías renovables, redundará en un instrumento confiable y capaz de ser utilizado para el desarrollo de políticas ambientales y energéticas, logrando una gestión ambiental eficiente que coadyuve a un desarrollo industrial competitivo, como proceso decisivo para asegurar niveles crecientes de bienestar social, que vayan de acuerdo a la realidad cambiante de este mundo globalizado.

### ***Hipótesis.***

Es posible proveer información confiable respecto del crecimiento de la demanda de energía y su relación con las emisiones de bióxido de carbono por parte del sector industrial Mexicano que permita

---

<sup>15</sup> Véase: Energías renovables en México dentro del marco de la APEC: estado actual y perspectivas. Formación de recursos humanos. Estudios Internacionales. 2006.

establecer los mecanismos adecuados para su desarrollo sustentable, al considerar aspectos económicos, ambientales, tecnológicos, sociales y políticos.

### ***Objetivo general.***

Establecer trayectorias tecnológicas futuras del sector industrial Mexicano, para cada una de sus ramas de actividad, que permitan alcanzar un desarrollo energético sustentable para México en el largo plazo, al considerar su crecimiento económico, la demanda de energía final y el impacto futuro de sus emisiones de bióxido de carbono.

### ***Objetivos específicos.***

- Analizar la relación que existió y existe entre el crecimiento económico, la demanda de energía final y su emisión de bióxido de carbono del sector industrial Mexicano, en ramas de importancia para el desarrollo económico y energético del país.
- Construcción de escenarios: tendencial y alternativos hacia el 2030, en el sector industrial Mexicano y sus ramas de actividad económica.
- Establecer trayectorias tecnológicas y energéticas futuras en el sector industrial Mexicano que permitan alcanzar un desarrollo sustentable en el largo plazo, hacia el 2030.

### ***Narrativa por capítulos.***

Para lograr los objetivos generales y específicos del proyecto de tesis, se plantea la siguiente estructura a seguir:

*Introducción*, muestra aspectos generales (económicos, políticos, y ambientales) que inciden en el desarrollo del sector industrial tanto a nivel nacional como internacional, considerando la importancia de las fuentes de energía, sus efectos en el deterioro ambiental, el crecimiento de las industrias altamente intensivas en el uso de energía, y sus implicaciones en sus respectivas emisiones de CO<sub>2</sub>, entre otros factores.

*Capítulo 1*, muestra el aspecto histórico del desarrollo industrial en México desde el punto de vista de política de estado y su influencia en el crecimiento económico, la intensificación del uso de energía de uso final que han acentuado su impacto ambiental en el país debido a concesiones provenientes de la administración gubernamental hacia ciertas ramas industriales consideradas como eje del desarrollo económico del país.

*Capítulo 2*, presenta la importancia histórica y actual de los principales indicadores energéticos considerados en el sector industrial Mexicano dentro del contexto nacional e internacional. Se muestra el comportamiento de la demanda energética asociada a las emisiones de CO<sub>2</sub>, e identifica las características relevantes de las ramas de importancia del sector industrial. Evalúa los cambios estructurales, tecnológicos y económicos del SIM en el período comprendido de 1965 a 2003. Además, presenta el análisis retrospectivo a nivel de sus principales ramas de actividad económica industrial

---

utilizando técnicas de descomposición de índices económicos que relacionan el crecimiento económico con la demanda de energía y emisiones de bióxido de carbono.

*Capítulo 3*, define el proceso de planeación prospectiva, así como, las características de los métodos existentes y los seleccionados para el análisis de los indicadores energéticos definidos en el capítulo 1. Se describe el proceso de creación del escenario base o de referencia por medio del empleo de modelos ARIMA (Modelos autorregresivos integrados de media móvil) en series de tiempo estacionarias de carácter económico y energético con el objetivo de cuantificar el volumen total de emisiones de bióxido de carbono en el año 2030 para el sector industrial y ramas industriales de importancia. El análisis contempla las diferencias existentes entre los pronósticos obtenidos al utilizar los datos individuales de consumo de energía de uso final por tipo de combustible en cada rama industrial, series históricas de emisiones de CO<sub>2</sub> en cada rama industrial y la demanda total de energía de uso final por rama de actividad económica industrial, con el fin de ponderar los pronósticos obtenidos de las emisiones de bióxido de carbono en el año 2030.

*Capítulo 4*, plantea tres escenarios de mitigación de emisiones de CO<sub>2</sub>. El primero, denominado de *ahorro*, contempla la puesta en marcha de programas de ahorro de energía y/o cambio tecnológico y/o cambio de energéticos de uso final realizados por las propias industrias, así como normas de eficiencia energética expedidas por dependencias oficiales como la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE) y el Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE). Se analiza el potencial de ahorro de energía por el empleo de tecnologías más eficientes en el uso de energía final de origen fósil aplicadas en las ramas industriales de importancia del sector industrial Mexicano y se cuantifica su impacto en emisiones de CO<sub>2</sub> hacia el año 2030. El segundo, llamado *renovable*, explora el uso de energía renovable en las principales industrias de uso intensivo de energía en sustitución de fuentes de energía de origen fósil, buscando satisfacer, hasta lo posible, los requerimientos de energía térmica, mecánica y eléctrica del sector industrial. En estos escenarios, se contempla la posible aplicación de políticas públicas que se han propuesto en países altamente industrializados orientadas a mejorar la eficiencia energética, el ahorro de energía y mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero y por supuesto del bióxido de carbono, en vías de alcanzar las metas acordadas en el protocolo de Kyoto. El tercero llamado energía renovable más eficiencia energética, considera las ventajas integradas de los dos previos escenarios.

*Resultados y conclusiones*, analiza, presenta y discute los principales resultados tendenciales para cada rama industrial y para el sector industrial, así como los obtenidos en cada escenario alternativo planteado. Se compara los resultados obtenidos con estudios nacionales (Prospectivas energéticas publicadas por la Secretaría de Energía, y otras dependencias) e internacionales (Publicaciones de la Agencia Internacional de Energía, AIE y de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, OCDE, entre otras). Además, presenta posibles recomendaciones de acciones a desarrollar, y propone mejoras de eficiencia energética aplicadas al SIM, y en las principales ramas de actividad económica industrial que auxilien en la mitigación de las emisiones de CO<sub>2</sub> en el mediano y largo plazos. Por último, se hace referencia al cumplimiento de los objetivos del proyecto de tesis y enumera los resultados de la investigación.

## Introducción.

---

El crecimiento industrial se ha constituido como el impulsor del proceso de urbanización, ha favorecido el surgimiento de un sector de servicios que ha consolidado a las grandes urbes y ciudades medias, y de él depende gran parte del crecimiento económico y el bienestar de la población, tanto urbana como rural. En la actualidad, la industria en México ha registrado un crecimiento superior al crecimiento general de la economía y se ha convertido en el sector que aporta la mayor parte de los recursos externos del país. Por lo anterior, las nociones generales de la relación entre la industria y el medio ambiente han cambiado significativamente, representando una fuente de contaminación del suelo, agua y aire que afectan la salud humana y empeoran cada vez más la ecología mundial. Sin embargo, en años recientes, también se observa que la relación industria y medio ambiente, ha originado que ciertas empresas sean cada vez más eficientes en el uso de energía, desarrollen tecnología que causa menores emisiones contaminantes, implementen programas de sustitución de combustibles fósiles, y se ajusten a leyes y normas ambientales de política pública.

El trabajo presentado realiza un análisis relativo al uso de energía final y sus emisiones de bióxido carbono en el sector industrial Mexicano, se consideran indicadores de tipo económico y energético, en busca de conocer las causas que han motivado el incremento tendencial de estas emisiones, en función de tres factores: actividad, estructura e intensidad, a lo largo del período 1965-2003 en las ramas principales de la industria Mexicana. Además, se efectúa una prospectiva energética-ambiental considerando posibles políticas de desarrollo, políticas de ahorro, eficiencia energética, nueva tecnología, y uso de energía renovable aplicada en las ramas industriales, con el objetivo de visualizar una reducción de las emisiones de bióxido de carbono hacia el 2030.



### ***Desarrollo sustentable en el sector industrial.***

El presente trabajo no profundiza sobre las cuatro dimensiones: económica, social, ambiental e institucional, de sustentabilidad en el sector industrial (caso particular de México), pero se advierte que la sustentabilidad es un concepto que debe tenerse presente en el diseño de los planes de desarrollo, tanto de política energética como económica, que no comprometan la disposición de los recursos energéticos ambientales en beneficio de un avance económico y de bienestar social. La industria ligada a los recursos naturales (renovables y no renovables) ha traído al debate la sostenibilidad en las estrategias que han seguido y seguirán los países en el futuro. En muchos países de la región se constata una creciente especialización en industrias ambientalmente sensibles, que también son intensivas en energía y capital, y la pérdida relativa de habilidad para competir en el campo de las industrias intensivas en conocimiento (Schaper, 2007).

El concepto de desarrollo sustentable –*sustainable development*– apareció por primera vez en 1980 en un reporte del programa ambiental de las Naciones Unidas (Pierce et al., 1990), pero fue hasta 1992 que cobró gran importancia en la Cumbre de la Tierra en Río de Janeiro. Previamente, en 1987, se publicó el denominado informe Brundtland también llamado *Our Common Future* que fue la plataforma para la realización de la Cumbre de Río y la aprobación de la Agenda 21, la Declaración de Río y el establecimiento de la Comisión en Desarrollo Sustentable<sup>16</sup>.

La Comisión Mundial del Ambiente y Desarrollo define el desarrollo sustentable como aquel que “permite a la generación actual satisfacer sus necesidades sin poner en peligro la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus necesidades propias” (World Commission on Environment and Development, 1987). Esta concepción del desarrollo sustentable ha ido cambiando con el transcurrir de los años y de la perspectiva de varios autores para explicar la relación intrínseca entre el ambiente, desarrollo económico, político, científico, tecnológico y social.

En la actualidad, considerar los problemas de la actividad industrial en términos de la sustentabilidad implica considerar, necesariamente, los argumentos en los planos tecnológico, económico, ético y político. Inclusive, habría que comenzar por plantearse si la actual estructura industrial y económica es compatible con los postulados de la sustentabilidad (Mercado y Córdova, 2005). A la vista de estos nuevos planteamientos y con las políticas ambientales como telón de fondo, el diagnóstico de la mayoría de las empresas que nos rodean evidencia una serie de puntos críticos que serían objeto de perfeccionamiento, como el establecimiento de medidas sobre eficiencia y competitividad de la industria en cuestión. En el documento realizado por la CONIECO (Consejo Nacional de Industriales Ecologistas, A.C. de México), a petición del PNUMA (Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente) y en el marco para la consulta regional del sector industrial en Latinoamérica y el Caribe celebrado en Río de Janeiro en Brasil a 10 años de los acuerdos de Río (2001), se plantearon cuatro dimensiones del desarrollo sustentable que se enuncian a continuación<sup>17</sup>:

---

<sup>16</sup> En la Cumbre de Río, 178 gobiernos aprobaron diversos documentos, los cuales son: Programa 21: este es un plan de acción que tiene como finalidad metas ambientales y de desarrollo en el siglo XXI; Declaración de Río sobre medio ambiente y desarrollo: se definen los derechos y deberes de los Estados; Declaración de principios sobre los bosques; Convenciones sobre el cambio climático, la diversidad biológica y la desertificación.

<sup>17</sup> Los indicadores propuestos por la CDS de la ONU (Comisión para el Desarrollo Sustentable de las Naciones Unidas) se diseñaron y agruparon de acuerdo a los criterios temáticos que cubren la Agenda 21 y se clasificaron

***Dimensión social.***

La industria debe asumir su responsabilidad social de organizar los factores de la producción y continuar generando riqueza y oportunidades de empleo, cada vez mejor remunerado en función del incremento en la productividad; así como participando de manera eficiente en las áreas productivas y de servicios que se abran a la competencia. El desarrollo fincado en el abuso de los recursos naturales no es progreso, la satisfacción de las necesidades de nuestros pueblos a costa de los equilibrios de la naturaleza, tiene un alto precio a pagar en el futuro (el alimento de hoy puede ser el hambre del mañana). Esto se refleja en la industria extractiva, que tienen la mayor parte de los países de Latinoamérica y el Caribe.

***Dimensión económica.***

Debemos aceptar que ninguna política de desarrollo económico debe soslayar el beneficio social, pero también que sin una base material que la respalde, ninguna política social es viable. Esto significa que hoy, el camino de una economía distributiva y de bienestar pasa necesariamente por la disciplina fiscal, el control inflacionario, el fortalecimiento de un aparato productivo moderno y competitivo y, en general, por el sostenimiento de variables macroeconómicas sanas. Las palabras de Víctor Urquidí<sup>18</sup> en cuanto a la dimensión económica, exponen la visión 'tradicional' de la sostenibilidad: la economía en el uso de los recursos escasos y en particular de los que, como los principales energéticos de origen fósil, contribuyen a la formación del efecto invernadero y, en consecuencia, al cambio climático a largo plazo; y el reemplazo de los recursos y los procesos emisores de residuos y desechos contaminantes, su reciclaje en los casos en que la tecnología existente y la futura lo permitan, todo ello para evitar en general, al máximo posible, las emisiones de residuos peligrosos o tóxicos, con apoyo en la aplicación de tecnologías "más limpias" o "menos sucias". Urquidí (2005)<sup>19</sup> dice: "El cierre del siglo XX, no auguraba ni prosperidad ni crecimiento, mucho menos un desarrollo económico y social integrado...con algunas excepciones parciales. Algunos países vieron crecer su economía, pero faltaron políticas sociales para reducir significativamente las desigualdades...En otros, se adoptaron políticas macroeconómicas tendientes a la estabilidad, pero fue a costa del crecimiento. Quedan muy atrás los años del desarrollo acelerado y sobresalen los decenios perdidos".

***Dimensión ambiental.***

En la actual situación de competencia nacional e internacional, las industrias están muy conscientes de los factores que afectan los resultados financieros, principalmente por la "desaceleración" económica que estamos viviendo. Por lo que el solo mencionar la protección al ambiente hacer sonar la alarma y el

---

en cuatro categorías o dimensiones de sustentabilidad: Social, Económica, Ambiental e Institucional, INEGI-2000.

<sup>18</sup> V.L. Urquidí, "El gran desafío del siglo XXI: El desarrollo sustentable, alcances y riesgos para México", en *Boletín Editorial*, No. 84:10-19, (1999) 2000, véase la sección "La preparación para un desarrollo sustentable y equitativo" (publicación de El Colegio de México).

<sup>19</sup> V.L. Urquidí: *Otro siglo perdido. Las políticas de desarrollo en América Latina (1930-2005)*, Fondo de Cultura Económica, México, 2005.

temor de los costos que significarían. Se debe recordar, que de la misma manera que una industria debe buscar constantemente nuevos procesos de manufacturas, materias primas y equipos para incrementar la eficacia y la rentabilidad, debe estar consciente de los reglamentos ambientales, y de los efectos que tiene su producto sobre el ambiente. Además, la economía verde logra mayor producción a menores costos, y menor impacto ambiental. El concepto de economía verde se define como un sistema de actividades económicas relacionadas con la producción, distribución y consumo de bienes y servicios que resulta en mejoras del bienestar humano en el largo plazo, sin, al mismo tiempo, exponer a las generaciones futuras a riesgos ambientales y escasez ecológicas significativas<sup>20</sup>.

### ***Dimensión institucional.***

La dimensión institucional, columna vertebral de la dimensión social y, por ende, de la gestión, incluyendo la participación de la sociedad civil a través de sus diversas organizaciones, es útil para, entre otras cosas, vincular y orientar las respuestas de acción y las medidas de política de las otras tres dimensiones, así como promover la coordinación horizontal y vertical en la formulación e implementación de políticas. Para tales propósitos se sistematiza y privilegia la información siguiente: acción interinstitucional de las autoridades ambientales (federales y locales) tanto ambiental como social, urbano y de ordenamiento ecológico; marco institucional metropolitano para la gestión ambiental; instrumentos económicos de política ambiental; participación social (educación ambiental, percepción de los problemas ambientales, extensión ambiental, comunicación); gestión (inspección, regulación y vigilancia ambientales), cooperación internacional; y finalmente, evaluación de la gestión ambiental<sup>21</sup>. El establecimiento, seguimiento y evaluación de este tipo de instituciones es indispensable en los países en desarrollo.

En los países desarrollados, se constituye la estructura institucional a partir de la legislación ambiental, la cual se generó en una primera etapa el desarrollo y perfeccionamiento de la regulación ambiental, proceso que a su vez indujo un gran desarrollo de las tecnologías de comando y control (*end of pipe*), adecuadas a las características del complejo industrial existente. Si bien esto no atacó la raíz del problema, indujo el desarrollo de una base de conocimiento que influyó en diversas disciplinas científico - técnicas e, inclusive, indujo el surgimiento de áreas nuevas, lo que hace que hoy sea común conseguir cursos y cátedras universitarias en temas como ecología industrial, química ambiental, química verde, bioremediación, biotecnología ambiental, etc.

---

<sup>20</sup> Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, (PNUMA), Elementos de carácter general que pueden ser utilizados por los Ministros y Jefes de Delegación para el Intercambio sobre Economía Verde. (UNEP/LAC-IG.XVII/4). Ciudad de Panamá, 29 y 30 de abril de 2010.

<sup>21</sup> Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 2005. Estadísticas del Medio Ambiente del Distrito Federal y Zona Metropolitana 2002.

# Capítulo

# 1

## Industrialización en México

---

### 1.1 Introducción.

La importancia del sector industrial en el consumo energético de cada país es consecuencia del grado de desarrollo alcanzado por el sector, de las actividades industriales predominantes en el país, así como de las condiciones económicas, sociales y geográficas que definen el consumo de los demás sectores (transporte, residencial, energético, público, comercial y agropecuario). En el presente capítulo, se muestra los hechos históricos en materia económica, política y ambiental que han marcado el crecimiento de la industria nacional y en particular de algunas ramas industriales que han sido favorecidas en su progreso como parte de una política de estado.

### 1.2 Estructura y evolución del sector industrial.

La diversidad del nivel de desarrollo industrial o de los insumos industriales disponibles en cada país implica distintos niveles de desarrollo en las ramas industriales y consecuentemente de la importancia de cada rama dentro del consumo energético del sector industrial. La importancia de ciertas actividades industriales para un país, radica en su participación en el consumo intensivo de energía (preferentemente derivados de petróleo) y/o por la contribución monetaria que éstas tributan para el desarrollo del país. En México, la planta industrial se constituye por cuatro sectores, de acuerdo con el XIII Censo Industrial llevado a cabo por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI): 1. Manufacturero; 2. Extractivo (Minería y Petróleo); 3. Construcción, y 4. Eléctrico.

La industria Mexicana, durante la primera fase de sustitución de importaciones, entre 1940 y 1958, puso énfasis en los bienes de consumo, siendo las actividades industriales como la siderurgia, los productos metálicos y químicos, los alimentos, bebidas y tabaco, los textiles, ropa y calzado las actividades más dinámicas del sector. En la década de los 40s, las importaciones cayeron en función de la producción nacional de bienes industriales y en los 50s se dieron, en particular, con relación a los productos metálicos básicos, el hule, el transporte y los textiles. En la segunda fase de la sustitución de importaciones (1959-1970), se puso énfasis en la producción de bienes de capital, ya que la sustitución de bienes de consumo había alcanzado sus límites debido a problemas de financiamiento externo. Entre 1950 y 1970, las implicaciones ambientales de las actividades industriales eran percibidas o asumidas como efectos meramente locales y en una escala que no ameritaba preocupación mayor y seguía predominando la idea de que los recursos naturales eran inagotables, por lo que no había necesidad de imponer restricciones a su acceso.<sup>22</sup>

El período de mayor dinamismo industrializador y, en general, de la economía mexicana, fue el de los años 60s. El crecimiento industrial fue de un 8.7% anual promedio, mayor al 6.9% alcanzado en los años 40s. La mayor expansión se dio en las ramas de productos metálicos y eléctricos, vehículos y sus accesorios, química, refinación de metales y materiales no metálicos. La reestructuración productiva de finales del período sustitutivo de importaciones hizo que cambiara el panorama en cuanto a las ramas más contaminantes y riesgosas. En general, la producción eléctrica, química y la de derivados del petróleo se colocaron como las más dinámicas. A ello se sumó la producción de fibras sintéticas, resinas, fertilizantes, plásticos, pinturas, pigmentos y gases industriales. Algo similar sucedió con el papel, el hule, la metalmecánica, el cemento y la producción de maquinaria<sup>23</sup>.

En la década de los 70s, las características del crecimiento industrial cambiaron, al disminuir el relativo a los bienes tradicionales de consumo a favor de los bienes duraderos, de capital e intermedios. Un aspecto distintivo de esta década fue el gran crecimiento de la industria petrolera y petroquímica básica, con las implicaciones ambientales particulares<sup>24</sup>. En esta fase la industria se hizo más dependiente de las importaciones, lo cual agravó la balanza de pagos; la afluencia de deuda externa permitió financiar el endeudamiento público, que aumentó no tan sólo por las considerables inversiones petroleras e industriales, sino también porque se elevaron los subsidios otorgados a través de precios y tarifas, las tasa de interés y otras vías. La desarticulación económica interna se manifestó por la disminución de la participación de la industria nacional en el abasto del consumo interno, y aunque hubo un retroceso en la sustitución de importaciones no mejoró la capacidad competitiva de las exportaciones. Es en ese entonces cuando ocurren cambios, en un principio más formales que reales, en los aspectos relativos a la desconcentración y al control ambiental. Ejemplo de ello, son la creación de comisiones especiales (como la de la frontera norte), el impulso a los parques industriales fuera de los

---

<sup>22</sup> Wionczek, Miguel S. (Coordinador), 1982. *Energía en México. Ensayos sobre el pasado y el presente*. El Colegio de México. Primera edición.

<sup>23</sup> Instituto Nacional de Ecología. El contexto de la relación Industria y medio ambiente. Véase: <http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/256/1.html>

<sup>24</sup> En 1974, tras el descubrimiento de nuevos yacimientos de petróleo y gas, se inició un gran auge de este sector que comprendió tanto una mayor producción como un gran incremento en la inversión en explotación. Este cambio en la estructura económica tuvo el efecto de postergar muchas de las reformas económicas que ya se consideraban necesarias, entre ellas la apertura comercial, Llerandi J.L., 2003, El Colegio Mexiquense, Programa Interdisciplinario de Estudios del Tercer Sector.

polos tradicionales, los decretos para la descentralización los acuerdos para la creación de macro-proyectos (como fue la siderúrgica de Lázaro Cárdenas- Las Truchas), la creación del régimen explícito de maquiladoras y de comisiones de desarrollo regional, por no citar más que algunos. Al institucionalizarse en 1978 la planeación urbana-regional, se fortaleció el proyecto de desconcentrar la industria y el desarrollo urbano mediante instrumentos fiscales, planes de fomento, esquemas de coordinación y una concepción abierta de incentivar la instalación de industrias en áreas más propicias<sup>25</sup>.

Al iniciarse la década de los 80s, el panorama relativo a la contribución a la contaminación ambiental, cambió con la reestructuración productiva en la industria. Como consecuencia del crecimiento petrolero, la petroquímica básica se convirtió en una de las actividades más contaminantes, junto con otras relacionadas con industria química, como la producción de fibras sintéticas, resinas, fertilizantes, plásticos, pinturas, pigmentos y gases industriales. Todas ellas adquirieron más peso en el valor y el volumen de la producción industrial como ocurrió también con las industrias del papel, hule, metal-mecánica, cemento y la producción de maquinaria. Es así que el cambio estructural en la industria propició una orientación hacia las actividades más riesgosas, pero además, la presencia de empresas públicas entre las de mayor riesgo fue cada vez más importante. El esquema de subsidios a la energía y al autotransporte se agravó más por el margen de acción, consecuencia del auge petrolero y la deuda externa. A partir de esta década, la estructura industrial muestra una vocación exportadora mucho más fuerte, donde se puede distinguir zonas urbanas-industriales que se encuentran en un claro proceso de consolidación (tres en la frontera norte, una zona muy amplia en la región centro-occidente del país y una más en el sureste), aunque las de mayor dinamismo son las fronterizas<sup>26</sup>.

Durante la década de los noventa, la industria maquiladora se convirtió en el sector económico más importante dentro de la industria y el comercio en México, esto debido a la apertura comercial a través del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN). El sector industrial se ha beneficiado de la liberalización del comercio; en el 2000 la industria representó el 90% de todos los ingresos derivados de las exportaciones<sup>27</sup>.

### **1.3 Desarrollo económico y crecimiento industrial.**

A partir de los años cuarenta, México, al igual que otros países de América Latina, fincó su desarrollo económico en la ampliación y diversificación de su industria, a través del proceso de sustitución de importaciones ya iniciado con anterioridad. En una primera fase, conocida como período fácil de sustitución de importaciones, el crecimiento manufacturero industrial se apoyó en las llamadas industrias ligeras, como alimentos, textiles y vestuario, y contó con la participación decidida del Estado.

---

<sup>25</sup> Provencio E. Instituto Nacional de Ecología. Consideraciones y antecedentes para sustentar una estrategia ambiental para la industria en México: Contexto actual y requisitos estratégicos. Véase: <http://www.ine.gob.mx/publicaciones/libros/3/provencio.html>.

<sup>26</sup> Ibidem.

<sup>27</sup> Gereffi G. y Martínez M, 2004. *Mexico's Economic Transformation under NAFTA* en *Mexico's Democracy at Work: Political and Economic Dynamics*, Crandall, Paz and Roett (editores). Lynne Reiner Publishers, United States.

Éste actuó como promotor del proceso ampliando la infraestructura industrial y agrícola, instrumentando medidas proteccionistas que facilitarían el crecimiento de las ramas emergentes<sup>28</sup>.

En 1955, se promulgó la Ley para el Fomento de las industrias nuevas y necesarias, cuyo ordenamiento permitió que se estableciera un importante número de empresas industriales y fundamentalmente medianas y pequeñas, y que un gran número de talleres y artesanías se transformaran en pequeñas empresas. Hacia finales de los cincuenta, el estado se comprometió en la construcción y ampliación de un sector de empresas públicas y semipúblicas orientadas a producir una variada gama de bienes y servicios que apoyaran el resto de las industrias<sup>29</sup>. La década de 1960 se considera como la de mayor auge industrializador de la economía mexicana; en ella tuvo gran dinamismo los artefactos metálicos y eléctricos, los vehículos y sus accesorios, la producción química, la refinación de metales, y los materiales no metálicos. Tanto la inversión pública dirigida a la infraestructura y a la producción (petróleo, electricidad, siderurgia), como las políticas de fomento, se reforzaron considerablemente. Por medio de la protección, se estimuló a la industria con precios favorables respecto a los primarios; congelándose prácticamente los precios de los principales insumos industriales, con los que los subsidios se sumaron a las exenciones y las bajas de tarifas<sup>30</sup>.

A pesar de que para la década de 1970 existían indicios de impacto crecientes en el ambiente provocados por el desarrollo industrial, derivados de la emisión de contaminantes atmosféricos y la generación de desechos, no se consideraron criterios ambientales en ese desarrollo. La política de bajos precios de la energía contribuyó en gran medida al deterioro ambiental, ya que propició su uso intensivo y poco eficiente; lo cual se tradujo en un crecimiento de la demanda energética más acelerado que el del valor y volumen producidos. Aunado a ello, la fijación de precios sin referencia internacional, indujo una estructura de costos en la que la energía no tenía gran relevancia, ya que los precios públicos subsidiaban el consumo, distorsionándose la estructura de los precios. Los factores que influyeron en el crecimiento de los índices de contaminación de origen industrial durante esta década fueron<sup>31</sup>:

- Precios bajos de energía y transporte
- Sistema de protección externa y de subsidios
- Estímulos implícitos a la concentración industrial
- Promoción de autotransporte de carga y pasajeros

---

<sup>28</sup> Durante el sexenio de Ávila Camacho (1940-1946), se crearon las bases para un proceso de industrialización en México, mejor conocido como el “Modelo de Industrialización Sustitutiva” o “Modelo de Sustitución de Importaciones. Miguel Alemán (1946-1952), inició su gobierno con un programa de industrialización y un modelo de desarrollo basado en la sustitución de importaciones ejerciendo, además, un fuerte presidencialismo. El modelo del régimen de Miguel Alemán siguió funcionando con Adolfo Ruiz Cortines (1952-1958) y sobre todo con Adolfo López Mateos (1958-1964) con importantes avances en materia económica.

<sup>29</sup> El Estado instituyó mecanismos de carácter financiero para poder responder a la demanda de créditos de las PyMES, diversificando las ramas industriales. (Véase: Rodríguez, 2001).

<sup>30</sup> Instituto Nacional de Ecología. Desarrollo Industrial y medio ambiente en México. La dinámica industrial en México. Véase: <http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/36/cap3.html>.

<sup>31</sup> Provencio E. Instituto Nacional de Ecología. Consideraciones y antecedentes para sustentar una estrategia ambiental para la industria en México: Contexto actual y requisitos estratégicos. Véase: <http://www.ine.gob.mx/publicaciones/libros/3/provencio.html>.

- Falta de normatividad y vigilancia para el control ambiental

Posteriormente, como resultado del ajuste estructural aplicado a principios de los años 80, la industria fue de los sectores de la economía que recibió mayores impactos; solo experimentaron un auge las empresas que se reorientaron en el corto plazo hacia las exportaciones (esto incluso en los años de la crisis más intensa).

A partir de 1996, el sector industrial del país viene registrando un dinamismo superior al mostrado por la economía en su conjunto y es el sector que aporta la mayor parte de los recursos externos. En particular, el sector manufacturero ha incrementado su impacto en el crecimiento del PIB total, y en 1999 participó con más de una cuarta parte del incremento del producto. De 1995 a 1999 la industria manufacturera alcanzó un crecimiento acumulado de 29.4% en términos reales, mayor al de la producción total y del sector industrial, de 14.4 y 22.3%, respectivamente, en el periodo señalado. La expansión económica se sustentó en la recuperación del mercado interno y en el dinamismo de la actividad exportadora. Las exportaciones totales medidas en dólares, que en 1999 incorporaron 89.5 por ciento de productos manufacturados, 6.7 puntos porcentuales más que en 1994, crecieron 124 por ciento en dicho periodo, en tanto que las de manufacturas lo hicieron en 142.2%<sup>32</sup>.

#### 1.4 Reestructuración Industrial y apertura comercial.

A pesar del espectacular crecimiento que el país alcanzó durante las décadas de los sesenta y setenta, las deficiencias del modelo de sustitución de importaciones empezaron a ser muy evidentes y aunado al inadecuado manejo de la política económica de 1979 a 1982<sup>33</sup>, hizo que México iniciará gestiones económicas en vías de la apertura al comercio internacional para cumplir con las metas de estabilidad y crecimiento. La escasez de divisas provocada por el servicio de la deuda externa, el acceso limitado al financiamiento internacional, el déficit sustancial de algunos productos agropecuarios y la incertidumbre con respecto al futuro comportamiento de los precios internacionales del petróleo hacen aconsejable la apertura comercial de la economía, ya que las autoridades gubernamentales no contaban con recursos (especialmente divisas) para financiar el desarrollo industrial del país y al mismo tiempo financiar las crecientes y diversas demandas sociales de la población mexicana<sup>34</sup>.

La literatura muestra que la relación entre la apertura y crecimiento es un problema empírico en el cual, un eslabón fundamental es la respuesta de la productividad. Estudios para México, referentes a la primera etapa de la apertura comercial iniciada a mediados de la década de los ochenta (Kessel y Samaniego, 1992; Kim, 1997) y en comparación entre países (Sachs y Warner, 1995; Edwards, 1998), encuentran evidencia de un efecto positivo de la apertura sobre la productividad<sup>35</sup>.

---

<sup>32</sup> Instituto Nacional de Ecología. El contexto de la relación Industria y medio ambiente. Véase: <http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/256/1.html>

<sup>33</sup> En los últimos años de la administración de José López Portillo (1976-1982), una fuga masiva de capitales producto del mal manejo de la economía pulverizó las reservas internacionales del país y el gobierno se vio forzado a declararse en moratoria de pagos.

<sup>34</sup> Véase: CEPAL-1990, Elementos para el Diseño de Políticas Industriales y Tecnológicas en América Latina.

<sup>35</sup> En *Modelos de la industrialización en México*, De la Garza Toledo, 1998; se realiza una investigación de las características y bases socio-técnicas de los procesos productivos en la industria.



A partir de 1982, los instrumentos del cambio estructural fueron las modernas teorías neoliberales (Teoría monetarista) representadas por las recomendaciones del Fondo Monetario Internacional (FMI) y el Banco Mundial (BM), además el gran desarrollo tecnológico, especialmente en el terreno de las telecomunicaciones que hacía posible la formación de grandes bloques económicos integrados por países geográficamente distantes, impulsando la globalización de la economía. Tras este ajuste, las políticas que más incidieron en la industria, fueron las de apertura comercial, las de modificación de precios y tarifas del sector público, las de cambio de los criterios financieros y la nueva estrategia de intervención directa del Estado en la economía. Estas condiciones finalmente lograron poner fin al proteccionismo incorporando a nuestro país al organismo de comercio mundial a finales de 1985.

Junto con ello, se fue dando de manera progresiva el dismantelamiento del esquema de protección externa y, desde 1985 hasta finales de 1987, se avanzó hacia un desprotección prácticamente generalizada; lo cual afectó a ramas como la textil, entre otras. Formaron parte de la estrategia económica, la eliminación de las distorsiones introducidas por los aranceles, los permisos previos y otros instrumentos con la liberación, el ingreso al Acuerdo General de Aranceles y Comercio, la suscripción de acuerdos marco y la suscripción del TLC y los acuerdos comerciales especiales con países de América del Sur.

Aun con los cambios propuestos, la industria sufrió el impacto de la crisis, lo cual se hizo evidente, pues el grado de industrialización hacia 1988 fue inferior al de 1980. No es sino hacia 1989 cuando se inicia la recuperación industrial, aunque algunas de las ramas siguieron todavía estancadas o en retroceso. Otras en cambio experimentaron un gran auge aun en los años en que la crisis fue más intensa, como es el caso de las que se reorientaron pronto hacia las exportaciones<sup>36</sup>.

A consecuencia del ajuste económico, se modificaron las políticas que más propiciaban un uso intensivo de energía y de recursos, al ajustarse los precios a niveles internos más reales y más cercanos a los precios internacionales, lo cual contribuye a reducir la ventaja frente a los competidores externos. Por lo anterior, la industria mexicana siguió siendo más intensiva en el consumo de energéticos en comparación con los países industrializados; por ejemplo, mientras que los países miembros de la OCDE, la intensidad energética se redujo 22% entre 1980 y 1990, en México ésta aumentó 7 veces. Este comportamiento creó mayores dificultades para el cumplimiento de los compromisos internacionales relativos a la reducción de las emisiones de bióxido de carbono<sup>37</sup>.

La apertura propició un fuerte aumento tanto de las exportaciones como de las importaciones. Las primeras se diversificaron y México pasó de ser un país dedicado básicamente a la exportación de petróleo crudo a exportar muchos otros bienes, principalmente productos manufacturados. Sin embargo, y a pesar de que el tipo de cambio real estaba subvaluado a mediados de la década de los ochenta, las importaciones comenzaron a crecer más rápidamente que las exportaciones. En el marco del GATT

---

<sup>36</sup> El auge exportador de las manufacturas y el crecimiento acelerado de las maquiladoras, constituyen los cambios más significativos en la década de 1980

<sup>37</sup> Provencio E. Instituto Nacional de Ecología. Consideraciones y antecedentes para sustentar una estrategia ambiental para la industria en México: Contexto actual y requisitos estratégicos. Véase: <http://www.ine.gob.mx/publicaciones/libros/3/provencio.html>.

primero y después de la Organización Mundial de Comercio, OMC<sup>38</sup>, la segunda etapa de la apertura ha consistido en llevar a cabo tratados con distintos países, a veces bilaterales y otras veces multilaterales, para generar zonas de libre comercio.

El contexto nacional e internacional en el que se desenvuelve la industria mexicana, sobretodo, a raíz de la entrada en vigor del TLCAN y del ingreso de México a la Organización de Cooperación y Desarrollo Económico, ocurridos ambos en 1994, hacen necesaria una reflexión sobre las implicaciones que ello trae consigo, tanto desde la perspectiva económica como ambiental. El objetivo central que animó la firma del TLC es la aceleración del desarrollo económico de México, mediante un incremento en las inversiones productivas, tanto de origen nacional como internacional. El TLCAN ha contribuido a la reestructuración del sector industrial y de toda la economía. Este incremento de desarrollo económico puede traer consigo un incremento del deterioro ambiental que es necesario considerar a fin de poder tomar las medidas necesarias para su prevención, mitigación y reducción a nivel aceptable para la sociedad a fin de asegurar un crecimiento continuo sin agotamiento o destrucción irreversibles de los recursos naturales del país<sup>39</sup>. Este tratado convirtió la zona de América del Norte, en la más grande área integrada de mercado del mundo, con más de 360 millones de clientes. Hoy por hoy, México es el tercer socio comercial de Estados Unidos, después de Canadá y Japón.

El ingreso de México a la OCDE<sup>40</sup>, en el curso de 1994, convirtió a nuestro país en el vigésimo quinto país en adherirse a este organismo cuyos objetivos básicos consisten en promover políticas que permitan lograr el crecimiento económico y del empleo, elevando los estándares de la vida en sus países miembros, a la vez que se mantienen una estabilidad financiera y como esto contribuir al desarrollo mundial, con una base multilateral y de acuerdo con las obligaciones internacionales.

Algunos impactos del TLCAN en el sector industrial se pueden identificar en cuatro áreas<sup>41</sup>:

#### *1. Inversión Extranjera Directa (IED)*

- Aumento considerables en el flujo de inversión.
- La IED acumulada entre 1994 y el primer semestre de 2001 asciende a más de 90 mil millones de dólares.
- Fortalece el crecimiento económico y genera nuevos empleos.
- Se descarta la hipótesis de que a mayor fortalecimiento en la regulación ambiental, disminuyen los flujos de inversión.

---

<sup>38</sup> La octava conferencia arancelaria, denominada Ronda Uruguay, se inició El 15 de septiembre de 1986 y se clausuró el 15 de diciembre de 1993 con un acuerdo que incluía la sustitución del GATT por la OMC a partir del 1 de enero de 1995.

<sup>39</sup> De acuerdo a un estudio de la CEPAL, realizado por Schatan (1998), la liberalización ha beneficiado al medio ambiente y la economía se ha especializado en industrias menos contaminantes.

<sup>40</sup> Reporte de la OMC, señala que el sector manufacturero de México representa el catalizador del crecimiento económico, su expansión esta fuertemente asociada a su capacidad para competir en los mercados internacionales. Embajada de México en Uruguay, *México Exporta*, Vol. 1, No. 5, 2002.

<sup>41</sup> Quadri De la Torre G. El Tratado de Libre Comercio de América del Norte: Industria y Medio Ambiente. CESPEDES. Véase: <http://www.ccad.ws/documentos/cyma/a21regional/pre-honduras-tlcan.ppt#256,1,Diapositiva1>.

- El factor ambiental no es una variable decisiva para la IED.
- La industria manufacturera ha sido el sector que más IED ha captado: 62% del total.

## *2. Transferencia de Tecnología*

- Modernización de la planta industrial.
- Mejores equipos de control de la contaminación.
- Implementación de sistemas de calidad y administración ambiental.
- Mayor aprovechamiento de insumos y menores presiones en el ambiente.

## *3. Privatización*

- En los noventa se impulsó un proceso de privatización de las empresas estatales que han presentado importantes avances:
  - Los pasivos ambientales que heredó la industria de fertilizantes en Coatzacoalcos y en Salamanca han sido objeto de remediación.
  - En Monclova y Lázaro Cárdenas la industria siderúrgica ha realizado acciones de manejo de los residuos, remediación de suelos, mitigaciones de emisiones a la atmósfera y descargas residuales.

## *4. Avances en la gestión ambiental.*

- Creación de nuevas instituciones (públicas y privadas).
  - 1992. Procuraduría Federal de Protección al Ambiente.
  - 1994. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (y Pesca).
  - 1999. Entidad Mexicana de Acreditación.
- Incremento en las inversiones ambientales.
- Mayor cumplimiento de la normatividad ambiental (Programa de Inspección y Vigilancia de las Fuentes de Contaminación):
  - Localizada en los sectores más contaminantes y en los grandes centros urbano/industrial.
  - Mayor volumen de residuos enviados a confinamiento.
  - Menor número de clausuras.

Los países con tratados de libre comercio vigentes con México son:

Tratado	Países	Publicación D.O.F.	Entrada en vigor
TLCAN	Estados Unidos y Canadá	20 de diciembre de 1993	1 de enero de 1994
TLC-G3	Colombia y Venezuela ***	9 de enero de 1995	1 de enero de 1995
TLC México - Costa Rica	Costa Rica	10 de enero de 1995	1 de enero de 1995
TLC México - Bolivia	Bolivia	11 de enero de 1995	1 de enero de 1995
TLC México - Nicaragua	Nicaragua	1 de julio de 1998	1 de julio de 1998
TLC México - Chile	Chile	28 de julio de 1999	1 de agosto de 1999
TLCUEM	Unión Europea	26 de junio de 2000	1 de julio de 2000
TLC México - Israel	Israel	28 de junio de 2000	1 de julio de 2000
TLC México - TN	El Salvador, Guatemala y Honduras	14 de marzo de 2001	15 de marzo de 2001 con El Salvador y Guatemala y 1 de junio de 2001 con Honduras.
TLC México - AELC	Islandia, Noruega, Liechtenstein y Suiza	29 de junio de 2001	1 de julio de 2001
TLC México - Uruguay	Uruguay	14 de julio de 2004	15 de julio de 2004
AAE México - Japón	Japón	31 de marzo de 2005	1 de abril de 2005

DOF - Diario Oficial de la Federación

\*\*\*A partir del 19 de noviembre de 2006 en el TLC del G-3 participan sólo México y Colombia.

## 1.5 Medio ambiente, Industria y CO<sub>2</sub>.

En México se viene haciendo un gran esfuerzo para avanzar en un sistema de regulación favorable al medio ambiente. En 1992, se firmó la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC). Además, es el único país en desarrollo con cuatro Comunicaciones Nacionales entregadas y que ha actualizado sucesivamente sus Inventarios Nacionales de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero. El inventario de 2006, indica una emisión de 643.2 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente; que es 1.5% del total mundial.

En 25 de agosto de 2004, se firmó un Convenio entre el World Resources Institute (WRI, Instituto de Recursos Mundiales), World Business Council for Sustainable Development (WBCSD, Consejo Mundial de Empresarios para el Desarrollo Sustentable) y la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP) para el establecimiento de las bases y lineamientos para el diseño e implementación de un Programa Piloto Voluntario para Calcular y Reportar de Emisiones de GEI en México. La Meta de este procedimiento suscrito es establecer las bases y los lineamientos para desarrollar una contabilidad de GEI y un programa de reporte voluntario en México, otorgando asistencia al sector empresarial mexicano en la preparación de sus inventarios, identificación de oportunidades de reducción, y participación en programas y proyectos para reducción de emisiones de GEI.

El 24 de abril de 2005, el Presidente de la República decretó la creación de la Comisión Intersecretarial sobre Cambio Climático, como la entidad nacional responsable de definir las políticas y programas nacionales en materia de cambio climático. Esta comisión está encabezada por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y está integrada por representantes de las secretarías de Energía,

Economía, Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, Comunicaciones y Transportes, Desarrollo Social y Relaciones Exteriores<sup>42</sup>.

El 25 de mayo 2007 el presidente de la República presentó la Estrategia Nacional de Cambio de Cambio Climático. Se creó el Fondo Mexicano de Carbono (FOMECAR), por iniciativa conjunta de la SEMARNAT, el Centro Mario Molina y BANCOMEXT, a fin de apoyar a empresarios y a entidades del sector público para que puedan aprovechar los ingresos adicionales que ofrecen los mercados de carbono en el mundo, particularmente para desarrollar proyectos en el marco del Mecanismo para un Desarrollo Limpio (MDL)<sup>43</sup>.

A raíz de los compromisos adoptados mediante la firma del TLC con America del Norte (y de otros acuerdos, como el protocolo de Montreal para proteger la capa de ozono), las corporaciones más grandes en México están cada vez más conscientes de la necesidad de tomar medidas vigorosas a fin de adelantarse a la intervención directa del gobierno. Con tal finalidad, han creado varias instituciones importantes y han fortalecido otras a fin de presentar una defensa fuerte de sus actividades. El Consejo Coordinador Empresarial (CCE), encabezó su propia ofensiva para adelantarse a las exigencias a favor de mayores actividades regulatorias, mediante la creación del Centro del Sector Privado para el Desarrollo Sustentable (CESPEDES). Este organismo, a su vez, ha alentado la creación de áreas de atención ecológica dentro de las cámaras comerciales e industriales (CONCANACO, CONCAMIN, CANACINTRA), para desviar aún más los esfuerzos oficiales a favor de regular al sector privado.

### ***1.5.1 Micro, Pequeña y Mediana Empresa, (MiPyME).***

En la economía mexicana, los datos estadísticos indican que la parte más importante de las empresas que participan en actividades productivas, tanto del sector industrial, como el de comercio y de servicios, son en su mayoría las denominadas micro, pequeñas y medianas empresas (MiPyMEs), muchas de ellas fundamentales en las cadenas productivas (Anzola, 2002). No obstante, la mayoría afronta el reto de permanecer en el mercado no solo siendo competitivos sino también optimizando costos como los ambientales, mismos que continúan siendo para éstas, un problema, dada la falta de comprensión respecto a modos y formas de gestionarlos. (Corona, 2000, Martínez y Roca, 2003).

A diferencia de muchas de las grandes empresas o conglomerados de empresas nacionales o transnacionales que han incorporado procesos limpios y competitivos de producción, las pequeñas empresas están dotadas de procesos altamente consumidores de energía y generadores de contaminación, y la calidad y precio de sus productos son poco competitivos. En un esquema de desarrollo sustentable, la modernización de este grupo de empresas constituye una prioridad. Ello

---

<sup>42</sup> Instituto Nacional de Ecología. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Cambio Climático en México. Vulnerabilidad y adaptación al cambio climático, preguntas frecuentes. Véase: <http://cambioclimatico.ine.gob.mx/preguntasfrecuentes/vulnerabilidad.html#12>

<sup>43</sup> Estrategia Nacional de Cambio Climático, México, 2007. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Comisión Intersecretarial de Cambio Climático. Dirección de Políticas Ambientales Globales. [www.semarnat.gob.mx/queessemarnat/politica\\_ambiental/cambioclimatico/Pages/estrategia.aspx](http://www.semarnat.gob.mx/queessemarnat/politica_ambiental/cambioclimatico/Pages/estrategia.aspx).

implica no tan sólo modificar sus procesos de producción para elevar la calidad y valor agregado de sus productos, sino convertirlos en procesos limpios para proteger el ambiente<sup>44</sup>.

Por tal motivo, ante la necesidad de solucionar las debilidades organizacionales y la resistencia estructural y cultural de las MiPyMEs ante los procesos de cambio, surge el Programa Gestión Ambiental Rentable, el cual busca elevar la competitividad de las MiPyMEs, mejorar su operación a través de la implementación de un sistema de gestión que ayude a reducir los costos de operación y el impacto ambiental, optimizar el desarrollo organizacional de las empresas e incrementar la seguridad de sus trabajadores y de la comunidad donde se ubican. Los talleres de capacitación GAR<sup>45</sup> ayudan a las MiPyMEs a identificar oportunidades de ganancia mutua, disminuyendo la resistencia al cambio y eliminando la idea de que incluir los aspectos ambientales en los procesos productivos, sólo implica costos adicionales (Irigoyen, 2001). Un claro beneficio económico anima a los empresarios a introducir medidas que conllevan una disminución del impacto ambiental negativo de sus actividades productivas<sup>46</sup>. GAR fue desarrollado por GTZ-P3U (Programa Piloto para la Promoción de la Gestión Ambiental en el Sector Privado en Países en Vías de Desarrollo). En general: el desarrollo de GAR fue financiado por el BMZ (Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo de la República Alemana). GAR ha sido aplicado en 30 países del mundo, por ejemplo en Brasil, México, Chile, Cuba, Ecuador, Bolivia, Perú, El Salvador, Guatemala, Venezuela, Zimbabue, Marruecos, Sudáfrica, Tailandia, Vietnam, China, India, Indonesia, Túnez, Argelia, y en Alemania. En México, se desarrolló el proyecto CANACINTRA-GTZ, Cámara Nacional de la Industria de Transformación (CANACINTRA), Proyecto CAM- GTZ, Comisión Ambiental Metropolitana, Universidad Tecnológica de Nezahualcoyotl (Divulgación y apoyo logístico), Cámara Nacional de Lavanderías, Cámara Nacional de Artes Gráficas, Grupo de Estudio Ambientales (divulgación), Fundación EcoRegión Sinaloa (promoción y divulgación).

---

<sup>44</sup> Las pequeñas y medianas industrias emplean una tecnología de tipo medio (Middle tech), que oscila entre lo tradicional y la sofisticada, este sector se asienta en ramas como la fabricación de aparatos y equipo electrónico básico, productos de hule y plástico, industria textil de papel, de tabaco e industrias químicas principalmente. (Castañeda, 1999).

<sup>45</sup> GAR – Gestión Ambiental Rentable, el objetivo del concepto modular GAR es la promoción de la gestión ambiental en MiPyMEs, de forma que logren una triple ganancia: Eficiencia económica y competitividad; Incremento en el desempeño ambiental; Mejora en la capacidad organizacional.

<sup>46</sup> Ruvalcaba E.R., Pérez S., Pérez A., R., 2005. La Gestión Ambiental Rentable en pequeñas empresas mexicanas. Futuros, Revista Trimestral Latinoamericana y Caribeña de Desarrollo Sustentable. Núm. 9, Vol. 3.

# Capítulo

# 2

## Estudio retrospectivo.

---

### **2.1 Introducción.**

El uso intensivo de energía y el creciente incremento de las emisiones asociadas de CO<sub>2</sub>, ha sido resultado de varios factores, entre los cuales se encuentran el crecimiento de la demanda de satisfactores, aumento de la producción de bienes y de servicios, y el constante incremento de la población. Pero, no sólo estas variables determinan las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas al consumo de energía; el estado de la tecnología, la intensidad energética y las medidas gubernamentales ocupan también un puesto destacable en este proceso. Para profundizar en los factores determinantes de esta presión medioambiental, debido al desarrollo industrial en el caso particular de México, durante el período comprendido de 1965 a 2003, el presente análisis considera las siguientes variables que influyen en el aumento de emisiones de CO<sub>2</sub>: crecimiento económico, intensidad energética, estructura industrial, así como la implicación de las políticas gubernamentales en su evolución. Este capítulo propone dar dos visiones, histórica y actual, del sector industrial Mexicano de forma cualitativa y cuantitativa, mediante la aplicación de metodologías validadas ampliamente a nivel internacional para esta clase de estudios en materia económica, energética, y política.

#### ***2.1.1 ¿Qué son los indicadores energéticos?***

Los indicadores energéticos describen la relación existente entre el uso de la energía y la actividad humana en una forma o estructura desagregada, son esencialmente medidas del consumo de energía y de los factores subyacentes que lo inducen. Este tipo de indicadores puede ser utilizado para calcular

los impactos de los cambios en las intensidades energéticas o cambios en la diversificación de actividades en el uso total de energía.

Los indicadores no pretenden ser una norma; sólo son una herramienta para describir y analizar factores técnicos, económicos, así como energéticos. Por ejemplo, el índice industrial Dow Jones mide los cambios día a día en los precios de ciertas acciones de la bolsa de valores de Nueva York, al igual que sucede con los índices de Tokio y Londres. Así también, al utilizar este tipo de datos, los analistas comúnmente construyen indicadores que relacionan el consumo de energía con algún tipo de unidad de actividad específica (indicadores de intensidad energética), con la finalidad de calcular los cambios en la eficiencia energética. También, se puede observar que al construir este tipo de indicadores a un nivel significativo de desagregación, la falta de registros y datos sobre las actividades humanas y económicas se hace más evidente.

Para entender los factores que afectan el uso de la energía, varias clases de indicadores energéticos han sido desarrollados, cada uno resalta una dimensión o tópico diferente relacionado al consumo de energía<sup>47, 48</sup>.

- *Valores instantáneos*, proporcionan información de la participación del uso de combustibles (u otra variable de tipo energético o económico) en un año. La serie de tiempo despliega estos valores en ciertos períodos temporales a través del tiempo haciendo posible su análisis a simple vista.
- *Indicadores agregados*, muestran la energía total consumida por tipo de combustible, sector principal o por unidad de valor agregado (PIB), mientras que los *indicadores desagregados* proporcionan detalles sobre los usos finales, subsectores o constituyentes individuales del PIB. El nivel de desagregación es usualmente determinado por la necesidad de información detallada y la disponibilidad de datos. Técnicas de descomposición y de números índices son usados para reevaluar información detallada en formas relevantes.
- *Indicadores extensivos*, como la energía total o emisiones totales que pueden ser contrastadas con cantidades intensivas normalizadas a el PIB, población u otros términos de actividad.
- *Indicadores estructurales*, facilitan la medida de actividad (PIB, PIB de cada industria o actividad en cada modo de transporte), miden la distribución de la actividad económica y humana en un sin número de diferentes formas o tipos de producción, usualmente presentada como unidades intensivas tales como porcentajes de participación o valores per cápita.

---

<sup>47</sup> Véase: Indicators of energy use and carbon emissions: Explaining the Energy Economy Link, Lee Schipper, Fridtjof Unander, Scott Murtishaw, y Mike Ting. Annual Review of Energy Environment, 2001, 26: 49–81.

<sup>48</sup> De acuerdo a IEA-2006, existen dos tipos de indicadores que son: 1. Los indicadores que siguen a las actividades que manejan el uso de la energía, por ejemplo, la cantidad de producción industrial, las toneladas/kilómetro recorridas o el número de aparatos eléctricos por persona y 2. Los indicadores que siguen los desarrollos en la intensidad energética, por ejemplo, energía/pasajero-km o energía/valor agregado en una rama industrial.



- *Indicadores de intensidad*, como por ejemplo Gigajoules (GJ) por tonelada de acero producido, total de combustible por kilómetro conducido. Estos son los indicadores más cercanos y relacionados con la eficiencia energética.
- *Indicadores causales*, exploran como las fuerzas impulsoras tales como precios de la energía o ingresos personales, los cuales se relacionan al uso per capita de combustible para automóviles o áreas habitacionales, respectivamente.
- *Indicadores de consecuencia*, relacionan emisiones de CO<sub>2</sub> u otros contaminantes con actividades, tales como emisiones por kilómetro del uso de automóvil o emisiones por tonelada de acero producido.
- *Indicadores físicos*, relacionan eficiencias de equipo nuevo o sustituto tal como cantidad de energía ahorrada por material producido, muestra como las eficiencias o intensidades cambian y se acumulan.

El presente estudio, realiza el análisis de la demanda de energía de uso final y sus respectivas emisiones de Bióxido de Carbono del SIM, haciendo uso de los indicadores del tipo agregado, desagregado, extensivos, estructurales, intensidad y de consecuencia.

### 2.1.2 Indicadores de eficiencia energética en la industria.

Los indicadores no son simples datos, éstos se derivan de otros datos básicos sobre estructura económica y actividades humanas, armonizada con las medidas o estimados en el uso de energía involucrada en estas actividades. Por ejemplo, utilizando coeficientes estándares, las cantidades de emisiones de carbón se derivan de las cantidades de uso final de energía. Los indicadores poseen una jerarquía de acuerdo a la *pirámide de los indicadores energéticos* mostrada en la figura 2.1<sup>49</sup>.



Figura 2.1.  
Pirámide de los indicadores energéticos. Fuente: IEA-2006

<sup>49</sup> Trabajo llevado a cabo por la Universidad de Utrecht para ilustrar la progresión de diversas eficiencias energéticas en el fondo de la pirámide, a través del proceso de agregación, pasando por múltiples intensidades energéticas de las actividades económicas en la parte media de la pirámide.

La comprensión de las eficiencias físicas en los procesos individuales del uso energético es importante, debido a que su conocimiento puede ser utilizado en la implementación de estrategias de mejora en los procesos de producción energética. Si los datos técnicos para cada proceso, fueran disponibles, así como específicos en su aplicación directa, las eficiencias de los procesos de la industria en la parte más baja de la pirámide podrían ser descritas en términos físicos y transformados en indicadores energéticos clave de uso final de energía. Las medidas de actividad, estructura e intensidad energética necesarias para la construcción de indicadores energéticos (Intensidad) en el sector manufacturero en diversas industrias se muestran en la tabla 2.1.

Sector	Sub-sector (i)	Actividad (A)	Estructura (S <sub>i</sub> )	Intensidad (I <sub>i</sub> = E <sub>j</sub> / A <sub>i</sub> )
<b>Manufactura</b>	Celulosa y Papel	Valor agregado	% valor agregado total	Energía / Valor agregado
	Química			
	No-Metálico			
	Minerales			
	Siderurgia			
	No-Férrico			
	Metálico			
	Alimentos y Bebidas			
Otras Manufacturas				
<b>Otras Industrias</b>	Agricultura y Pesca	Valor agregado	% valor agregado total	Energía / Valor agregado
	Minería			
	Construcción			

Tabla 2.1.

Medidas de actividad, estructura e intensidad energética en la industria. Fuente: IEA-2006.

### 2.1.3 Importancia de los indicadores energéticos en la planeación y desarrollo estratégico.

Los indicadores de eficiencia energética se construyen con el objeto de dar seguimiento a los cambios en el uso de los recursos energéticos en diversas áreas de la economía de un país, y en forma más desagregada, por actividad económica. Dos tipos de índices se emplean para describir este tipo de proceso: índices económicos e índices tecno-económicos. Los índices económicos se utilizan cuando la eficiencia energética se evalúa a niveles agregados, por ejemplo al nivel del país o de un sector de la economía, en razón de que en este caso no es posible caracterizar la actividad con índices técnicos o físicos. La intensidad energética (IE) es conocida internacionalmente como uno de estos índices económicos, y se define como la relación entre el consumo de energía (Cal, Joule, tpe, etc.), y la actividad económica medida por el producto interno bruto (también llamado valor agregado) del sector de actividad económica. Los índices tecno-económicos se utilizan cuando los análisis se realizan a niveles suficientemente desagregados (por subramas o usos finales) y relacionan la energía consumida con indicadores de la actividad expresados en unidades físicas (toneladas de acero, pasajeros-kilómetros, m<sup>2</sup> de viviendas, etc.).

*Producto Interno Bruto, PIB, [\$, USD]*. Es usado como medida de bienestar material de una sociedad. Por tal motivo, es empleado como un indicador de que las políticas económicas aplicadas son positivas. Sin embargo, este concepto es cada vez menos aceptado ya que no refleja fehacientemente la situación

interna de un país ante las externalidades económicas, públicas, naturales, etc.<sup>50</sup>. Otros indicadores se usan con mayor frecuencia; por ejemplo, el Índice de Bienestar Económico Sostenible (IBES) contabiliza el gasto de consumidores, utilidad del trabajo doméstico, y descuenta el coste de externalidades asociadas a la polución y el consumo de recursos naturales y energéticos (Cobb, 1989).

*Uso de energía por unidad económica, [J, PJ] / [USD]*. Indica la relación entre el consumo de energía y el desarrollo económico, proporciona bases fuertes para la proyección del consumo de energía y el desarrollo económico. Es sugerido, que este indicador sea utilizado en estudios de desarrollo de políticas energéticas, empleando intensidades energéticas a nivel sectorial y subsectorial. Este indicador, desde el punto de vista de sustentabilidad, es de importancia en función de que revela la relación existente entre la energía y el crecimiento económico, además indica la evolución e influencia de la eficiencia energética, y en particular del consumo de energía fósil, en el incremento o disminución de las emisiones contaminantes al medio ambiente.

*Intensidad del uso de energía en Manufactura, [J, PJ] / [USD]*. Es una medida de eficiencia del uso de energía, puede ser empleado en el análisis de tendencias y realización de comparaciones internacionales en eficiencia energética, particularmente cuando el indicador puede ser desagregado en actividades manufactureras específicas. La relevancia para el desarrollo sustentable radica en la posibilidad de proveer recomendaciones en cuanto a la reducción en el consumo de combustibles fósiles, emisiones de GEI, y otros gases contaminantes para mejorar la eficiencia energética. El indicador agregado del sector manufactura refleja la intensidad energética de varias ramas manufactureras y la composición total del sector, por lo que, cambios observados en el indicador de forma agregada pueden ser debidos a cambios en la intensidad energética sucedidos en las ramas particulares. Igualmente, diferencias observadas entre países pueden ser debidas a las diferencias en la eficiencia energética o a la estructura del sector manufacturero. Un país conformado principalmente por industrias de uso intensivo de energía, tales como celulosa y papel, industrias metálicas o fertilizantes, tendrá una alta intensidad energética aún si las industrias son altamente eficientes en el uso de la energía.

#### **2.1.4 Relación crecimiento energético, económico y emisiones de CO<sub>2</sub>.**

Tradicionalmente el consumo de energía se ha asociado al crecimiento económico y por tanto a las emisiones de gases nocivos a la atmósfera como resultado de la realización de diversas actividades económicas y el uso de combustibles a base de carbón. En este sentido, el crecimiento económico, asociado a la eficiencia energética, es uno de los factores fundamentales para explicar la demanda de energía.

A partir de los primeros años de la década de los noventa, la preocupación por la eficiencia energética alcanzó una alianza natural con las iniciativas para afrontar y resolver los problemas medioambientales relacionados con actividades energéticas, particularmente la reducción de CO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>. Esta creciente preocupación por el medio ambiente, la modernización técnica, los cambios en la estructura productiva, particularmente del sector industrial y un cierto desplazamiento de producción de algunas industrias

---

<sup>50</sup> Reppeto et al., 1989; Hannon, 1991; Castañeda B., 1999; Fuentes y rojas, 2001; Mizrach, 2005 entre otros.

intensivas desde los países desarrollados a los menos desarrollados han contribuido a mantener, para el conjunto de países de la OCDE, un crecimiento de las necesidades de energía inferior al incremento del PIB. Por lo anterior, el desacoplamiento<sup>51</sup> entre el crecimiento económico y la demanda energética, producido en gran medida por la introducción de políticas de eficiencia energética y a la vez motivadas por la escasez de recursos, así como una concientización hacia el cuidado del medio ambiente, ha generado la idea de la existencia de un vínculo entre el crecimiento económico sostenible de una nación, y la aplicación de políticas de eficiencia energética. La observancia de este vínculo, el uso eficiente de la energía, y un apropiado marco político regulatorio se presentan como factores primordiales hacia el desarrollo sostenible de un país. La evolución de los índices de cambio en el SIM: crecimiento económico (PIB industrial), consumo de energía de uso final, y emisiones de bióxido de carbono se muestran en la figura 2.2.

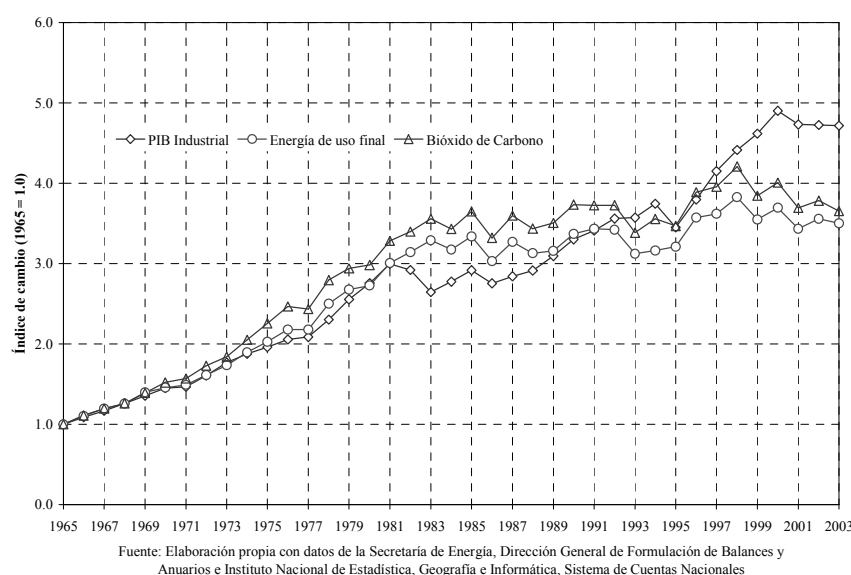


Figura 2.2.  
Índices de cambio del sector industrial Mexicano de 1965 a 2003.

### 2.1.5 Emisiones internacionales de CO<sub>2</sub>.

La Agencia Internacional de Energía (AIE) en su informe anual de 2008 sobre los datos energéticos del mundo, en su apartado de emisiones de CO<sub>2</sub>, indica que los combustibles fósiles muestran un crecimiento continuo, donde se destaca la participación de los Estados Unidos de América (EEUU) y China como los principales emisores. Los veinte países más importantes en cuanto a sus emisiones totales de bióxido de carbono se muestran en la figura 2.3.

La figura 2.3, muestra la contribución del primer emisor del mundo de CO<sub>2</sub>, EEUU, en 5800 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> en 2004, 3% más que en 2002. Europa (considerando la Unión Europea de los 15)

<sup>51</sup> El término desacoplamiento se refiere al “rompimiento” de la relación existente entre el desarrollo económico y el consumo de energía para la producción de bienes y servicios.

aumentó 2.8% en ese período, constituyéndose como el tercer emisor del mundo en CO<sub>2</sub>; 3296 millones de toneladas en 2004. China, segundo emisor mundial de CO<sub>2</sub> emitió 4987 millones de toneladas en 2004, presentando un aumento de 42% respecto del año 2002, lo que significó, un aumento equivalente a la emisión de Rusia en el mismo período. Indudablemente China es considerada la *fábrica del mundo*, y debe propiciar políticas medioambientales para disminuir el ritmo acelerado de emisiones. El crecimiento a nivel mundial ha sido de un 10.3% entre 2002 y 2004.

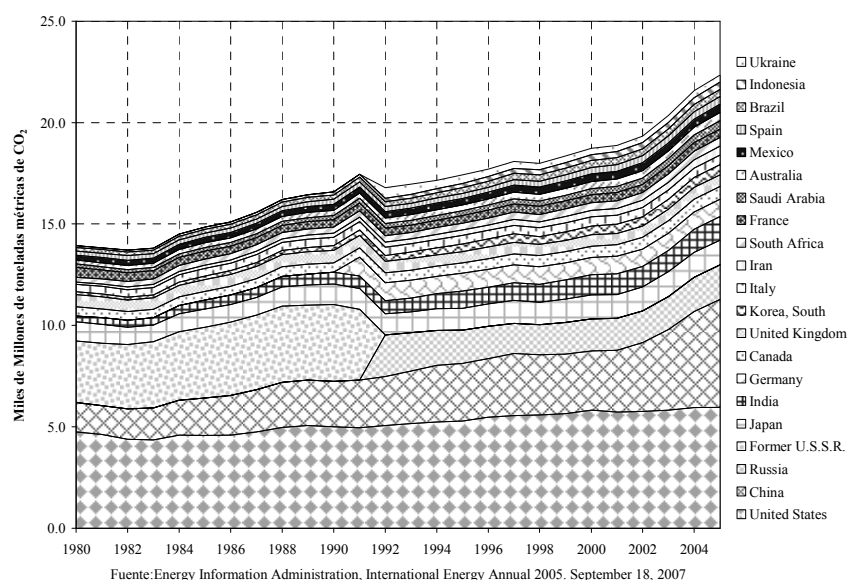


Figura 2.3.  
Principales países emisores de CO<sub>2</sub> a nivel mundial (1980-2005).

En 2004, señala el informe de la IEA-2006, que en el mundo se emitieron 26,583 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>, de los cuales, EEUU contribuyó con el 21.8%, seguida de China con el 18.8%, y la UE-15 con el 12.4% (entre los cuales destacan Alemania con 848 millones de toneladas, Reino Unido con 537, e Italia con 462 como los mayores emisores de Europa). España, en 2006, contribuyó con 330 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>. Otros países destacables son Rusia con 1529 millones de Toneladas, ó el 8.7% mundial, Japón con el 4.6% mundial, Rusia con el 4.1% mundial, e India con el 4.1% mundial. Además, las emisiones directas provenientes de la industria y del sector energía se incrementaron cerca del 10% entre 1990 y 2000. Esto refleja un incremento en las emisiones indirectas vía el sector energía y de las emisiones de los procesos industriales. Al mismo tiempo, las emisiones directas de CO<sub>2</sub> provenientes del sector manufactura y construcción en general permanecieron constantes, así como el crecimiento de las emisiones de los países desarrollados fueron contrarrestados por una reducción en las emisiones de los países de la OCDE-2006<sup>52</sup>.

<sup>52</sup> Emissions from the Industry Sector. Ver: [http://www.hm-treasury.gov.uk/media/E/2/7d\\_industry\\_annex\\_p1.pdf](http://www.hm-treasury.gov.uk/media/E/2/7d_industry_annex_p1.pdf).

De acuerdo al informe Stern<sup>53</sup>, la industria es directamente responsable del 14% de las emisiones de GEI, o el 20% si se consideran las emisiones provenientes del Sector Energía. Las emisiones de GEI se deben principalmente al incremento de:

- Combustión directa de combustibles fósiles en los sectores de Manufactura y Construcción (4.3 Gt CO<sub>2</sub> in 2000)<sup>54</sup>.
- Emisiones directas de CO<sub>2</sub> y no-CO<sub>2</sub> provenientes de los procesos químico, involucrados en la producción de varios químicos y metales (1.3 Gt CO<sub>2</sub> en 2000).
- Emisiones indirectas del sector energía. La industria consume cerca de una tercera parte de la electricidad y el calor producido por el Sector Energía (WRI, 2005) fue indirectamente responsable de 3 – 3.5 Gt CO<sub>2</sub> in 2000<sup>55</sup>.
- Emisiones indirectas del sector transporte utilizado para el movimiento de bienes manufacturados, 75% del comercio global.

### **2.1.6 Emisiones nacionales de CO<sub>2</sub>.**

México es el principal emisor de CO<sub>2</sub> en Latinoamérica, en el 2003 emitió 435.1 millones de toneladas situándolo por arriba de países como Brasil, Venezuela y Argentina. A nivel mundial ocupa el lugar número doce representando el 0.5% de las emisiones totales. El Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (INEGEI- 2006) para el período 1990-2002, señala que las emisiones de bióxido de carbono para México fueron de 643,183 Gg en el 2002, (cifras preliminares contabilizando el uso de suelo, cambio de uso de suelo y silvicultura, USCUS). En términos generales, el principal gas emitido por la categoría de procesos industriales es el CO<sub>2</sub>, en el 2002 representó el 90% de las emisiones de la categoría con 47,069 Gg. Las emisiones de CO<sub>2</sub> aumentaron un 51% con respecto al año base 1990 debido a la mayor producción de cemento, a una mayor utilización de la piedra caliza y la dolomita, y a un incremento en la producción de materias primas, de productos y derivados siderúrgicos en el país. La composición porcentual de las emisiones de CO<sub>2</sub> derivadas de los procesos industriales para los años de 1990 y 2002, se muestra en la figura 2.4<sup>56</sup>.

---

<sup>53</sup> Stern Review on the Economics of Climate Change. Véase: [http://www.hm-treasury.gov.uk/independent\\_reviews/stern\\_review\\_economics\\_climate\\_change/sternreview\\_index.cfm](http://www.hm-treasury.gov.uk/independent_reviews/stern_review_economics_climate_change/sternreview_index.cfm).

<sup>54</sup> De la emisiones directas de CO<sub>2</sub> de los sectores de Manufactura y Construcción, cerca de dos terceras partes fueron emitidas por tres ramas: Siderurgia, Minerales no metálicos y Química, y Petroquímica.

<sup>55</sup> Ibid.

<sup>56</sup> Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero, 1990-2002. Instituto Nacional de Ecología, [www.ine.gob.mx/publicaciones](http://www.ine.gob.mx/publicaciones).

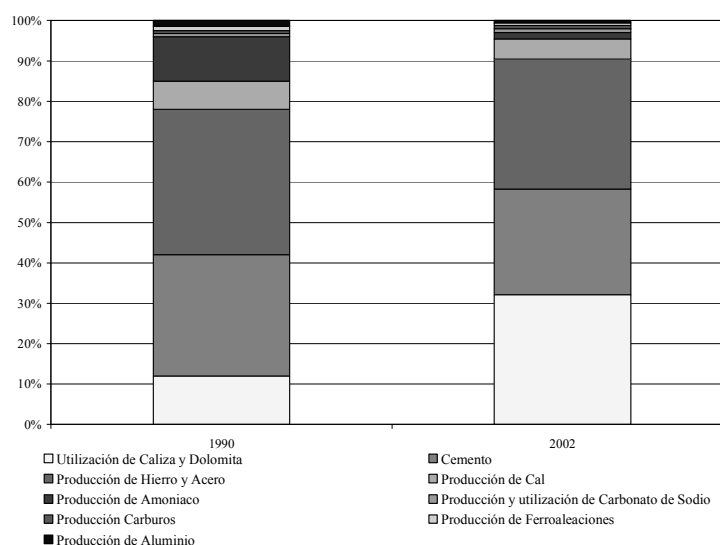


Figura 2.4.

Contribución de emisiones de CO<sub>2</sub> por categoría de procesos industriales en 1990 y 2002. Fuente: INEGEI-2006.

## 2.2 Tendencias en los indicadores energéticos seleccionados en la industria Mexicana.

Durante el último siglo, la cantidad de bióxido de carbono en nuestra atmósfera ha aumentado debido en gran parte al uso de combustibles fósiles a causa del incremento de las actividades humanas, y también como resultado de otros factores como el aumento de la población, el aumento del consumo, y el cambio en el uso de los suelos. El uso de combustibles fósiles y tecnologías industriales atrasadas, el cambio de uso del suelo, y la destrucción de millones de hectáreas forestales están provocando una acentuación en la concentración de los gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera. De acuerdo con estimaciones de la comunidad científica, se requiere un esfuerzo global para reducir las emisiones, ya que de lo contrario, en el año 2100 las concentraciones de CO<sub>2</sub> en la atmósfera podrían generar una variación de la temperatura de entre 1.1 y 6.4°C<sup>57</sup>. Si comenzamos a manejar las emisiones de Bióxido de Carbono ahora, es posible que podamos limitar los efectos del cambio climático, a niveles que podamos adaptarnos.

### 2.2.1 Análisis cualitativo.

#### 2.2.1.1 Producto interno bruto.

La importancia del SIM en la economía de nuestro país es indudable, la industria participa con una derrama económica del 26% (valor promedio) al producto interno bruto nacional, en 2003 aportó 131.2 MMUSD 1993, situándolo como el principal motor del crecimiento económico nacional a una tasa

<sup>57</sup> Eje 4: Sustentabilidad ambiental. Plan Nacional de Desarrollo.

media de crecimiento anual de 4.2% (tmca) durante el período comprendido de 1965 a 2003<sup>58</sup>. La evolución histórica del PIB industrial, así como la participación de los otros grandes sectores de la actividad económica de México durante el período 1965–2003 se muestra en la figura 2.5.

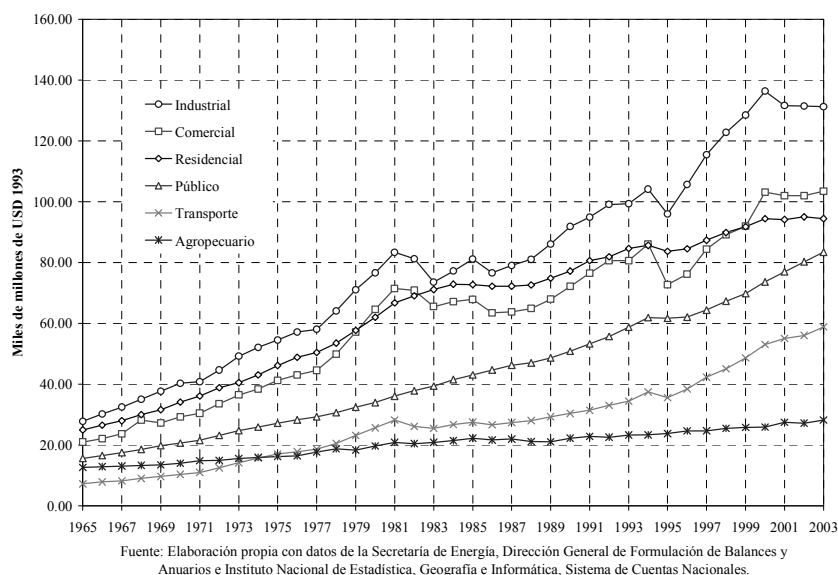


Figura 2.5.  
Producto Interno Bruto por grandes sectores económicos de México, 1965-2003

De la figura 2.5 se pueden ilustrar algunas situaciones socio-económicas que impactaron el desarrollo histórico del SIM, y su crecimiento a lo largo del período de 1965 a 2003; se mencionan las siguientes:

De 1965 a 1981, la política económica del gobierno se caracterizó por 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 lapso de tiempo, la tasa media de crecimiento anual del PIB industrial fue de 7.1%, lo que representó un incremento del 200% en su aportación a la economía nacional.

De 1981 a 1985, en los primeros dos años se produjo una caída en los precios del petróleo, una gran inflación y la sobrevaluación del peso, lo que ocasionó una devaluación del tipo de cambio. El PIB industrial decreció a razón de 5.6% tmca en este período. El déficit económico debido a ajustes en la economía nacional al inicio de la década de los ochenta se extendió hasta 1985. Sin embargo, cuando se creía que la crisis se había superado, una inesperada caída de los precios del petróleo, aunado al terremoto de septiembre de 1985, motivaron un ajuste al tipo de cambio, causando un aumento en la inflación nacional, y una nueva contracción de la economía.

De 1986 a 1994, el PIB industrial creció a razón de 3.9% tmca. La recuperación de los precios del petróleo, pactos entre el gobierno y los principales sectores económicos del país, y la apertura

<sup>58</sup> En México, el 62% del PIB industrial es generado por grandes empresas, mientras que el 38% es producido por micros, pequeñas y medianas unidades productivas, CONIECO-2001.



comercial en 1986 son algunos de los factores que motivaron la recuperación de la economía. Debido a la apertura comercial, varias empresas emprendieron programas integrales de modernización, y transformación industrial; el cambio más notorio fue observado en el área energética. México pasó de una economía cerrada, donde se requerían permisos de importación para la mayoría de los productos, a una totalmente abierta, donde la única barrera comercial eran los aranceles. En 1994 entra en vigor el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), que a su vez coincide con una devaluación del tipo de cambio en diciembre de 1994, la cual produjo un decrecimiento del PIB industrial en 7.8% en 1995.

De 1995 a 2000, el crecimiento del PIB industrial fue de 7.3% tmca. 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 PIB nacional (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 los 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 PIB industrial para el 2001 fue de 3.5%. En 2002, la contracción en la industria manufacturera se explicó por una 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 PIB industrial en 0.09% (Boletín IIEC-UNAM, 2003). Para 2003, el PIB industrial disminuyó en 0.17%.

#### ***2.2.1.1.1 Crecimiento económico por rama de actividad industrial.***

El análisis del comportamiento del sector industrial Mexicano a nivel de grandes sectores económicos, recurrió a la identificación de tres etapas que sobresalen de acuerdo a los hechos descritos en la sección anterior. Las etapas son: 1965-1982, 1982-1994, y 1994-2003<sup>59</sup>. Las ramas industriales de interés dentro del SIM, consideradas al 2003 son: azúcar, petroquímica, química, cemento, siderurgia, aguas envasadas, aluminio, automotriz, celulosa y papel, cerveza y malta, construcción, fertilizantes, hule, minería, tabaco, vidrio, y 'otras' industrias. La rama industrial denominada 'otras' industrias se compone de 41 ramas de actividad económica industrial con el objetivo de complementar el análisis al 100% del sector industrial Mexicano.

De 1965 a 1982, las ramas industriales más activas de acuerdo a su aporte al PIB industrial fueron las industrias de petroquímica, fertilizantes, automotriz, química y cemento, las cuales mostraron considerables incrementos anuales. Las industrias del azúcar y tabaco mostraron bajos crecimientos anuales. De 1982 a 1994, las industrias de petroquímica, automotriz y cemento mantuvieron su status dentro de las actividades industriales de mayor contribución, mientras que ramas como el tabaco y fertilizantes mostraron bajos crecimientos anuales para esta etapa. De 1994 a 2003, las ramas industriales más destacadas fueron automotriz, cerveza y malta, y siderurgia; presentándose una fuerte

---

<sup>59</sup> La contribución de las ramas industriales analizadas en la participación total monetaria del sector, reflejan movimientos similares en los mismos períodos de tiempo que anteriormente se identificaron para el SIM.

contracción en las industrias de petroquímica y fertilizantes. La evolución histórica de las aportaciones al PIB industrial por rama de actividad industrial del SIM se muestra en la figura 2.6 y tabla 2.2.

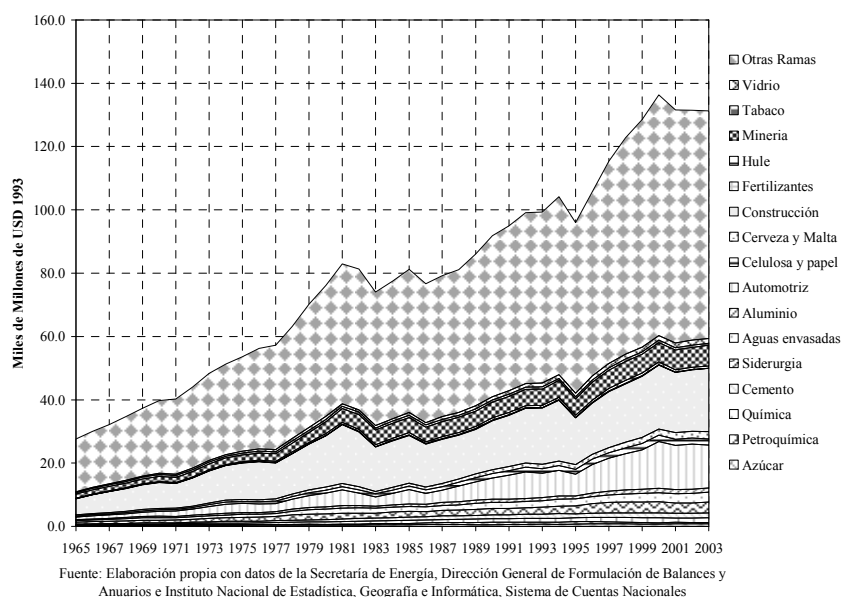


Figura 2.6.  
Producto interno bruto por rama de actividad económica industrial de México, 1965-2003.

Actividad económica industrial	PIB MMUSD1993	Aportación PIB en el 2003, %	tmca 1965-2003	tmca 1965-1982	tmca 1982-1994	tmca 1994-2003
Construcción	20.02	15.28	3.63	7.35	0.91	0.46
Automotriz	13.53	10.32	7.75	9.97	6.06	5.90
Minería	6.47	4.94	4.37	8.02	1.02	2.16
Siderurgia	3.47	2.65	4.73	6.32	2.66	4.53
Aguas envasadas	3.07	2.34	4.93	7.29	2.74	3.49
Cerveza y Malta	2.24	1.71	5.25	6.88	3.28	4.85
Celulosa y Papel	1.98	1.51	4.95	7.11	3.29	3.15
Cemento	1.54	1.18	5.52	9.38	4.01	0.51
Vidrio	1.49	1.14	5.07	7.29	3.65	2.84
Química	1.47	1.12	5.68	9.43	3.17	2.18
Aluminio	1.30	0.99	3.65	4.63	2.53	3.32
Azúcar	0.813	0.62	2.47	1.73	3.07	3.06
Hule	0.729	0.56	4.24	8.48	1.00	0.82
Tabaco	0.664	0.51	0.90	2.77	-0.70	-0.45
Petroquímica	0.417	0.32	7.99	16.90	7.05	-5.93
Fertilizantes	0.060	0.05	1.77	10.79	-1.08	-9.98
Total 16 ramas	59.31	46.36	4.56	7.42	2.22	2.41
Otras ramas	71.82	53.64	3.91	5.90	1.98	2.77
Sector industrial Mexicano	131.20	100.00	4.18	6.54	2.09	2.61

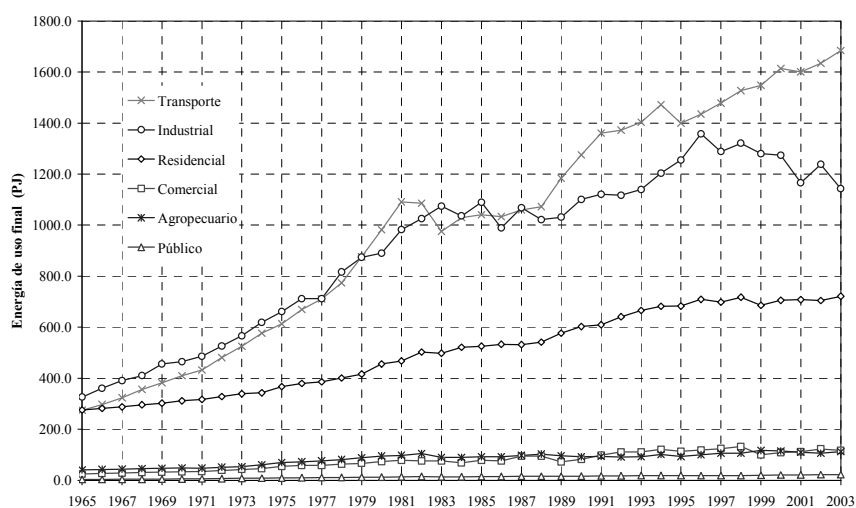
Fuente: Elaboración propia con datos de la Secretaría de Energía, Dirección General de Formulación de Balances y Anuarios y del Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática, Sistema de Cuentas Nacionales de México

Tabla 2.2.  
Producto interno bruto por rama de actividad económica de México, 1965-2003.

### 2.2.1.2 Energía de uso final.

El SIM es uno de los sectores de mayor uso intensivo de energía final. En 2003, representó el 30% del consumo nacional sólo por debajo del sector transporte (44%). El SIM manifestó un crecimiento a razón de 3.4% en el período 1965-2003. La evolución de la demanda de energía final en los grandes sectores de actividad económica nacional para el período de 1965 a 2003 se muestra en la figura 2.7.

En la figura 2.7, se aprecia que el consumo de energía final del sector industrial Mexicano sostuvo un crecimiento con cierta celeridad durante el período 1965-1983 a 6.8% tmca, el consumo de energía final paso de 326.3 PJ a 1074.6 PJ en tal período. De 1984 a 1993, el consumo de energía mostró un período de inconsistencia y variabilidad debido a ajustes de la economía mexicana, explicadas en parte por las devaluaciones del tipo de cambio, crisis económica, inestabilidad en los precios del petróleo, y el inesperado fenómeno natural del sismo en la ciudad de México en 1985; en este lapso, la demanda de energía final no sufrió cambios de consideración, -0.52% tmca. De 1993 a 1998, se observa un crecimiento en el consumo de energía, el cual coincide con la entrada en vigor del Tratado de Libre Comercio de América del Norte, y con la devaluación del tipo de cambio registrada a finales de 1994; la demanda de energía final creció a 4.15% tmca. Este crecimiento en el consumo de energía fue probablemente debido a la participación de industrias nacionales de carácter exportador, así como la contribución de industrias transnacionales, las cuales han demostrado contar con mayor capacidad organizacional y recursos, tanto económicos como humanos, para realizar inversión a pesar de la crisis económica. Finalmente, de 1998 a 2003, el consumo de energía final del SIM presenta un decrecimiento paulatino a -1.8% tmca, esto derivado principalmente por la disminución de la producción nacional como consecuencia de la menor demanda de productos para exportación hacia los Estados Unidos de América (principal socio comercial de México), el cual entró en recesión a partir del 2000.



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

Figura 2.7.  
Demanda de energía de uso final en grandes sectores económicos de México, 1965-2003.

### 2.2.1.2.1 Energía de uso final por rama de actividad industrial en México.

En el 2003, el consumo final energético de las dieciséis ramas de importancia para el SIM, constituyeron el 64.4% del total demandado por el sector. En el período de estudio, comprendido de 1965 a 2003, las industrias que presentaron un marcado crecimiento en su demanda de energía final fueron construcción, aguas envasadas, hule, cerveza y malta, y cemento. En el 2003, se destaca la demanda de energía final de las ramas industriales de siderurgia, azúcar, cemento, química y minería. La evolución histórica de la demanda de energía final por rama de actividad económica industrial del SIM se muestra en la figura 2.8, y en la tabla 2.3.

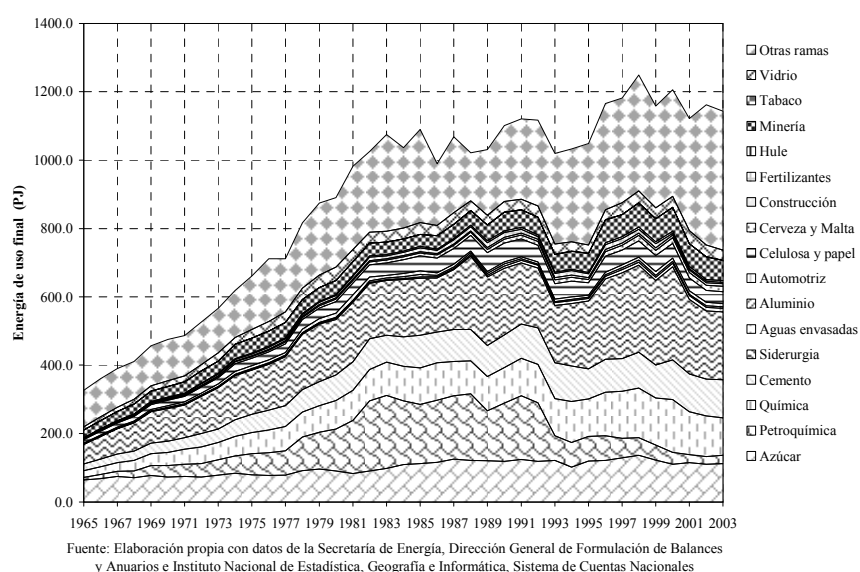


Figura 2.8.

Demanda de energía de uso final por rama de actividad económica industrial, 1965-2003.

En las tres etapas que contempla el presente trabajo, se observa que en la etapa de 1965 a 1982, las ramas industriales de la petroquímica y fertilizantes mostraron elevadas tasas de crecimiento de demanda de energía final, las cuales pueden ser explicadas por el establecimiento de plantas petroquímicas asociadas a la extracción y procesamiento de hidrocarburos para la producción de fertilizantes y otras sustancias de uso industrial para sustentar el crecimiento del campo mexicano, así como las necesidades de la creciente industria manufacturera nacional como parte de una política gubernamental de autosuficiencia (CEFP/002/2005). Además, el fomento gubernamental a la mejora de la infraestructura del SIM promovió el desarrollo de la industria de la construcción y ramas industriales asociadas, situándola como una industria de uso intensivo de energía durante esta etapa.

En la etapa de 1982 a 1994, la rama industrial de aguas envasadas manifestó un considerable aumento en su crecimiento de consumo de energía final. La fabricación y utilización en México de envases a base de PET (Polietileno Tereftalato) en gran escala a partir de mediados de la década de los ochenta

produjo un incremento de la demanda, y consumo de energía final de manera considerable año tras año<sup>60</sup>. También, es notable la participación de la industria petroquímica, en la cual se observa un cambio drástico respecto de la etapa anterior. La contracción de su demanda de energía final, puede explicarse debido al proceso de reestructuración a la que fue sometida partir de 1986, y donde se produjo la apertura de ésta 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, de un retiro paulatino de subsidios gubernamentales.

De 1994 a 2003, la rama industrial del hule, se muestra como una de las industrias con mayor crecimiento en su consumo de energía final como consecuencia de la demanda de artículos fabricados a base de este material, especialmente llantas y productos dirigidos al mercado automotriz, para abastecer a la industria automotriz que, durante esta etapa, también experimentó un incremento en su demanda de energía final. Las industrias de petroquímica y fertilizantes, durante esta etapa muestran los menores crecimientos anuales, los cuales pueden ser explicados por la reducción de su capacidad productiva, y la apertura de capital (nacional y extranjero) de hasta el 100% en empresas petroquímicas no básicas. También la rama de fertilizantes, al estar en relación directa con la industria petroquímica, decreció su demanda de energía final.

Actividad económica industria	Consumo 2003, %	tmca 1965-2003	tmca 1965-1982	tmca 1982-1994	tmca 1994-2003
Siderurgia	17.42	3.37	6.37	0.99	1.01
Azúcar	9.83	1.47	2.05	0.96	1.05
Cemento	9.69	4.72	9.47	1.32	0.62
Química	9.59	4.64	9.58	2.09	-0.89
Minería	5.09	2.57	3.19	2.75	1.18
Celulosa y Papel	3.05	3.24	7.49	2.19	-3.01
Vidrio	2.62	3.11	7.41	-1.27	1.12
Petroquímica	2.12	3.01	21.13	-8.30	-11.42
Cerveza y Malta	1.43	4.80	6.16	3.69	3.74
Aguas envasadas	0.92	5.92	6.48	8.20	1.91
Automotriz	0.80	2.89	8.35	-4.89	3.62
Construcción	0.66	8.64	16.72	3.50	1.21
Hule	0.54	4.94	7.55	1.90	4.18
Aluminio	0.37	2.79	7.41	0.09	0.44
Fertilizantes	0.30	1.8	10.92	2.03	-13.70
Tabaco	0.03	1.10	2.85	-0.16	-0.47
Total 16 ramas	64.46	3.23	7.80	-0.31	-0.36
Otras ramas	35.54	3.59	4.81	1.16	4.58
Sector Industrial Mexicano	100%	3.35	6.97	0.05	1.14

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

Tabla 2.3.

Demanda de energía de uso final por rama industrial en la industria Mexicana, 1965-2003.

<sup>60</sup> Sarai Ascencio Zárate, 2008. Emisiones tóxicas por el PET.

### 2.2.1.2 Mezcla de combustibles de uso final en el sector Industrial Mexicano.

En el 2003, en referencia a la mezcla de combustibles consumidos por el SIM, y las ramas industriales analizadas, sobresalió la demanda de gas natural (33.5%), electricidad (29.3%), y combustóleo (14.8%). A su vez, dentro de las industrias con mayor uso intensivo de gas natural fueron: siderurgia (26.2%) y química (18.5%); en cuanto a electricidad: siderurgia (7.3%), química (5.4%), minería (5.1%), y cemento (4.2%); y para combustóleo las ramas industriales más significativas fueron: cemento (49.4%), azúcar (14.7%), y química (8.8%). La distribución por tipo de combustible, se observa en la figura 2.9, donde se observa que el combustóleo, aún siendo el más utilizado en los procesos industriales, presenta una tendencia a la baja, mientras que el consumo de electricidad aumenta a lo largo del periodo de 1965 al 2003. La evolución histórica de la demanda de energía final total por tipo de combustible consumido en el SIM se muestra en la figura 2.9.

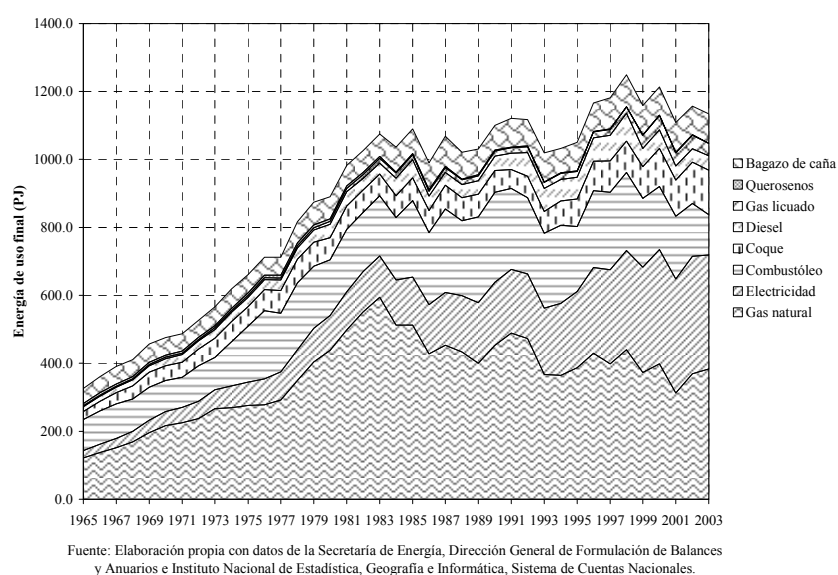


Figura 2.9.

Demanda de energía de uso final por tipo de combustible en el sector industrial Mexicano, 1965-2003.

### 2.2.1.3 Intensidad energética de uso final.

La intensidad energética se define como el cociente del consumo final de energía y el valor agregado, ya sea para un sector determinado, o de la economía en su conjunto y que, además, varía de acuerdo a las condiciones de cada país y en el tiempo. Este indicador se situó para el SIM en 8.7 MJ/USD en 2003, con base en precios constantes de 1993. A lo largo del período 1965-2003, el decrecimiento anual se determinó en -0.8 tmca, lo que significó una reducción del 26.2% durante este período, que podría indicar un avance en la eficiencia energética como consecuencia de una mejora en el uso de energía y/o mayor ahorro energético en el sector industrial.

Las ramas industriales del SIM, que presentan una disminución de su intensidad energética para el período de 1965 a 2003 son petroquímica, automotriz, vidrio, minería, celulosa y papel, siderurgia,

química, azúcar, cemento, aluminio, y cerveza y malta. Esta mejoría puede ser explicada debido a cambios en los procesos de producción, implementación de nuevas tecnologías, puesta en marcha de equipos más eficientes que reducen el uso de energía por unidad producida, y del establecimiento de programas de ahorro de energía. Además, es observado que en conjunto, las 16 ramas analizadas presentan un decrecimiento anual  $-1.3\%$  tmca, mientras que en 'otras' ramas industriales es de  $-0.3\%$  tmca. La evolución de la intensidad energética de cada rama industrial del sector industrial Mexicano se muestra en la figura 2.10, y tabla 2.4.

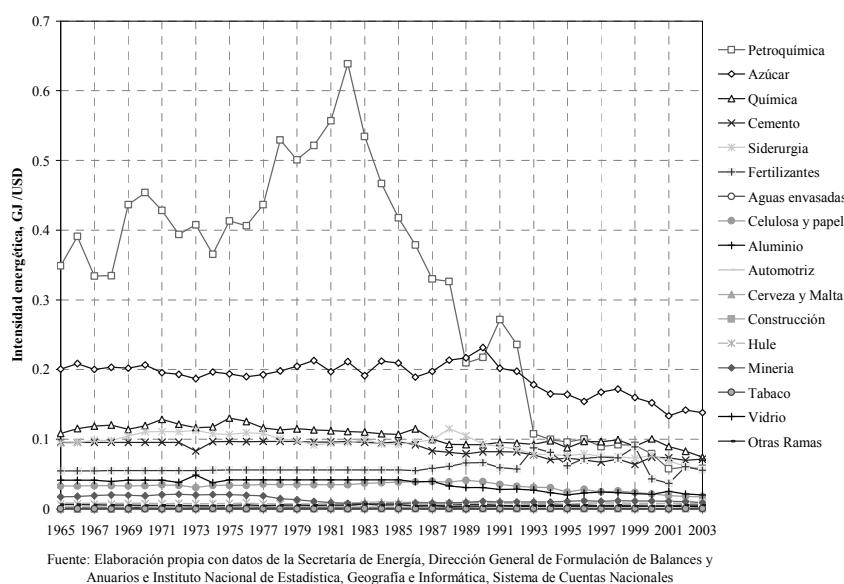


Figura 2.10.  
Intensidad energética por rama económica industrial del sector industrial Mexicano, 1965-2003.

Durante el período 1965-2003, uno de los cambios más drásticos que se observa en la intensidad energética, es el presentado por la industria petroquímica, que se debe sustancialmente a la restructuración de la que fue objeto. La reducción de la cantidad de productos y sustancias químicas que ésta procesaba impactó en forma directa en la contabilización de su contribución al PIB industrial, y en su demanda total de energía final. En lo que respecta a la rama industrial automotriz, su reducción se infiere debido al aumento en la producción de automóviles, aumento del volumen de unidades destinadas al mercado externo, reflejado en su aportación al PIBI; y al mismo tiempo una mejora tecnológica y energética como resultado de la competencia, crecimiento, consolidación y expansión de las cinco grandes industrias establecidas en nuestro país: Volkswagen, Ford, General Motors, Chrysler y Nissan. Estos cambios favorecieron una mejora sustancial en el uso de la energía en los procesos de producción, motivando el descenso de la intensidad energética de esta rama industrial. Por su parte, la intensidad energética en la rama industrial de la construcción, fue influenciada por los grandes proyectos de infraestructura en los diferentes sectores de actividad nacional tanto en el industrial, cómo en los sectores de servicios, comercial, transporte, etc., desarrollados principalmente en la década de los 70s.

En la etapa de 1965 a 1982, se destaca la minería con una notable tendencia a la baja en su crecimiento anual de su intensidad energética. Esto se explica debido a su participación activa en el suministro de insumos a diversas industrias, entre las que destacan: construcción, siderúrgica, y química, estimulando un crecimiento sustancial en cuanto a su aportación al PIB industrial. Por su parte, la industria de la construcción muestra una intensidad energética alta, como consecuencia de un crecimiento intensivo de energía final mayor al crecimiento mostrado por su aportación al PIB industrial durante esta etapa.

De 1982 a 1994, se presentan caídas considerables en las tmca de las industrias de la petroquímica (-14.3%) y automotriz (-10.3%); siendo en la primera, resultado de la reestructuración de los productos de fabricación exclusiva de esta rama, y que el gobierno empezó a abrir a la iniciativa privada; y en la segunda rama industrial, a un mejor uso de la energía en los procesos de producción, aunado a programas de ahorro de energía que mejoraron su eficiencia energética.

Durante la etapa de 1994 a 2003, el cambio de la industria petroquímica se debe a la desincorporación de algunas plantas industriales dedicadas a la petroquímica secundaria de PEMEX hacia la inversión privada. En cuanto a la industria de celulosa y papel, el cambio se explica por implementación tecnológica; el uso de papel reciclado en la producción de papel durante el proceso de producción, en lugar del uso directo de celulosa de madera, resultó en menores requerimientos de energía.

Actividad económica industrial	IE al 2003 (MJ /USD1993)	% Cambio 1965-2003	tmca 1965-2003	tmca 1965-1982	tmca 1982-1994	tmca 1994-2003
Petroquímica	58.04	-83.37	-4.61	3.62	-14.34	-5.84
Automotriz	0.67	-82.74	-4.52	-1.48	-10.32	-2.15
Vidrio	20.06	-51.12	-1.87	0.11	-4.74	-1.67
Minería	8.98	-48.35	-1.72	-4.47	1.71	-0.97
Celulosa y Papel	17.56	-46.40	-1.63	0.35	-1.07	-5.97
Siderurgia	57.31	-39.24	-1.30	0.05	-1.63	-3.37
Química	74.34	-31.50	-0.99	0.14	-1.05	-3.01
Azúcar	138.12	-31.11	-0.98	0.31	-2.04	-1.96
Cemento	71.45	-25.16	-0.76	0.08	-2.59	0.11
Aluminio*	3.24	-20.00	-0.67	2.71	-2.38	-2.79
Cerveza y Malta	7.26	-15.10	-0.43	-0.68	0.40	-1.06
Fertilizantes	55.42	1.07	0.03	0.12	3.14	-4.14
Tabaco	0.60	8.12	0.21	0.08	0.55	-0.02
Hule	8.39	28.96	0.67	-0.86	0.89	3.33
Aguas envasadas	3.41	42.45	0.94	-0.75	5.31	-1.53
Construcción	0.38	500.93	4.83	8.73	2.56	0.75
Total 16 ramas	12.41	-38.47	-1.27	0.36	-2.47	-2.70
Otras ramas	5.65	-10.93	-0.30	-1.03	-0.80	1.75
Sector industrial Mexicano	8.71	-26.19	-0.80	0.40	-1.99	-1.43

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

Tabla 2.4.

Evolución y crecimiento de la intensidad energética por rama industrial del sector industrial Mexicano, 1965-2003.



### 2.2.1.4 Emisiones de bióxido de carbono.

En el 2003, el SIM emitió a la atmósfera 65.5 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente<sup>61</sup>, en las que se destacaron las ramas industriales de la siderurgia (21.2%), cemento (11.6%), química (10.1%), y minería (5.6%) como las principales emisoras de este gas de efecto invernadero. Las emisiones totales y evolución histórica de CO<sub>2</sub> de cada una de las ramas industriales, y del SIM lo largo del período de 1965-2003 se muestra en la figura 2.11.

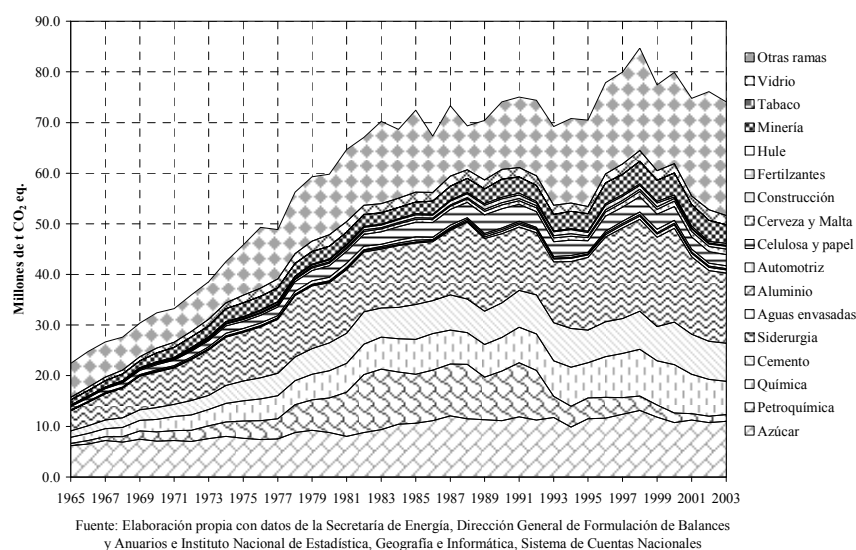


Figura 2.11.

Emisiones de CO<sub>2</sub> por rama de actividad económica industrial de México, 1965-2003.

El centro de estudios del sector privado para el desarrollo sustentable (CESPEDES, 1999)<sup>62</sup> establece que el sector industrial ha logrado reducir en promedio el 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 de CO, NO<sub>x</sub>, PST, SO<sub>2</sub> y HC; logros que están asociados a cerca de 7,500 millones de pesos en inversiones en tecnologías de control, durante el período de 1995 a 2000<sup>63</sup>.

<sup>61</sup> Las emisiones de CO<sub>2</sub> ascienden a 74.5 millones de toneladas considerando el consumo de bagazo de caña en la industria del Azúcar.

<sup>62</sup> CESPEDES, 1999. competitividad y Protección ambiental: Iniciativa Estratégica del Sector Industrial Mexicano. Consejo coordinador empresarial (CCE).

<sup>63</sup> Los programas de ahorro de energía no sólo en el sector industrial, sino en la administración pública, grandes corporativos, y pequeñas y medianas empresas, han permitido desarrollar programas de gestión ambiental para definir, prevenir y proponer medidas de mitigación sobre los impactos específicos de las actividades del sector, y tomar acciones para corregirlos. Además, el asentamiento de una cultura ambiental-corporativa más sólida permite que las políticas ambientales fluyan desde la alta dirección hacia el resto de los organismos que componen el sector camino a un desarrollo sustentable. SENER-SEMARNAT, 2002.

Durante el período de 1965 a 2003, las ramas más dinámicas en cuanto a su evolución y emisión de CO<sub>2</sub> fueron las industrias de la construcción y aguas envasadas. En la primera, no es observable cambio significativo en la emisión de CO<sub>2</sub> por tipo de combustible de uso final, siendo el consumo de diesel su principal energético consumido; en 1965 representó el 90% del CO<sub>2</sub> total emitido por esta rama, y 85% en 2003. En cuanto a la industria de aguas envasadas, sus emisiones correspondieron al consumo preferente de diesel (27%) y combustóleo (57%) en 1965; sin embargo, en el 2003, el diesel no presentó cambio significativo y el combustóleo redujo su participación hasta en 28%, al mismo tiempo, se incrementaron las emisiones provenientes del uso de electricidad (22%) y gas natural (21%) en esta rama. Las tasas de crecimiento anuales de las emisiones totales por rama de actividad industrial del SIM en el período de 1965-2003, se muestra en la tabla 2.5.

Actividad económica industrial	Millones t CO <sub>2</sub> 2003	Cambio % 1965-2003	Tmca 1965-2003	tmca 1965-1982	tmca 1982-1994	tmca 1994-2003
Siderurgia	13.81	251.37	3.36	6.68	0.95	0.49
Azúcar	11.00	77.57	1.52	2.05	0.98	1.25
Cemento	7.58	483.68	4.75	9.88	1.45	-0.11
Química	6.51	444.70	4.56	9.95	2.16	-1.91
Minería	3.68	267.43	3.48	5.02	3.18	1.04
Celulosa y Papel	2.24	251.66	3.36	8.00	2.06	-3.23
Vidrio	1.78	248.81	3.34	7.82	-1.03	1.05
Petroquímica	1.34	204.54	2.97	21.13	-8.21	-11.68
Cerveza y Malta	1.08	483.05	4.75	6.47	2.98	3.90
Aguas envasadas	0.68	883.21	6.20	7.47	7.96	1.60
Automotriz	0.54	357.16	4.08	10.94	-4.60	3.60
Construcción	0.53	2693.42	9.16	17.79	3.71	1.22
Hule	0.37	679.03	5.55	8.59	2.59	3.90
Aluminio*	0.24	219.32	3.58	9.22	0.65	0.27
Fertilizantes	0.19	128.16	2.19	11.76	3.16	-14.76
Tabaco	0.02	100.27	1.84	4.49	0.36	-1.05
Total 16 ramas	51.61	227.75	3.17	7.48	0.06	-0.52
Otras ramas	22.48	235.22	3.23	4.16	1.87	3.33
Sector Industrial Mexicano	74.09	229.98	3.19	6.65	0.45	0.50

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.

Tabla 2.5.

Emisiones de bióxido de carbono por rama de actividad económica industrial de 1965 a 2003.

En la etapa de 1965 a 1982, las industrias dedicadas a la construcción, fertilizantes, y petroquímica, se caracterizaron por su creciente aumento en las emisiones de CO<sub>2</sub>. En el caso de la construcción, las emisiones de CO<sub>2</sub> se vieron incrementadas por el consumo preferente de diesel a una tmca de 16.4%. En la industria de fertilizantes, el gas natural aumento sus emisiones a una tmca de 10.7%. Y, en la industria petroquímica, el gas natural incrementó las emisiones a una tmca de 21.1%. En cuanto a la industria del azúcar, ésta no presentó aumentos considerables de emisiones de CO<sub>2</sub>, debido al uso de bagazo de caña como su principal energético consumido, emitió CO<sub>2</sub> a una tmca de 2.0%.

De 1982 a 1994, la rama industrial de aguas envasadas, se destacó como una de las principales emisoras de CO<sub>2</sub>. Las emisiones producidas debido a su consumo de diesel, gas natural y electricidad

crecieron a razón 12.0%, 18.0% y 10.5% tmca, respectivamente. Las industrias de petroquímica y automotriz, presentaron menores crecimientos anuales en sus emisiones de CO<sub>2</sub> durante esta etapa.

De 1994 a 2003, la industria del hule debió su incremento de las emisiones de CO<sub>2</sub> al consumo de gas natural, que en esta etapa alcanzó 5.5% tmca en su tasa de crecimiento de sus emisiones. Por su parte, la industria de la cerveza y malta incrementaron el uso de combustóleo, lo que incrementó las emisiones en 5.7% tmca. Para las ramas industriales de petroquímica y fertilizantes, las emisiones de gas natural decrecieron en 10.6% y 11.2% respectivamente.

#### 2.2.1.4.1 Bióxido de carbono debido a la mezcla de combustibles de uso final.

En lo que respecta al tipo de combustible consumido por el SIM, las emisiones de CO<sub>2</sub> en el año 2003, se distribuyeron de la siguiente forma: gas natural (33.1%), electricidad (28.8%), combustóleo (20.2%), coque (9.8%), diesel (4.4%) y gas licuado (3.7%). Las principales ramas industriales emisoras de CO<sub>2</sub> de acuerdo al consumo de gas natural resultaron ser las industrias de siderurgia (26.2%), química (18.5%) y petroquímica (6.2%); para el consumo de gas natural se observaron a las industrias de siderurgia (7.3%), química (5.4%) y minería (5.1%); y en lo que respecta al consumo de combustóleo se presentaron las industrias de cemento (49.4%), azúcar (14.7%) y química (7.5%) como las principales emisoras de este gas de efecto invernadero. Las emisiones totales y evolución histórica de CO<sub>2</sub> por tipo de combustible de energía de uso final en el SIM durante el período de 1965-2003, se muestra en la figura 2.12.

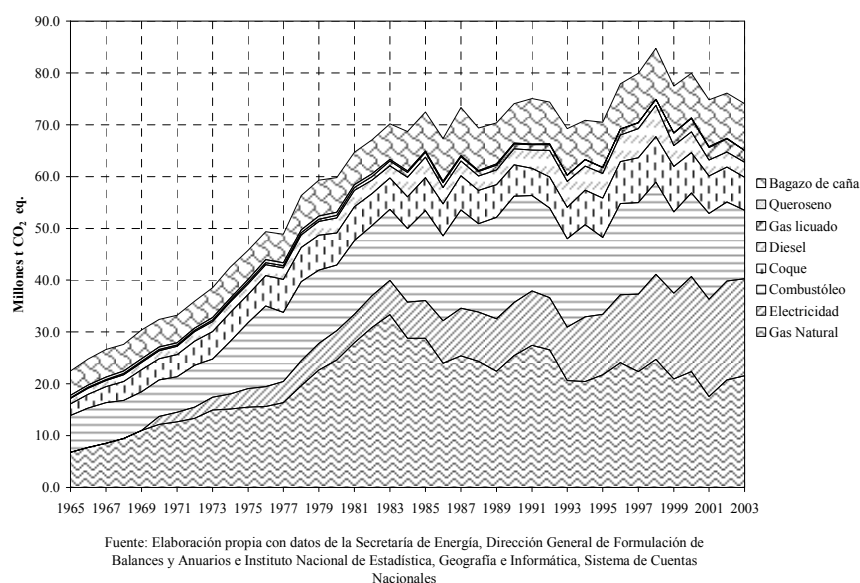


Figura 2.12.  
Emisiones de CO<sub>2</sub> por tipo de combustible de uso final en el sector industrial Mexicano, 1965-2003.

### **2.2.1.5 Cambio metodológico en México.**

#### **2.2.1.5.1 Sistema de contabilidad industrial de América del Norte (SCIAN).**

A partir de 1994, el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) encargado de la contabilidad nacional de México ha realizado algunos cambios en la clasificación de las actividades económicas con el objetivo de obtener una mejor representación de la cambiante estructura económica de México (sobre todo a partir de la entrada en vigor del Tratado de Libre Comercio de América del Norte, TLCAN) que permitiera un punto de comparación con los índices de desarrollo mostrados entre los tres países firmantes (Estados Unidos, Canadá y México) y otros más con los cuales manifiesta un vínculo comercial. La Clasificación Mexicana de Actividades y Productos (CMAP, 1994), Sistema de Cuentas Nacionales (SCNM), la Clasificación Industrial Internacional Uniforme (CIIU Rev. 2), el Catálogo Mexicano de Actividades Económicas (1960) marcaron precedente y base para la configuración e implementación del Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN).

La primera versión del SCIAN se presentó en 1997 la cual incluía una referencia hacia el Sistema de Cuentas Nacionales de México utilizado desde 1981, y la cual en su versión de 1993 clasificaba las actividades económicas de México en nueve grandes divisiones, 9 divisiones para la industria manufacturera, 73 ramas, 169 grupos y 362 sub-grupos de actividad económica. El SCIAN 1997 fue creado con el objetivo de reflejar los cambios en la economía nacional y su relación con los avances tecnológicos y organizacionales de las actividades económicas, así como de homogeneizar los distintos clasificadores de los sectores económicos de México. Como resultado de un acuerdo derivado del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) se han elaborado dos revisiones más: SCIAN 2002 y SCIAN 2007. El SCIAN 2002 muestra la estructura acordada por los tres países para este clasificador y la estructura del nivel nacional. A nivel sub-rama la codificación es a cinco dígitos en la gran mayoría de los sectores y de seis dígitos a nivel clase de actividad económica. El SCIAN 2002 se desglosa en 20 sectores, 95 subsectores, 309 ramas, 631 sub-ramas y 1051 clases de actividad económica. El SCIAN MÉXICO 2007, tiene su base en la agrupación tradicional de actividades económicas en tres grandes grupos: actividades primarias, secundarias y terciarias. Las actividades primarias (sector 1) se relacionan con el aprovechamiento directo de los recursos naturales: suelo, agua, flora y fauna. Las actividades secundarias (sector 2) incluyen las actividades de transformación de todo tipo de bienes o productos sea que éstos provengan del sector primario o del mismo secundario en otros nuevos o diferentes. Las actividades terciarias (sector 3) se refieren al comercio y a los servicios. El SCIAN 2007 consta de cinco niveles de agregación: sector, subsector, rama, sub-rama y clase de actividad económica. El sector es el nivel más general y la clase de actividad económica el más desagregado. El sector se divide en subsectores, cada subsector está formado por ramas de actividad y estas se dividen en sub-ramas, las clases son desgloses de las sub-ramas. El SCIAN 2007 se divide en 20 sectores, 94 subsectores, 304 ramas, 617 sub-ramas y 1049 clases de actividad.

#### **2.2.1.5.2 Indicadores económicos en la industria Mexicana, 2004-2010.**

Con base en la información publicada en los balances de energía de la Secretaría de Energía y de los informes anuales del Banco de México para los años correspondientes, esta sección expone un repaso de los hechos relevantes en el período de 2004-2010 en cuanto a los tres indicadores de importancia

como lo son el consumo de energía final, las emisiones de CO<sub>2</sub> y la contribución al PIB por parte del sector industrial Mexicano. Como resultado de datos insuficientes para llevar a cabo un análisis más actualizado a los últimos años, el presente estudio retrospectivo cubre el período de 1965 a 2003. Se hace notar que las series de tiempo publicadas por el INEGI bajo la metodología de contabilidad del Sistema de Cuentas Nacionales 1993 (SCN 1993) fueron sustituidas por series de datos que aplican una nueva metodología de contabilidad denominada como Sistema de Cuentas Industriales de América del Norte (SCIAN 2002, 2007). Tal metodología establece cierta correspondencia a nivel conceptual con la anteriormente aplicada, sin embargo los datos publicados no han sido suficientes para llevar a cabo la construcción de series de tiempo válidas para la implementación de cualquier metodología de descomposición a la fecha.

#### *Energía de uso final.*

El sector industrial Mexicano mantuvo su importancia como segundo consumidor de energía final en el país, detrás del sector transporte. La energía final demandada por el MIS constituyó el 28.9% (valor promedio) en el período 2004-2010. A pesar de que el consumo de energía por la industria Mexicana se mantuvo en un nivel moderado en casi todo el período, fue a partir de 2007 a 2009 donde sufrió una contracción en la misma como resultado de la crisis económica, la disminución de la demanda interna de productos y que se vio agravada por la contracción económica de los Estados Unidos, principal destino de las exportaciones Mexicanas. Además, el gas natural (uno de los principales combustibles empleados por la industria) incrementó su precio en 2.7% a partir de 2007. Así, el consumo total de energía final se redujo en 2.1% para 2008 y 3.2% para 2009 respecto de los valores observados en 2007. En 2010 se observó cierta recuperación de la demanda de energía final donde el gas natural, electricidad y combustóleo fueron los principales combustibles demandados por la industria Mexicana.

#### *Emisiones de CO<sub>2</sub>.*

Las emisiones de bióxido de carbono de la industria Mexicana fueron equivalentes al 14.8% del total emitido por el país en 2010. Tal incremento significó 0.24% sobre los niveles mostrados en 2009. En general la cantidad de CO<sub>2</sub> emitido en el período 2000-2009 presentó un crecimiento anual de 0.9%, mientras que el consumo de energía creció a razón de 0.5% anual. Se observó que la cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> mantuvo un crecimiento moderado como resultado de un menor consumo de combustibles con alto contenido de carbón como coque de petróleo, carbón mineral y combustóleo en el período de 2000 a 2009, mientras que en el 2010 sucedió lo contrario, aumentando el consumo de coque de petróleo y carbón mineral principalmente.

#### *Producto interno bruto industrial.*

El producto interno bruto industrial constituyó el 32.2% de la contribución a nivel nacional en el período de 2004 a 2010. Esta contribución fue resultado de la participación activa de las industrias manufactureras (Maquila y automotriz) y la industria de la construcción. De 2007 a 2009, la aportación de las diversas industrias se limitó por la recesión de la demanda de productos en el mercado interno y

externo, y agudizado por la restricción de financiamiento externo a causa del declive de los precios del petróleo de exportación. La recuperación de la actividad industrial Mexicana inicio como reflejo a lo mostrada mejoría de la producción de los Estados Unidos a mediados de 2009, así como de los mercados comerciales con los que México tiene firmados acuerdos de libre comercio. En 2010, tal impulso estimuló las exportaciones manufactureras y gradualmente se expandió hacia las demás actividades económicas industriales para lograr una recuperación moderada dentro del sector y la economía nacional.

### ***2.2.1.5.3 Compromisos y acciones de México ante el cambio climático.***

El gobierno de México al igual que en otros países en desarrollo y desarrollados ha adoptado el principio del desarrollo sustentable en el ajuste de políticas de planeación económica, energética, ambiental y social en el mediano y largo plazo. En 2008 aprobó la Ley para el aprovechamiento sustentable de la energía la cual tiene por objetivo propiciar un aprovechamiento sustentable de la energía mediante el uso óptimo de la misma en todos sus procesos y actividades para su explotación, producción, transformación, distribución y consumo, incluyendo la eficiencia energética. Asimismo se estableció el Programa nacional para el aprovechamiento sustentable de la energía mediante el cual el Ejecutivo federal se encargará de establecer estrategias, objetivos, acciones y metas que permitan alcanzar el uso óptimo de la energía. Además, derivado de la Ley para el aprovechamiento de energías renovables y el financiamiento de la transición energética cuyos objetivos son el potenciar el financiamiento para la transición energética, el ahorro de energía, las tecnologías limpias y el aprovechamiento de las energías renovables se creó el Fondo para la transición energética (2009) y se implementó el Programa especial de cambio climático 2009-2012 (PECC). El PECC propone reducir las emisiones anuales para 2012 en 50 Millones de toneladas de CO<sub>2</sub>, incluyendo acciones en los sectores relacionados con la generación y uso de energía. De esta manera recientemente se expidió la Ley general de cambio climático que entre otros objetivos busca regular las acciones para la mitigación y cambio climático mediante la elaboración y aplicación de políticas públicas.

En el apartado de compromisos internacionales y como signatario del Protocolo de Kioto, no obstante siendo país No-Anexo I y no tener compromisos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, México se ha propuesto voluntariamente reducir en 30% las emisiones de carbono al 2020 y 50% para el 2050 en comparación a los niveles emitidos en el 2000. Además es el único país que ha presentado cuatro comunicaciones nacionales ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) así como la actualización del Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (INEGEI) de acuerdo a la metodología establecida por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC).

## **2.3 Metodologías de análisis de descomposición.**

La metodología de descomposición fue introducida a finales de la década de los setenta con el objetivo de estudiar el impacto de los cambios estructurales en el uso de la energía en la industria. A partir de entonces, el análisis de descomposición basado en índices ha sido extendido y utilizado en aplicaciones

dentro de las áreas relacionadas con el desarrollo de política energética (Ang, 2004). A nivel internacional, existen estudios ampliamente difundidos en los cuales se proponen variados métodos de descomposición para el análisis del consumo de energía en relación con sus respectivas emisiones de CO<sub>2</sub>. Estos métodos se utilizan con el fin de identificar los factores de cambio relativos a cada sector económico con respecto a su actividad, estructura, intensidad energética y uso de tecnología, como los puntos de mayor interés en el área de la planeación energética y una útil herramienta en propuestas de desarrollo de políticas energéticas que contribuyan a un uso eficiente de la energía y en la mitigación de bióxido de carbono. Ang (2004) identifica cinco principales áreas de aplicación del análisis de descomposición basado en índices (IDA en inglés), y son:

- *Suministro y demanda de energía.* Intenta esclarecer y separar las tendencias en cambios estructurales y de intensidad energética.
- *Emisiones GEI relacionadas al consumo de energía.* Establece la relación entre el consumo de energía y las emisiones GEI.
- *Uso de materia prima o materiales.* Este tipo de análisis se lleva a cabo cuando los recursos energéticos como los minerales metálicos, no metálicos, aceite de petróleo, carbón, carbón natural, etc., son considerados como materiales. En estos casos, por ejemplo, la intensidad energética es medida como la cantidad de recursos consumidos por unidad de producto en términos económicos de valor agregado.
- *Monitoreo de tendencias de eficiencia energética.* Se utiliza para medir y explicar el progreso de la eficiencia energética, así como para identificar los factores y respuestas a los cambios de la misma a través del tiempo con el objetivo de proponer posibles estrategias que ayuden a alcanzar los objetivos propuestos.
- *Comparaciones entre países.* Establece comparaciones entre los factores que contribuyen a los cambios en el consumo de energía, emisiones GEI, intensidad energética, etc., con al menos dos países.

### **2.3.1 Clasificación de las técnicas de descomposición.**

La clasificación de las metodologías de descomposición en su representación más general fue propuesta por Liaskas et al. (2000); propone dos grandes grupos:

1. Técnicas basadas en un análisis de Insumo-Producto,
2. Técnicas basadas en métodos algebraicos.

El primer grupo, reúne los estudios basados en tablas de Insumo-Producto (I-P), esta herramienta puede utilizarse para calcular: la demanda total (directa e indirecta) de factores no producidos, la demanda total de energía, y las emisiones contaminantes totales. Estas últimas pueden interpretarse como la demanda de servicios ambientales por cada industria, en el sentido de que, una vez que la industria emite un monto de contaminantes como subproducto de la actividad productiva, el medio los recibe, y debe procesarlos de alguna forma, es decir, los procesos productivos demandan al medio ambiente servicios de recepción de residuos. Esta perspectiva permite en una etapa posterior, asociar el

nivel y la composición de emisiones a los diversos componentes de la demanda final, ya que se considera que el fin último de la producción es la satisfacción de la demanda (Aroche, 2000). Entre los estudios que utilizan un modelo I-P se pueden mencionar a Tezuka y Kaya (1984), quienes realizaron un análisis energético de la industria japonesa para el período 1965-1980, empleando series de tiempo y separando los cambios de las intensidades energéticas en dos factores: cambios directos en la intensidad energética, y cambios en el uso de los recursos no energéticos. Yabe (2004), empleó la matriz I-P, también aplicado a la industria japonesa, en el estudio hacia los factores de cambio tecnológico ambientales y de producción que inciden en las emisiones de CO<sub>2</sub> para el período 1985-1995. Hetherington (1996), analizó 101 ramas del sector industrial del Reino Unido utilizando la demanda final de energía en términos de intensidad de CO<sub>2</sub> para obtener las emisiones directas e indirectas de cada rama industrial. Chang y Lin (1998), analizaron las tendencias y los efectos de los cambios de las emisiones de CO<sub>2</sub> en el sector industrial de Taiwán.

En cuanto al segundo grupo, se encuentran las técnicas consideradas más populares entre los analistas, que a su vez, pueden ser divididos en dos sub-grupos: técnicas referidas al Índice de Laspeyres<sup>64</sup> y técnicas referidas al Índice de Divisia<sup>65</sup>. Las técnicas basadas en el Índice de Divisia empezaron a ganar terreno al inicio de la década de los noventa, por lo que en la actualidad los dos tipos de técnicas son igualmente utilizadas por los investigadores. La clasificación de los análisis de descomposición basados en índices se muestra en la figura 2.13 (Ang, 2004).

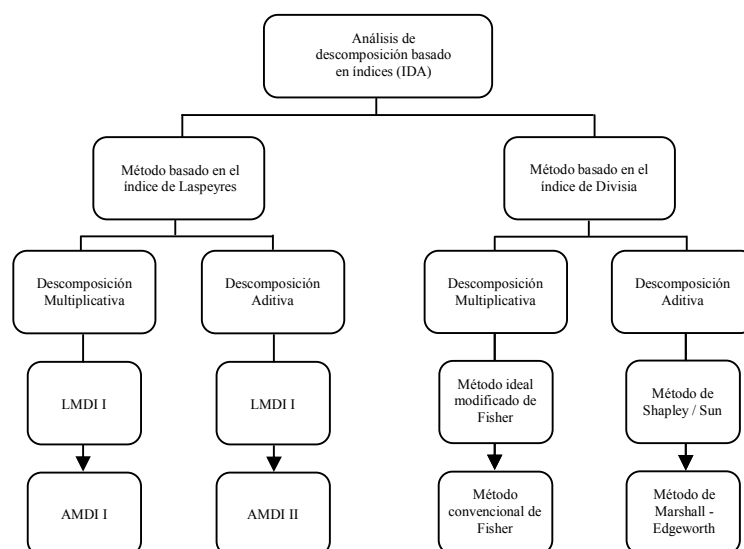


Figura 2.13. Métodos recomendados para el análisis de descomposición de energía. Fuente: Ang, 2004.

Así mismo, entre los investigadores que han realizado comparaciones entre las diferentes técnicas o modelos de descomposición mostradas en la figura 2.13, se mencionan los trabajos de Howarth et al.

<sup>64</sup> Los métodos utilizados a finales de la década de los setentas y principios de los ochentas son similares en concepto al Índice de Laspeyres, donde el impacto de un factor es calculado suponiendo que este factor cambia, mientras que los otros permanecen constantes a su respectivo valor de año base.

<sup>65</sup> Boyd et al. (1987), propuso el método de Divisia como una alternativa al Índice de Laspeyres.



(1991), Ang y Lee (1994), Greening et al. (1996), Eichhammer y Schloman (1998), Ang y Zhang (2000), Farla y Blok (2000), Chung y Ree (2001), y Zhang y Ang (2001) entre otros. Sin embargo, aún no existe un consenso en cuanto al método a seleccionar para un análisis uniforme y comparable entre países por parte de los investigadores<sup>66</sup>.

### **2.3.1.1 Método de Divisia.**

El método basado en el índice de Divisia, es considerado como el más científico dentro de las metodologías de descomposición, ya que otorga un peso ponderado de la suma de las razones de crecimiento logarítmico, donde los pesos son los componentes porcentuales en el valor total, dados en la forma de una integral lineal. La técnica de descomposición basada en el índice de Divisia ha sido adoptada por el Departamento de Energía de los Estados Unidos, para la construcción de un índice agregado de eficiencia energética (Wade, 2002). El Proyecto de Ahorro Europeo (European SAVE Project) sobre indicadores de eficiencia energética también ha adoptado la técnica de Divisia para desarrollar los indicadores de eficiencia para la industria (Odyssee, 1999). Las razones por la cual estas organizaciones eligieron el método de Divisia fue que es invariante ante la selección del año base y además presenta un residual muy pequeño en el resultado.

Entre los autores que han utilizado ampliamente este tipo de metodología se encuentran Ang y Pandiyan (1997), quienes utilizan el índice Divisia para analizar las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas al sector manufacturero de Taiwán, Corea del Sur y China, separando los cambios en la intensidad de CO<sub>2</sub> en cuatro factores causales: coeficientes de CO<sub>2</sub> por tipo de combustible, estructura de producción, participación de combustibles e intensidad energética. Choi y Ang (2003) también emplean el índice Divisia para evaluar las emisiones de CO<sub>2</sub> relacionadas al consumo de carbón en Corea, comparando los cambios en la intensidad de CO<sub>2</sub> cuando se emplea en el cálculo la demanda de carbón como combustible, y cuando no se toma en cuenta. Torvanger (1991) utiliza este índice para estudiar el sector manufacturero de 9 países de la OCDE, en función de la mezcla de combustibles, estructura industrial, estructura energética y de la intensidad de emisiones<sup>67</sup>.

### **2.3.1.2 Método de Laspeyres.**

El Método basado en el índice de Laspeyres es la técnica más fácil de utilizar y para explicar los resultados obtenidos. Mide el porcentaje de cambio en algún aspecto de un grupo de factores a través del tiempo usando pesos fijos de valores referidos a un año base. La oficina de eficiencia en Canadá emplea un método de Laspeyres modificado para conducir y reportar las tendencias en la eficiencia

---

<sup>66</sup> La selección del método depende de los datos disponibles que el investigador tenga a su alcance. El método elegido deberá ajustarse de acuerdo a los datos disponibles y buscando la mayor exactitud posible en el análisis.

<sup>67</sup> Después de que el método Divisia fue propuesto por Boyd et al en 1987, extensiones y métodos refinados relacionados con este índice, han sido desarrollados por el mismo Boyd et al. (1988), Liu et al (1992), Ang (1994), Ang and Choi (1997), Ang et al. (1998) y Ang y Liu (2001).

energética en Canadá. La Agencia Internacional de Energía<sup>68</sup> (IEA, 1997; Schipper et al. 2000) ha adoptado al índice de Laspeyres en la construcción de sus indicadores energéticos. La organización Asia Pacific Economic Cooperation (APEC) y el Centro de Investigación en Energía de Asia-Pacífico han empleado tanto el índice de Divisia como el índice de Laspeyres para desarrollar sus indicadores de eficiencia energética.

Autores que han hecho uso de este método basado en el índice de Laspeyres son: Howarth et al. (1991), quienes analizan los cambios en la producción, estructura e intensidad energética y su influencia en las emisiones de CO<sub>2</sub> en un estudio realizado a ocho países de la OCDE y Schipper et al. (1997) analizan los factores de actividad, estructura e intensidad energética, observando los cambios en términos de uso de energía para diez países de la OCDE<sup>69</sup>.

### 2.3.1.3 Otros métodos de descomposición.

La *Identidad de Kaya* es una herramienta analítica que se utiliza convencionalmente para explorar las principales fuerzas detrás del comportamiento contaminante por parte de los diversos sectores económicos (ver Yamaji et al., 1991). De acuerdo con esta identidad, las emisiones per cápita se descomponen en el producto de tres factores básicos (que se ven a su vez son influidos por diferentes factores): índice de carbonización, intensidad energética y afluencia. Esta es una aplicación específica de un enfoque más general para discutir las fuerzas motrices detrás de los impactos ambientales. El *índice de Paasche* mide los cambios a través del tiempo usando los pesos con base en un año de referencia actual, en lugar de pesos con año base en valores pasados. El índice de Paasche es considerado la forma recíproca del índice de Laspeyres. El *índice de Marshall-Edgeworth* (Marshall, 1923; Edgeworth, 1925) emplea como peso el promedio aritmético de los valores del año base y del año de referencia. El *índice ideal de Fisher* usa como peso el promedio geométrico de los índices de Laspeyres y Paasche (Fisher, 1972). El *índice de Stuvell* descompone su valor en componentes de precio y cantidad, emplea precios de Laspeyres y cantidad de números índice en su formulación. Los *índices de Törnqvist, Vartia I y Sato-Vartia* adopta el concepto del índice integral de Divisia, estos tres índices difieren en cuanto al esquema de sus pesos. El *índice de Törnqvist* emplea la media aritmética simple del período que comprende el estudio como peso, mientras que el *índice Vartia I y el índice de Sato-Vartia* adoptan la media logarítmica como peso. Los métodos de descomposición propuestos a nivel internacional para el análisis de tendencias energéticas se muestran en la tabla 2.6 (Liu y Ang, 2003). También, técnicas de descomposición completa, es decir que no presentan residuales, basados tanto en el índice de Laspeyres como en el índice de Divisia se muestran en la tabla 2.7 (Ang et al., 2003).

<sup>68</sup> La IEA, trabaja con el método de Laspeyres en colaboración con la IAEA, para desarrollar y construir indicadores de desarrollo sustentable para una posible adopción. Para más información: [www.pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1222\\_web.pdf](http://www.pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1222_web.pdf).

<sup>69</sup> Otros estudios relacionados con el índice de Laspeyres son los realizados por Jenne y Cattell (1983), y Marlay (1984); subsecuentemente, extensiones y métodos refinados relacionados al índice de Laspeyres han sido propuestos por Reitler et al. (1987), Howarth et al. (1991), Park (1992), Sun (1998), y Ang et al. (2002).

Método		[D <sub>str</sub> ]	[D <sub>int</sub> ]
Multiplicativo	Grupo 1	$\frac{\sum_i (\alpha_i S_{i,T} I_{i,0} + \beta_i S_{i,T} I_{i,T})}{\sum_i (\gamma_i S_{i,0} I_{i,0} + \lambda_i S_{i,0} I_{i,T})}$	$\frac{\sum_i (\alpha_i S_{i,0} I_{i,T} + \beta_i S_{i,T} I_{i,T})}{\sum_i (\gamma_i S_{i,0} I_{i,0} + \lambda_i S_{i,T} I_{i,0})}$
	Fisher ideal	$\sqrt{I_L \times I_P}$	$\sqrt{S_L \times S_P}$
	Stuvel	$\frac{S_L - I_L}{2} + \sqrt{\left(\frac{S_L - I_L}{2}\right)^2 + \frac{I_T}{I_0}}$	$\frac{I_L - S_L}{2} + \sqrt{\left(\frac{I_L - S_L}{2}\right)^2 + \frac{I_T}{I_0}}$
	Grupo 2	$\exp\left[\sum_i W_i^* \ln(S_{i,T} / S_{i,0})\right]$	$\exp\left[\sum_i W_i^* \ln(I_{i,T} / I_{i,0})\right]$
Método		[ΔI <sub>str</sub> ]	[ΔI <sub>int</sub> ]
Aditivo	Grupo 1	$\sum_i [I_{i,0} + \beta_i (I_{i,T} - I_{i,0}) \times (S_{i,T} - S_{i,0})]$	$\sum_i [S_{i,0} + \beta_i (S_{i,T} - S_{i,0}) \times (I_{i,T} - I_{i,0})]$
	Fisher ideal	$\sum_i I_{i,0} \Delta S_i + \frac{1}{2} \sum_i \Delta I_i \Delta S_i$	$\sum_i S_{i,0} \Delta I_i + \frac{1}{2} \sum_i \Delta S_i \Delta I_i$
	Stuvel	$\frac{I_T - I_0}{2} + I_0 \times \frac{S_L - I_L}{2}$	$\frac{I_T - I_0}{2} + I_0 \times \frac{I_L - S_L}{2}$
	Grupo 2	$\sum_i W_i' \ln(S_{i,T} / S_{i,0})$	$\sum_i W_i' \ln(I_{i,T} / I_{i,0})$

**Notas:**

1. Grupo 1 muestra las formulas para:

Laspeyres cuando  $\alpha_i = \gamma_i, \beta_i = \lambda_i = 0$ .

Paasche cuando  $\alpha_i = \gamma_i = 0, \beta_i = \lambda_i = 1$ .

Marshall-Edgeworth cuando  $\alpha_i = \beta_i = \gamma_i = \lambda_i = 0.5$ .

2. Grupo 2 muestra las formulas para:

Törnqvist cuando  $W_i^* = (E_{i,T} / E_T + E_{i,0} / E_0) / 2$  y  $W_i' = (E_{i,T} / Y_T + E_{i,0} / Y_0) / 2$

Vartia I cuando  $W_i^* = L(E_{i,T} / Y_T, E_{i,0} / Y_0) / L(I_T, I_0)$  y  $W_i' = L(E_{i,T} / Y_T, E_{i,0} / Y_0)$ .

Sato-Vartia cuando:  $W_i^* = L(E_{i,T} / E_T, E_{i,0} / E_0) / \sum_i L(E_{i,T} / E_T, E_{i,0} / E_0)$  y  $W_i' = L(E_{i,T} / Y_T, E_{i,0} / Y_0)$ .

3. En el grupo 1  $S_L = D_{str}$  y  $I_L = D_{int}$  en la forma de Laspeyres y  $S_P = D_{str}$  y  $I_P = D_{int}$  en la forma de Paasche.

Tabla 2.6.

Clasificación de las técnicas de descomposición para el análisis de descomposición de energía. Fuente: Liu y Ang, 2003.

Método		Esquema de descomposición y fuente	
Método I. Índice de Divisia Logarítmico Promedio	LMDI I	Multiplicativo	Ang y Liu (2001)
		Aditivo	Ang et al. (1998)
Método II. Índice de Divisia Logarítmico Promedio	LMDI II	Multiplicativo	Ang y Choi (1997)
		Aditivo	No disponible
Índice de razón de cambio promedio	MRCI	Multiplicativo	No disponible
		Aditivo	Chung y Rhee (2001)
Índice de Laspeyres refinado	RLI	Multiplicativo	No disponible
		Aditivo	Sun (1998)
Principio de Shapley	Shapley	Multiplicativo	No disponible
		Aditivo	Albrecht et al. (2002)

Tabla 2.7.

Resumen de técnicas de descomposición completa empleados para el análisis de descomposición de energía. Fuente: Ang et al., 2003.

## 2.4 Análisis cuantitativo de los indicadores seleccionados.

El análisis realizado comprende el período de 1965 a 2003. Para una mejor descripción y entendimiento de los cambios sucedidos en el sector industrial Mexicano, el período de estudio se

separó en tres etapas: 1965-1982, 1982-1994 y 1994-2003. Dichas etapas representan la progresión en el comportamiento energético del SIM en general y, por supuesto, de las principales actividades industriales del país. El estudio se llevó a cabo para las dieciséis ramas de uso intensivo de energía final como lo marca el Balance Nacional de Energía 2003 y el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEGI). El valor agregado bruto de cada una de las ramas se expresa a precios constantes de 1993<sup>70</sup>. El análisis se realizó para 16 ramas de actividad económica industrial que son: aguas envasadas, aluminio, automotriz, azúcar, celulosa y papel, cemento, cerveza y malta, construcción, fertilizantes, hule, minería, petroquímica básica, química básica, siderurgia, vidrio, tabaco y ‘otras’ ramas<sup>71</sup>.

### 2.4.1 Energía de uso final.

#### 2.4.1.1 Descomposición mediante Laspeyres simple.

También conocido como *Método de Laspeyres sin refinamiento*, este análisis presenta la descomposición de los cambios en el uso de la energía (E) a través de la relación conocida como “ASI”<sup>72</sup> referida por Schipper et al. (2001). La ecuación general de esta metodología se muestra en la ecuación 1:

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

donde: A - Actividad económica en el sector j, en unidades de valor agregado bruto,

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

I - Intensidad energética en la rama i del sector j.

Con la finalidad de calcular los respectivos efectos en la demanda de energía final del SIM, y considerando las unidades dimensionales adecuadas, la ecuación 1 toma la forma siguiente<sup>73</sup>:

$$E = G \sum I_i S_i \quad (2)$$

donde: G - Producto Interno Bruto Industrial (USD1993);

I<sub>i</sub> - Intensidad energética de la rama i (J/USD1993);

<sup>70</sup> Para la obtención de cada una de las series históricas del producto interno bruto por rama de actividad económica industrial y del total representado por el Sector Industrial Mexicano se utilizó la metodología descrita por el Centro de Estudios de las Finanzas Públicas de la Cámara de Diputados y mostrada en el Anexo 1.

<sup>71</sup> La descripción y definición de cada rama de actividad económica industrial se muestra en el Anexo 2.

<sup>72</sup> ASI por sus siglas en inglés significa: Activity, Structure and Intensity (Actividad, Estructura e Intensidad).

<sup>73</sup> Véase: Ussanarassamee y Bhattacharyya, 2003.

$S_i$  - Producto interno bruto de la rama  $i$  (USD1993) / Producto interno bruto industrial (USD 1993).

Para efectuar la descomposición de cada factor de acuerdo al índice de Laspeyres, se sigue que el factor analizado cambia a través del tiempo, mientras que los demás factores permanecen constantes a un año base, previamente determinado, y se observa su influencia a lo largo del período de estudio. Por ejemplo, para calcular el efecto causado por el factor *actividad* en el período que va desde el tiempo  $t = 0$  al tiempo  $t = t$ , el factor *actividad* cambiara su valor entre el año base ( $t = 0$ ) y el año  $t$ , mientras que los valores de los factores de *intensidad energética* y de *estructura* permanecen constantes a un valor referenciado al año base ( $t = 0$ ). De esta forma, las ecuaciones para calcular los efectos correspondientes a los factores de *actividad* (2a), *intensidad energética* (2b), y *estructura* (2c), estarán dadas de la siguiente forma:

Para estimar el efecto del indicador *actividad* ( $G$ ),

$$E(G) = (G^t - G^0) \sum I_i^0 S_i^0 \quad (2a)$$

Para estimar el efecto del indicador *intensidad energética* ( $I$ ),

$$E(I) = G^0 \sum (I_i^t - I_i^0) S_i^0 \quad (2b)$$

Para estimar el efecto del indicador *estructura* ( $S$ ),

$$E(S) = G^0 \sum (S_i^t - S_i^0) I_i^0 \quad (2c)$$

Como se observa, si uno de los factores cambia y los otros permanecen fijos a niveles de un año base, este método proporciona una perspectiva de como la energía es consumida durante el período de estudio. Pero a la vez, el uso del planteamiento antes mencionado nos deja un residual igual al cambio real en el consumo de energía menos la suma de los tres efectos mencionados anteriormente como se muestra en la siguiente ecuación<sup>74</sup>:

$$R = E^t - E^0 - [E(G) + E(I) + E(S)] \quad (3)$$

#### 2.4.1.1.1 Sector Industrial Mexicano.

Los resultados obtenidos al aplicar la técnica de descomposición simple de Laspeyres, durante el período de 1965 a 2003, mostraron que la demanda de energía final se vio influenciada por el efecto *actividad* en 1226.7 PJ, el efecto *estructural* causó un incremento de 38.0 PJ, y el efecto de *intensidad*

<sup>74</sup> El valor residual al utilizar el método de descomposición basado en Laspeyres simple puede llegar a ser muy grande, incluso mayor al cambio real de los indicadores analizados. No es recomendable para análisis de tipo periódico cuando hay *huecos* en la base de datos a emplear.

*energética* mitigó los efectos incrementales en -91.2 PJ. De acuerdo a los resultados, la metodología nos indica que en el período de estudio, el SIM incrementó su demanda de energía de uso final debido al desarrollo económico de las actividades industriales medido en producción a través del valor agregado bruto representado por el efecto *actividad*. Al mismo tiempo, la metodología percibe una mejora en la eficiencia energética y/o cambio tecnológico dentro de la industria Mexicana representado por el efecto de *intensidad energética*. En cuanto al residual obtenido, este es demasiado grande, ya que representa el 43.7% respecto del cambio real de la demanda de energía de uso final durante este período, el cual se debe a que el método sobrevalúa los efectos respectivos al tratarse de un período largo.

En la etapa de 1965 a 1982, el cambio real total en el consumo de energía final fue de 699.4 PJ. La metodología indicó que el efecto *actividad* fue definitivo, e indiscutiblemente el factor que influyó en el incremento de la demanda de energía final en esta etapa, ya que su incremento alcanzó 634.7 PJ. El efecto *estructural* incrementó 17.0 PJ y el efecto *intensidad energética* disminuyó -15.4 PJ a la demanda de energía final del SIM. Los resultados indican que la producción industrial de bienes mantuvo un gran crecimiento económico con base en el uso intensivo de energía y, que los cambios estructurales y de intensidad no trascendieron en esta etapa. Los descubrimientos de petróleo y gas durante la década de los 70s explican el aumento de producción debido a la disponibilidad de energéticos; además, debido a tal descubrimiento, varias reformas económicas que durante esta etapa ya eran necesarias fueron aplazadas (Llerandi, J.L, 2003). El residual para esta etapa fue de 63.1 PJ lo que significó un 9.0% respecto del cambio total.

En la etapa de 1982 a 1994, los resultados de la descomposición señalaron que el crecimiento de la demanda de energía final en el SIM, se debió a la acción conjunta de los efectos *actividad* y *estructura*, 288.7 PJ y 222.5 PJ, respectivamente. En oposición, el efecto *intensidad energética* disminuyó la influencia de los dos efectos anteriores, en -287.7 PJ. El residual obtenido, comparado con el cambio real de la demanda de energía de uso final (6.8 PJ), resultó demasiado grande, -216.7 PJ. Si bien, los resultados obtenidos por el método aplicado no son lo suficientemente claros como lo demuestra el residual, es distinguible un cambio notable en lo que se refiere al efecto *estructural*, respecto de la etapa anterior, el cual puede ser consecuencia, entre otros agentes, de la apertura comercial iniciada en la década de los 80s, derivada de las recomendaciones del Fondo Monetario Internacional (FMI) y del Banco Mundial (BM). Como resultado de la apertura comercial es observable una reestructuración productiva en la industria orientada hacia las exportaciones. El cambio manifestado por el efecto de la *intensidad energética* podría ser consecuencia del retiro paulatino de subsidios, y protección de determinadas industrias de uso intensivo de energía, así como resultado de políticas gubernamentales encaminadas al ajuste de precios internos e internacionales más reales.

En la etapa de 1994 a 2003, los resultados de la descomposición simple revelaron que el efecto *actividad* causó un incremento de la demanda en 268.9 PJ, mientras que los efectos de *estructura* e *intensidad energética* exhibieron un decremento de -24.0 y -110.9 PJ, respectivamente. Son distinguibles dos efectos dominantes, y opuestos entre sí, los cuales tomaron control de la demanda de energía final del SIM en esta etapa: *actividad* e *intensidad energética*. El primero promovió el incremento de la demanda de energía final, mientras que el segundo la frenó. Ambos efectos pueden ser explicados por el impacto de la entrada en vigor del TLCAN, así como la entrada de México en la

OCDE, en 1994, lo cual impulso el mercado de exportaciones manufactureras, la modernización de la planta industrial, implementación de sistemas de calidad, uso eficiente de recursos energéticos y humanos, etc., todo con el objetivo de enfrentar la competitividad creciente de los mercados internacionales.

Los resultados de la descomposición de Laspeyres simple obtenidos en el período de estudio, y para cada una de las etapas establecidas se muestran en la tabla 2.8. También, como parte del estudio se presentan los resultados para las etapas de 1965 a 1994 y de 1982 a 2003.

Sector industrial Mexicano		T		
t <sub>0</sub>	Factores de descomposición	1982	1994	2003
1965	Actividad	634.7	905.5	1226.7
	Estructura	17.0	66.9	38.0
	Intensidad energética	-15.4	-71.6	-91.2
	Residual	-63.1	194.6	356.7
	Cambio real consumo de energía final	699.4	706.1	816.7
1982	Actividad	----	288.7	631.0
	Estructural	----	222.5	47.8
	Intensidad energética	----	-287.7	-355.8
	Residual	----	216.7	205.6
	Cambio real consumo de energía final	----	6.8	117.3
1994	Actividad	----	----	268.9
	Estructural	----	----	-24.0
	Intensidad energética	----	----	-110.9
	Residual	----	----	-23.5
	Cambio real consumo de energía final	----	----	110.6

Unidades: Petajoules; t<sub>0</sub> – tiempo período año base, t – tiempo período año final. 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.

Tabla 2.8.

Efectos de descomposición de Laspeyres simple del consumo de energía de uso final de la industria Mexicana.

#### 2.4.1.1.2 Ramas de actividad económica industrial.

##### *Etapas de 1965 a 1982.*

Como se indicó en la sección anterior, el método de Laspeyres de descomposición simple mostró que el efecto *actividad* fue el factor dominante en el crecimiento de la demanda de energía final del SIM. Las ramas industriales del azúcar, siderurgia, minería, química, cemento, celulosa y papel, y petroquímica influenciaron notablemente tal tendencia incremental durante esta etapa. El efecto *actividad*, se debió claramente al incremento masivo de una amplia variedad de productos manufactureros, químicos y petroquímicos requeridos por el propio sector industrial y por el sector agropecuario. La disponibilidad de materias primas y energéticas (petróleo y gas natural recientemente descubiertos en esta etapa), y subsidios del gobierno como parte de la política pública provocaron que la producción industrial se incrementara, sin importar el detrimento de recursos energéticos y económicos.

El efecto *estructural* observó que las ramas industriales del azúcar, siderurgia y tabaco fueron las únicas, de las dieciséis ramas analizadas, que presentaron un decremento en su consumo de energía

final en -35.2, -2.0 y -0.12 PJ, respectivamente. Las industrias más significativas que incrementaron la demanda de energía final debido a la acción de este efecto fueron: petroquímica, química y cemento. La rama industrial denominada como ‘otras’ industrias, contribuyó con un decremento en su consumo de energía final de -10.3 PJ. El efecto *estructura*, no resultó significativo a nivel sectorial; sin embargo, puede señalarse que los cambios incrementales en algunas industrias, se presentaron en aquellas relacionadas con la transformación, explotación, y producción de petróleo. También, puede advertirse que la industria azucarera presentó un considerable decremento de su consumo de energía debido a este efecto. En aquel entonces, la industria azucarera estaba bajo el control del gobierno, y bajo una constatación de inestabilidad y desorganización, lo cual pudiera ser considerado como un factor en la disminución de su consumo energético en esta etapa.

El efecto de *intensidad energética* indicó que las ramas industriales de petroquímica, azúcar, aluminio y construcción influenciaron el aumento en el consumo energético del SIM y, por el contrario, las industrias de minería, automotriz, cerveza y malta, hule, y aguas envasadas presentaron un decremento. Las demás ramas no presentaron cambios significativos. La actividad económica industrial denominada ‘otras’ ramas resultó el factor sobresaliente, en cuanto a este efecto, en la disminución del consumo de energía final en esta etapa.

El *residual* a nivel sectorial fue de -9.0% respecto del cambio real en la etapa. A nivel rama, el residual varía desde 251.9% obtenido por la industria azucarera hasta -73.6% de la industria petroquímica. No es distinguible como el método tiende a sobrevalorar o subvalorar los cambios totales en cada industria. Los resultados de la descomposición de Laspeyres simple para cada efecto evaluado, y para cada rama de actividad industrial del SIM se muestran en la tabla 2.9.

Actividad económica industrial	Factores de descomposición (PJ)			Cambio descomposición (PJ)	Cambio real (PJ)	Residual (PJ)
	Actividad	Estructura	Intensidad energética			
Azúcar	125.24	-35.18	3.52	93.57	26.58	66.98
Petroquímica	15.18	30.10	6.50	51.78	196.10	-144.32
Química	37.95	11.24	0.48	49.66	73.17	-23.50
Cemento	37.18	10.82	0.28	48.27	70.23	-21.95
Siderurgia	109.67	-2.00	0.46	108.14	105.11	3.02
Aguas envasadas	2.29	0.15	-0.14	2.29	2.25	0.04
Aluminio	2.30	0.00	1.86	4.16	4.02	0.14
Automotriz	5.99	2.20	-0.69	7.51	8.99	-1.48
Celulosa y papel	20.13	0.98	0.64	21.76	25.08	-3.33
Cerveza y malta	5.33	0.15	-0.30	5.18	4.85	0.33
Construcción	0.63	0.04	1.02	1.69	4.16	-2.47
Fertilizantes	3.33	1.62	0.03	4.98	8.28	-3.30
Hule	1.90	0.35	-0.13	2.12	2.40	-0.28
Minería	42.93	5.83	-11.97	36.79	15.65	21.14
Tabaco	0.51	-0.12	0.00	0.39	0.16	0.23
Vidrio	18.16	1.18	0.17	19.52	22.22	-2.70
‘Otras’ industrias	205.98	-10.35	-17.15	178.48	130.11	48.38
Sector industrial Mexicano	634.70	17.02	-15.41	636.31	699.37	-63.06

Unidades: Petajoules (PJ). 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.

Tabla 2.9.

Descomposición de Laspeyres simple de la demanda de energía de uso final de la industria Mexicana, 1965-1982.



### ***Etapa de 1982 a 1994.***

En esta etapa, los efectos de descomposición de Laspeyres simple observan considerables influencias sobre la demanda de energía final del SIM. Por un lado, los efectos de *actividad* y *estructura* mostraron una influencia incremental y, por el otro, el efecto de intensidad energética tendió a disminuirla. El efecto *actividad* se nota principalmente en las ramas industriales de siderurgia, petroquímica, química, cemento y azúcar. Mientras que el efecto *estructura* mostró a las industrias de petroquímica y cemento sobresalientes en el crecimiento de la demanda energética final del SIM. En cuanto al efecto de *intensidad energética*, las ramas que mostraron cambios significativos en cuanto a su disminución fueron: petroquímica, siderurgia, cemento y azúcar, y las que presentaron un aumento fueron minería, fertilizantes y aguas envasadas.

Los resultados de la descomposición de la demanda de energía final, en los tres efectos evaluados, se presentan en las industrias constituidas por grandes grupos empresariales (siderurgia, fertilizantes, cemento, química, ingenios azucareros, etc.), los cuales lograron mantener su participación en el mercado interno, a pesar de la crisis económica y, además, consiguieron expandirse fuera del país mediante inversiones provenientes del exterior (Inversión Extranjera Directa, IED). Incrementaron su participación en Estados Unidos, América del Sur y, en menor medida, en Europa. Se considera que el éxito de estas empresas radicó en que pertenecen a industrias llamadas tradicionales, las cuales cuentan con una base productiva de insumos primarios en el país, razón por la que los productos que se exportan son insumos básicos ó de consumo masivo como cemento, vidrio, alimentos, cerveza y construcción, entre otros.

El decremento de la demanda de energía de uso final mostrado por parte del efecto de *intensidad energética* se considera como una consecuencia del cambio hacia una nueva política local, en la cual el gobierno inició la privatización de algunas industrias que estaban bajo su control y que presentaban problemas de rentabilidad financiera. Por ejemplo, la privatización de cerca de 48 ingenios azucareros a partir de 1988, la apertura de la industria petroquímica, química, siderurgia y cemento, entre otras industrias de uso intensivo de energía, a inversiones privadas de carácter nacional y extranjero. También, se considera que la incorporación de tecnologías nuevas en el caso de la siderurgia y cemento, aunado a los programas de ahorro de energía y eficiencia energética impulsados por el gobierno y la propia industria, ayudaron a que el consumo de energía no se incrementara fuertemente durante esta etapa.

El *residual* a nivel sectorial es excesivamente sobrevalorado por el método de Laspeyres simple, por ejemplo en la industria del aluminio; mientras que la industria del tabaco presenta un *residual* considerablemente subvalorado. El *residual* nos indica que los resultados obtenidos pudieran estar fuera de contexto, y reduce su confianza; así como pone en duda la validez del método seleccionado al no poder explicar residuales tan altos, o tan bajos. El resumen de los resultados de la descomposición de Laspeyres simple para cada efecto evaluado y para cada rama de actividad industrial del SIM durante esta etapa se muestra en la tabla 2.10.

Actividad económica industrial	Factores de descomposición (PJ)			Cambio descomposición (PJ)	Cambio real (PJ)	Residual (PJ)
	Actividad	Estructura	Intensidad energética			
Azúcar	25.67	11.08	-20.02	16.73	11.10	5.63
Petroquímica	57.40	156.47	-172.09	41.78	-131.81	173.59
Química	26.10	12.57	-11.07	27.60	26.10	1.50
Cemento	25.17	22.49	-24.12	23.53	15.30	8.23
Siderurgia	45.51	11.30	-28.96	27.85	20.29	7.56
Aguas envasadas	0.97	0.27	2.96	4.20	5.41	-1.21
Aluminio	1.13	0.21	-1.01	0.34	0.04	0.29
Automotriz	3.40	7.02	-8.81	1.60	-5.46	7.07
Celulosa y papel	9.98	5.37	-4.31	11.05	10.51	0.54
Cerveza y malta	2.14	1.13	0.37	3.64	4.14	-0.49
Construcción	1.26	-0.58	1.59	2.27	2.29	-0.02
Fertilizantes	2.81	-3.15	4.49	4.16	2.72	1.44
Hule	0.95	-0.41	0.38	0.92	0.86	0.07
Minería	10.64	-4.47	8.52	14.69	14.54	0.15
Tabaco	0.12	-0.12	0.03	0.03	-0.01	0.04
Vidrio	8.89	6.30	-13.95	1.24	-4.48	5.72
'Otras' industrias	66.54	-2.99	-21.71	41.84	35.24	6.60
Sector industrial Mexicano	288.69	222.49	-287.71	223.47	6.77	216.70

Unidades: Petajoules (PJ). 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.

Tabla 2.10.

Descomposición de Laspeyres simple de la demanda de energía de uso final de la industria Mexicana, 1982-1994.

### ***Etapa de 1994 a 2003.***

En esta etapa, el método de descomposición de Laspeyres simple indicó que el efecto *actividad* influyó en el crecimiento de la demanda de energía del SIM, mientras que, los efectos de *estructura* e *intensidad energética* la atenuaron. A nivel rama de actividad económica, el efecto *actividad* mostró a las industrias de siderurgia, química, cemento y azúcar como las más activas en el crecimiento del consumo de energía, representando el 49.2% del aumento total de la demanda del SIM correspondiente a dicho efecto. El efecto *estructural*, observó la actuación de las industrias de petroquímica, cemento y fertilizantes como factores sobresalientes en la disminución de la demanda de energía final del SIM, y que la industria de la siderurgia presentó un considerable incremento en cuanto a este efecto. En lo que corresponde al efecto de *intensidad energética*, se destacaron las ramas industriales de la siderurgia, química, petroquímica, celulosa y papel, y azúcar como las principales industrias en cuanto al decremento del consumo de energía.

El desempeño de la rama de actividad industrial de la siderurgia es claramente notable en la evolución de la demanda de energía del SIM. Esta mantiene una tendencia incremental en cuanto a los efectos de *actividad* y *estructura*, y al mismo tiempo, muestra un decremento en cuanto al efecto *intensidad energética*, frenando una mayor demanda de energía. Se considera que, entre otros factores, y de acuerdo con la Cámara Nacional del Acero (CANACERO), el desempeño de la industria siderúrgica e debió al programa de inversiones en modernización y ampliaciones, tan sólo en el período de 1999-2000, la inversión se ubicó en 930 millones de dólares. Además, la modernización de la industria trajo un aumento significativo de la producción nacional de acero, de ocho millones de toneladas en 1991 a

15.3 millones en 1999, lo que representó un crecimiento anualizado de 10.9 por ciento entre 1991 y 1995. Asimismo, la capacidad de ofrecer productos a bajo precio durante el lapso de 1993-1996 apoyada en una estrategia general de costos combinada con el aumento de eficiencia operativa resulto en una disminución de las entradas o factores de producción.

Actividad económica industrial	Factores de descomposición (PJ)			Cambio descomposición (PJ)	Cambio real (PJ)	Residual (PJ)
	Actividad	Estructura	Intensidad energética			
Azúcar	26.65	4.17	-16.67	14.15	10.04	4.11
Petroquímica	18.78	-39.10	-30.15	-50.47	-47.90	-2.57
Química	30.96	-4.31	-28.61	-1.96	-9.23	7.27
Cemento	27.27	-17.77	1.08	10.58	6.01	4.58
Siderurgia	47.40	33.21	-48.37	32.24	17.17	15.07
Aguas envasadas	2.30	0.71	-1.15	1.87	1.64	0.23
Aluminio	1.06	0.26	-0.91	0.41	0.16	0.24
Automotriz	1.72	2.18	-1.18	2.73	2.50	0.23
Celulosa y papel	11.98	2.23	-19.57	-5.36	-11.07	5.71
Cerveza y malta	3.06	2.53	-1.08	4.51	4.59	-0.08
Construcción	1.77	-1.18	0.47	1.06	0.78	0.29
Fertilizantes	3.31	-8.80	-4.03	-9.51	-9.34	-0.17
Hule	1.10	-0.62	1.45	1.94	1.89	0.05
Minería	13.63	-2.00	-4.38	7.26	5.81	1.45
Tabaco	0.11	-0.10	0.00	0.01	-0.02	0.03
Vidrio	7.06	0.56	-3.81	3.81	2.86	0.95
‘Otras’ industrias	70.75	4.03	46.02	120.80	134.69	-13.89
Sector industrial Mexicano	268.92	-24.00	-110.86	134.05	110.57	23.48

Unidades: Petajoules (PJ). 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.

Tabla 2.11.

Descomposición de Laspeyres simple de la demanda de energía de uso final de la industria Mexicana, 1994-2003.

En lo que respecta al *residual*, a nivel sectorial el resultado fue de 21.2%, mientras que a nivel rama de actividad industrial, el *residual* más sobrevalorado fue presentado por la industria siderúrgica (87.8%), y el *residual* más subvalorado lo presentó la industria química (78.7%). Los residuales parecen incrementarse en aquellas industrias con mayor actividad e intensivas en el uso de energía. El resumen de los resultados de la descomposición de Laspeyres simple para cada efecto evaluado, y para cada rama de actividad industrial del SIM durante esta etapa se muestran en la tabla 2.11.

#### 2.4.1.2 Descomposición mediante Laspeyres refinado.

Uno de los métodos más actuales para analizar la demanda de energía de uso final en el sector industrial se conoce con el nombre de *Metodología de descomposición completa* o también llamado *Método de Laspeyres refinado*, el cual fue propuesto y publicado por Sun en 1998<sup>75</sup>. De acuerdo a lo

<sup>75</sup> Ang et al., 2003, muestran que el método de descomposición completa presentado por Albrecht et al., 2002, basado en el *valor de Shapley* son exactamente la misma técnica.

publicado por Sun (1998), se tiene que la energía ( $E$ ) en el año  $t$  se define como:  $E^t = A^t \sum_i I_i^0 S_i^0$ , y considerando que los cambios en el consumo de energía son influenciados por tres factores: *actividad*, *estructura*, e *intensidad energética*, el modelo para una descomposición completa se encuentra dado por:

$$\Delta E = E^t - E^0 = EA_{effect} + ES_{effect} + EI_{effect} \quad (4)$$

Donde:  $E$  - Energía de uso final.

$\Delta E$  - Cambio en la demanda de energía de uso final desde el tiempo base ( $t=0$ ) a un tiempo de referencia ( $t=t$ ).

$EA_{effect}$  - Efecto de actividad de descomposición completa.

$ES_{effect}$  - Efecto de estructura de descomposición completa.

$EI_{effect}$  - Efecto de intensidad energética de descomposición completa.

Para estimar el efecto *actividad*,

$$EA_{effect} = \Delta A \sum_i I_i^0 S_i^0 + \frac{1}{2} \Delta A \sum_i (I_i^0 \Delta S_i + S_i^0 \Delta I_i) + \frac{1}{3} \Delta A \sum_i \Delta I_i \Delta S_i \quad (4a)$$

Para estimar el efecto *estructura*,

$$ES_{effect} = A^0 \sum_i I_i^0 \Delta S_i + \frac{1}{2} \sum_i \Delta S_i (I_i^0 \Delta A + A^0 \Delta I_i) + \frac{1}{3} \Delta A \sum_i \Delta I_i \Delta S_i \quad (4b)$$

Para estimar el efecto *intensidad energética*,

$$EI_{effect} = A^0 \sum_i S_i^0 \Delta I_i + \frac{1}{2} \sum_i \Delta I_i (S_i^0 \Delta A + A^0 \Delta S_i) + \frac{1}{3} \Delta A \sum_i \Delta I_i \Delta S_i \quad (4c)$$

Donde,  $A$  representa la producción y se mide en términos del producto interno bruto industrial,  $S$  muestra la importancia de la rama industrial en el sector, y es el cociente del valor agregado de la rama industrial  $i$  entre el valor agregado del sector industrial, e  $I$  constituye la intensidad energética industrial.

#### 2.4.1.2.1 Sector industrial Mexicano.

La descomposición completa basada en Laspeyres refinado indicó que el efecto predominante sobre el incremento de la demanda de energía del SIM, en el período de 1965 a 2003, fue la *actividad*. El efecto

de *estructura* presentó un incremento moderado, y el efecto de *intensidad energética* la redujo considerablemente. En el análisis por etapas, de 1965 a 1982, prácticamente los efectos de *actividad* y *estructura* proyectaron el cambio total en el crecimiento de la demanda de energía de uso final, mientras que el efecto de *intensidad energética*, aunque mitigó tales tendencias incrementales, su aportación fue mínima. En la etapa de 1982 a 1994, se observa que la combinación de los efectos de *actividad* y *estructura*, los cuales expandieron su influencia incremental en la demanda de energía de uso final del SIM, fueron minimizados por el efecto de *intensidad energética*, el cual actuó en sentido opuesto para mitigar tales efectos, y contener el crecimiento de la demanda de energía. En la etapa de 1994 a 2003, el efecto *actividad* continúa predominando como el factor determinante en el incremento de la demanda de energía de uso final, mientras que el efecto de *intensidad energética* prevalece como el factor que la contiene. El efecto de *estructura* muestra una tendencia reductora, sin embargo mínima.

La técnica de descomposición completa manifiesta que la producción del sector industrial, entendido por el efecto *actividad*, es y ha sido el factor principal en el aumento de la demanda de energía de uso final del SIM a lo largo del período de estudio, así como en cada etapa. Los cambios mostrados por el efecto de *estructura*, se manifiestan principalmente en la etapa 1982-1994, que como ya se ha comentado, es la etapa en la cual se inician las reformas económicas y políticas hacia la apertura comercial de México. En cuanto al efecto de *intensidad energética*, este cobra importancia en virtud de que refleja los esfuerzos de las industrias por disminuir su consumo de energía a través de la modernización tecnológica, y del uso eficiente de energía.

Sector Industrial Mexicano		T		
t <sub>0</sub>	Factores de descomposición	1982	1994	2003
1965	Actividad	647.7	852.1	1082.3
	Estructura	57.8	92.0	52.8
	Intensidad energética	-6.1	-237.9	-318.4
	Residual	0.0	0.0	0.0
	Cambio real consumo de energía final	699.4	706.1	816.7
1982	Actividad	-----	265.0	534.2
	Estructural	-----	161.9	55.4
	Intensidad energética	-----	-420.1	-472.3
	Residual	-----	0.0	0.0
	Cambio real consumo de energía final	-----	6.8	117.3
1994	Actividad	-----	-----	252.2
	Estructural	-----	-----	-21.7
	Intensidad energética	-----	-----	-119.9
	Residual	-----	-----	0.0
	Cambio real consumo de energía final	-----	-----	110.6

Unidades: Petajoules; T<sub>0</sub> – tiempo período año base, T – tiempo período año final. 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.

Tabla 2.12.

Efectos de descomposición completa del consumo de energía de uso final de la industria Mexicana, Laspeyres refinado.

Al realizar una comparación de resultados obtenidos entre la metodología de descomposición completa y simple basadas en el índice de Laspeyres, se aprecia que ambos métodos exhiben, en forma cualitativa, la importancia e influencia de los efectos de *actividad* e *intensidad energética* en la

evolución de la demanda de energía final a lo largo del período de estudio y en cada etapa, aún y cuando la descomposición simple presenta grandes residuales. La tabla 2.12 muestra en resumen los resultados de la descomposición completa basada en el índice de Laspeyres para el período de estudio, etapas consideradas y etapas adicionales: 1965-1994, y 1982-2003.

#### **2.4.1.2.2 Ramas de actividad económica industrial.**

##### ***Etapas de 1965 a 1982.***

A nivel sectorial, el cambio en la demanda de energía de uso final en el SIM, fue notablemente influenciado por el efecto *actividad*. Los efectos de *estructura* e *intensidad energética* observaron cambios mínimos. A nivel de rama industrial, se destacaron las industrias de siderurgia, azúcar, petroquímica, química, cemento, minería y celulosa y papel en cuanto a la tendencia incremental del efecto *actividad*. Tales industrias significaron el 64.8 % del efecto actividad del sector.

El efecto *estructura* observó que las ramas industriales del azúcar, siderurgia, aluminio, y tabaco fueron las únicas de las dieciséis ramas analizadas que presentaron un decremento en el consumo de energía final, siendo factor causal de que la demanda total del sector industrial no se incrementara considerablemente. La actividad industrial denominada como ‘otras’ industrias, también contribuyó considerablemente a contener el incremento de la demanda de energía. Las industrias petroquímica, química, y cemento manifestaron incrementos significativos en su consumo de energía final.

El efecto *intensidad energética* mostró que las industrias petroquímica, azúcar, aluminio, y construcción se destacaron como las principales industrias que aumentaron el consumo energético del SIM, por el contrario, las ramas industriales de minería, automotriz, cerveza y malta, hule, y aguas envasadas presentaron disminución de la demanda de energía. Las restantes ramas industriales no presentaron cambios significativos. La actividad económica industrial denominada ‘otras’ industrias, en combinación con la industria de la minería, resultaron factor determinante para contener la tendencia incremental del consumo de energía final para esta etapa.

Los análisis de descomposición completa y descomposición simple, muestran resultados similares, tanto a nivel sectorial, como a nivel rama de actividad económica. En cada efecto analizado, las ramas industriales indicadas en el análisis mediante descomposición simple son señaladas nuevamente en el análisis de descomposición completa. Cualitativamente, una comparación entre las dos metodologías observa que, a nivel sectorial, los efectos tendenciales del consumo final de energía no fueron afectados por los resultados obtenidos. Independientemente de la metodología elegida, se exhibió al efecto actividad como el factor trascendental en el incremento del consumo energético. A nivel rama de actividad económica, la diferencia fundamental entre las dos metodologías radicó en el residual derivado del uso de la metodología de descomposición simple, el cual resulta en una gran desventaja, al no poder ser explicado satisfactoriamente. El método de descomposición simple mostró residuales notablemente sobrevalorados o subvalorados en los resultados obtenidos; por ejemplo, las industrias petroquímica, azúcar, química, cemento, minería y ‘otras’ industrias. El resumen de los efectos de descomposición completa de la demanda de energía de uso final en el SIM, por rama de actividad industrial se muestra en la tabla 2.13.

Actividad económica industrial	Factores de descomposición (PJ)			Cambio descomposición (PJ)	Cambio real (PJ)	Residual (PJ)
	Actividad	Estructura	Intensidad energética			
Azúcar	93.32	-71.46	4.73	26.58	26.58	0.00
Petroquímica	66.78	87.90	41.42	196.10	196.10	0.00
Química	49.47	22.44	1.25	73.17	73.17	0.00
Cemento	48.03	21.47	0.72	70.23	70.23	0.00
Siderurgia	108.17	-3.95	0.88	105.11	105.11	0.00
Aguas envasadas	2.28	0.27	-0.30	2.25	2.25	0.00
Aluminio	1.49	-0.57	3.10	4.02	4.02	0.00
Automotriz	7.14	3.78	-1.93	8.99	8.99	0.00
Celulosa y papel	21.75	2.00	1.34	25.08	25.08	0.00
Cerveza y malta	5.18	0.28	-0.61	4.85	4.85	0.00
Construcción	1.75	0.25	2.17	4.16	4.16	0.00
Fertilizantes	4.95	3.23	0.11	8.28	8.28	0.00
Hule	2.08	0.64	-0.32	2.40	2.40	0.00
Minería	34.95	7.87	-27.17	15.65	15.65	0.00
Tabaco	0.39	-0.24	0.01	0.16	0.16	0.00
Vidrio	19.50	2.36	0.37	22.22	22.22	0.00
'Otras' industrias	180.42	-18.46	-31.85	130.11	130.11	0.00
Sector industrial Mexicano	647.65	57.79	-6.07	699.37	699.37	0.00

Unidades: Petajoules (PJ). 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.

Tabla 2.13.

Descomposición completa de la demanda de energía de uso final del sector industrial Mexicano, 1965-1982.

### ***Etapa de 1982 a 1994.***

En esta etapa, los resultados de descomposición completa mostraron que el efecto *actividad* y el efecto *estructura* fueron los factores que influyeron en el crecimiento de la demanda de energía de uso final del SIM y que el efecto de *intensidad energética* tendió a mitigar una mayor demanda de energía. El cambio incremental en el efecto *actividad* se debió principalmente a la labor desarrollada por las ramas industriales de la siderurgia, petroquímica, química, cemento y azúcar, que representaron el 60.5% del incremento total del consumo de energía final del SIM. En cuanto al efecto de *estructura*, se distinguieron las ramas industriales de petroquímica y cemento en el incremento de la demanda energética. El efecto de *intensidad energética* mostró cambios significativos en la disminución del consumo energético en las industrias de petroquímica, siderurgia, cemento, y azúcar.

Los resultados de los efectos de descomposición señalados en las industrias de petroquímica, siderurgia, cemento y azúcar resultaron determinantes en el cambio real total de la demanda de energía de uso final del SIM (6.8 PJ) a lo largo de la etapa. Por un lado, se muestra que tales industrias incrementaron su producción y en consecuencia su consumo energético como lo refleja el efecto *actividad*; mientras que, en el lado contrario, se observa una reducción de la demanda de energía expresada por el efecto de *intensidad energética*. Ambos efectos se contrastan para evitar un crecimiento mayor de la demanda energética. Es importante remarcar lo sucedido en la industria petroquímica, la cual exhibe una considerable disminución en la tendencia del efecto de *intensidad energética*, la cual se debe básicamente a su reestructuración productiva.

En la comparación, de resultados de descomposición de la metodología simple y completa, se observó que la gran diferencia entre ambos métodos radicó en el efecto de *intensidad energética*. La descomposición simple subvaloró este efecto en 31.6% y, además, presentó un residual muy elevado en 216.7 PJ. El resumen de los resultados de los efectos de descomposición completa de la demanda de energía final del SIM por rama de actividad económica industrial para esta etapa se muestra en la tabla 2.14.

Actividad económica industrial	Factores de descomposición (PJ)			Cambio descomposición (PJ)	Cambio real (PJ)	Residual (PJ)
	Actividad	Estructura	Intensidad energética			
Azúcar	24.19	11.20	-24.29	11.10	11.10	0.00
Petroquímica	42.81	100.08	-274.71	-131.81	-131.81	0.00
Química	26.17	13.44	-13.52	26.10	26.10	0.00
Cemento	24.37	22.05	-31.12	15.30	15.30	0.00
Siderurgia	42.84	11.69	-34.24	20.29	20.29	0.00
Aguas envasadas	1.44	0.45	3.51	5.41	5.41	0.00
Aluminio	1.01	0.21	-1.18	0.04	0.04	0.00
Automotriz	2.67	4.97	-13.09	-5.46	-5.46	0.00
Celulosa y papel	10.07	5.74	-5.30	10.51	10.51	0.00
Cerveza y malta	2.36	1.32	0.46	4.14	4.14	0.00
Construcción	1.39	-0.79	1.69	2.29	2.29	0.00
Fertilizantes	2.87	-4.43	4.29	2.72	2.72	0.00
Hule	0.94	-0.49	0.40	0.86	0.86	0.00
Minería	11.12	-5.70	9.12	14.54	14.54	0.00
Tabaco	0.10	-0.14	0.03	-0.01	-0.01	0.00
Vidrio	7.55	5.53	-17.57	-4.48	-4.48	0.00
'Otras' industrias	63.09	-3.25	-24.60	35.24	35.24	0.00
Sector industrial Mexicano	264.99	161.89	-420.11	6.77	6.77	0.00

Unidades: Petajoules (PJ). 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.

Tabla 2.14.

Descomposición completa de la demanda de energía de uso final del sector industrial Mexicano, 1982-1994.

### ***Etapa de 1994 a 2003.***

A nivel sectorial, los resultados de descomposición completa mostraron el dominio del efecto *actividad* en el aumento de la demanda de energía de uso final del SIM. Por el contrario, los efectos de *estructura* e *intensidad energética* emergieron como los factores que contuvieron la tendencia incremental. A nivel rama de actividad económica industrial el efecto *actividad* mostró que las industrias de siderurgia, química, cemento, y azúcar fueron las más activas en el crecimiento del consumo de energía de uso final representando el 48.1% del aumento total de la demanda del SIM. En cuanto al efecto de *estructura*, se observó a las industrias de petroquímica y cemento como factores preponderantes en la disminución de la demanda de energía final. En lo que corresponde al efecto de *intensidad energética*, las ramas industriales de siderurgia, química, petroquímica, celulosa y papel y azúcar contribuyeron notablemente en la mitigación del consumo energético final.

Durante esta etapa, los grandes grupos empresariales continuaron manifestándose como los más significativos en el consumo de energía de uso final. El crecimiento del consumo energético final se vio incrementado en comparación con la etapa anterior (1982-1994), principalmente por el aumento de



la producción de las grandes empresas como siderurgia, química, cemento, petroquímica y azúcar, las cuales son consideradas como industrias de carácter exportador, ampliamente favorecidas en virtud de la entrada en vigor del TLCAN y de otros tratados de libre comercio internacional. Estas ramas industriales presentaron significantes cambios organizacionales y comerciales en esta etapa. La importancia percibida por estas industrias se reflejó directamente en los resultados indicados por el análisis de descomposición, sobre todo, en los efectos de *actividad* y de *intensidad energética*.

Actividad económica industrial	Factores de descomposición (PJ)			Cambio descomposición (PJ)	Cambio real (PJ)	Residual (PJ)
	Actividad	Estructura	Intensidad energética			
Azúcar	24.96	4.32	-19.24	10.04	10.04	0.00
Petroquímica	11.18	-34.60	-24.48	-47.90	-47.90	0.00
Química	26.76	-4.26	-31.72	-9.23	-9.23	0.00
Cemento	25.08	-20.19	1.11	6.01	6.01	0.00
Siderurgia	44.66	32.35	-59.85	17.17	17.17	0.00
Aguas envasadas	2.24	0.75	-1.35	1.64	1.64	0.00
Aluminio	0.97	0.26	-1.07	0.16	0.16	0.00
Automotriz	1.82	2.24	-1.56	2.50	2.50	0.00
Celulosa y papel	9.64	1.97	-22.68	-11.07	-11.07	0.00
Cerveza y malta	3.23	2.72	-1.35	4.59	4.59	0.00
Construcción	1.67	-1.38	0.49	0.78	0.78	0.00
Fertilizantes	1.88	-8.31	-2.92	-9.34	-9.34	0.00
Hule	1.19	-0.83	1.52	1.89	1.89	0.00
Minería	12.82	-2.16	-4.85	5.81	5.81	0.00
Tabaco	0.09	-0.11	0.00	-0.02	-0.02	0.00
Vidrio	6.63	0.59	-4.35	2.86	2.86	0.00
'Otras' industrias	77.33	4.95	52.41	134.69	134.69	0.00
Sector industrial Mexicano	252.16	-21.71	-119.88	110.57	110.57	0.00

Unidades: Petajoules (PJ). 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.

Tabla 2.15.

Descomposición completa de la demanda de energía de uso final del sector industrial Mexicano, 1994-2003.

En relación a los resultados cuantitativos obtenidos por el método de descomposición simple, éstos difieren en menos del 10% respecto de los obtenidos por el método de descomposición completa, a pesar de que el residual de la descomposición simple es poco más del 20%. El significado, y explicación de lo mostrado por ambos métodos no se ve influido debido a tales discrepancias. El efecto actividad, y el efecto intensidad energética regulan el comportamiento de la demanda de energía del SIM. El resumen de los efectos de descomposición completa por rama de actividad industrial del SIM se muestra en la tabla 2.15.

## 2.4.2 Intensidad energética de uso final.

### 2.4.2.1 Descomposición de la intensidad energética mediante Laspeyres refinado.

El análisis emplea el método de descomposición completa propuesto por Sun (1998) y se aplica a las dieciséis ramas de actividad industrial de uso intensivo de energía en México. El modelo distingue dos

efectos particulares: el efecto *estructural* (también llamado *intersectorial*) y el efecto *intensidad* (también llamado *intrasectorial*). Estos factores indican y describen el comportamiento de la intensidad energética a lo largo de un período de tiempo. El efecto *estructural* representa los cambios en la composición de la actividad y constituye principalmente la producción (medida en términos de valor agregado o producto interno bruto) del sector y rama industrial analizada. El efecto *intensidad* indica el cambio tecnológico, mejora en la eficiencia del uso de la energía, cambio en la composición de productos producidos, cambio de combustibles entre otros factores que influyen en la mejora de la eficiencia energética del sector analizado.

Los términos empleados en la formulación del modelo se definen como:

$I_i^t$  – Intensidad energética de la rama i en el tiempo t.

$S_i^t$  – Estructura, (Valor agregado bruto de la rama i / Valor agregado bruto del sector j en el tiempo t).

$\Delta I_i$  – Cambio en la intensidad energética de la rama i.

$\Delta S_i$  – Cambio en la estructura de la rama i.

$II_{effect}$  – Efecto intensidad de la rama i sobre la intensidad energética del sector industrial.

$IS_{effect}$  – Efecto estructural de la rama i sobre la intensidad energética del sector industrial.

$I_{sector}$  – Contribución del cambio de la rama i al cambio total de la intensidad energética del sector industrial.

El cambio en la intensidad energética se define como:

$$\Delta I = I^t - I^0 \quad (5)$$

Donde:

$$I^t = \sum_i I_i^t S_i^t \quad (6)$$

Para conocer el efecto *intensidad*,

$$II_{effect} = \sum_i S_i^0 \Delta I_i + \frac{1}{2} \sum_i \Delta I_i \Delta S_i \quad (7)$$

Para conocer el efecto *estructural*,

$$IS_{effect} = \sum_i I_i^0 \Delta S_i + \frac{1}{2} \sum_i \Delta S_i \Delta I_i \quad (8)$$

Por lo tanto, para una descomposición completa se tiene que:

$$\Delta I = II_{effect} + IS_{effect} \quad (9)$$

La contribución del cambio de la rama  $i$  al cambio total de la intensidad energética es:

$$I_{sector} = S_i^0 \Delta I_i + I_i^0 \Delta S_i + \Delta I_i \Delta S_i \quad (10)$$

#### 2.4.2.1.1 Sector Industrial Mexicano.

La disponibilidad de datos hace posible llevar a cabo dos tipos de análisis de descomposición mediante la aplicación de la metodología propuesta en Sun (1998), estos son el análisis periódico y el análisis por series de tiempo. El primer análisis utiliza sólo los valores extremos del período examinado para obtener la descomposición completa. El segundo análisis utiliza los valores intermedios para optimizar los resultados finales de la descomposición.

La intensidad energética del SIM mostró una disminución del 26.1% de 1965 a 2003. A nivel sectorial, los resultados de la descomposición completa de la intensidad energética del SIM mostraron que el efecto *intensidad* fue el factor fundamental en el descenso de ésta tanto para el período y para cada etapa. Se considera que el crecimiento de la eficiencia energética en la industria Mexicana es una consecuencia de un esfuerzo conjunto de la política gubernamental y de la industria misma, al dar impulso a desarrollos técnicos y tecnológicos enfocados a la conservación y ahorro de energía. El efecto *estructural* tendió a incrementarla, principalmente en las etapas 1965-1982 y 1982-1994; mientras que en la etapa 1994-2003 se observó una contracción de este efecto, lo cual pudiera ser explicado por una caída de la producción nacional sobre todo de productos de exportación. La tabla 2.16 muestra los resultados a nivel sectorial de la descomposición completa en forma periódica y serie de tiempo para el período y cada etapa analizada. Los resultados mostrados en la tabla 2.16 indican que el método de descomposición periódica tiende a exceder los valores de los efectos señalados (respecto de los valores de descomposición de serie de tiempo), sobre todo cuando el período analizado es bastante largo.

Sector Industrial Mexicano	Período		Etapa					
	1965-2003		1965-1982		1982-1994		1994-2003	
	Período	Serie de tiempo	Período	Serie de tiempo	Período	Serie de tiempo	Período	Serie de tiempo
Intensidad	-92.71	-142.62	-4.16	-1.66	-107.34	-118.05	-24.38	-22.91
Estructura	18.90	68.61	23.85	21.35	42.66	53.37	-4.45	-5.91
Residual	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cambio real intensidad energética	-73.81	-73.81	19.69	19.69	-64.68	-64.68	-28.82	-28.82

Unidades: kg de petróleo equivalente / 1000 US\$ 1993. 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.

Tabla 2.16.

Descomposición completa periódica y serie de tiempo de la intensidad energética de la industria Mexicana.

### 2.4.2.1.2 Ramas de actividad económica industrial.

#### *Etapa de 1965 a 1982.*

En esta etapa, la intensidad energética del SIM creció a razón de 0.4% tmca como resultado de un alto consumo de energía (6.9% tmca) y de una gran producción que se manifestó en la contribución al producto interno bruto industrial (6.5% tmca). El análisis de descomposición completa de la intensidad energética del SIM indicó a nivel sectorial que el efecto *estructural* fue el factor determinante en el incremento de la intensidad energética de la industria Mexicana. Este cometido fue propiciado principalmente por el desarrollo de infraestructura en PEMEX y CFE, aunque también se cuentan la gran gama de obras realizadas a lo largo del territorio nacional, que van desde plantas de la industria automotriz, cemento, mineras, pasteurizadoras, huleras, ensambladoras, ingenios azucareros, etc.<sup>76</sup>. Además, este cambio se exhibe y puede ser mejor explicado al conocer la contribución a nivel rama de actividad industrial donde se señala que, la tendencia del efecto *estructural* fue causado principalmente por el desempeño de las industrias de petroquímica, química y cemento. Así también, se indica la participación de las industrias de azúcar y ‘otras’ industrias como mitigadoras de tal efecto. En general, se advierte que las ramas industriales de uso intensivo de energía se vieron beneficiadas por la disponibilidad de energéticos debido a los descubrimientos de nuevas reservas petroleras, así como de subsidios gubernamentales en vías de satisfacer las necesidades de los diversos sectores de la economía nacional. En el caso de la industria del azúcar, el cambio mostrado puede ser explicado en virtud de la inestabilidad operativa, desorganización imperante en ella e ineficiencia de recursos energéticos y financieros.

En cuanto al efecto *intensidad*, los resultados de descomposición muestran a las industrias de minería y ‘otras’ industrias como las actividades industriales con mayor contribución hacia una mejora en la eficiencia energética. Tales cambios se explican en virtud de la política gubernamental prevaleciente en esta etapa. En el caso de la minería, se debe a la intervención del estado en la diversificación de la producción y regulación de la participación de capital privado, nacional y extranjero, en la explotación de recursos naturales. En lo que respecta a ‘otras’ industrias, el cambio señalado por la descomposición completa, puede ser explicado como consecuencia del impulso dado al establecimiento de industrias manufactureras de exportación en la frontera de México con Estados Unidos, lo que suscitó un aumento de producción y a la vez, una mejora tecnológica de los procesos productivos de este tipo de industria.

Las diferencias entre los métodos de descomposición periódico y de serie de tiempo no afectan significativamente la validez de los resultados obtenidos por uno u otro método; a pesar de que los valores obtenidos con el análisis de descomposición periódica tienden a ser más grandes que los mostrados por la descomposición de serie de tiempo. La tabla 2.17 resume los efectos de *intensidad* y *estructura*, mediante el análisis periódico y serie de tiempo, para cada rama de actividad económica del SIM.

---

<sup>76</sup> Torres M., Ricardo, 2004. Factores macroeconómicos que afectan la producción de la industria de la Construcción en México. Tesis UNAM, Facultad de Ingeniería.

Actividad económica industrial	Factores de descomposición*				Cambio Descomposición*	Cambio real*	Residual
	Análisis periódico		Análisis serie de tiempo				
	Intensidad	Estructura	Intensidad	Estructura			
Azúcar	2.21	-31.21	1.44	-30.44	-29.00	-29.00	0.00
Petroquímica	16.4	36.79	20.07	33.12	53.19	53.19	0.00
Química	0.53	9.83	-0.4	10.76	10.35	10.35	0.00
Cemento	0.31	9.41	0.4	9.31	9.71	9.71	0.00
Siderurgia	0.39	-1.73	-0.11	-1.23	-1.34	-1.34	0.00
Aguas envasadas	-0.13	0.12	-0.11	0.1	-0.01	-0.01	0.00
Aluminio	1.4	-0.21	1.42	-0.24	1.18	1.18	0.00
Automotriz	-0.81	1.69	-0.68	1.56	0.88	0.88	0.00
Celulosa y papel	0.58	0.87	0.64	0.82	1.46	1.46	0.00
Cerveza y malta	-0.27	0.12	-0.25	0.1	-0.14	-0.14	0.00
Construcción	0.94	0.1	0.98	0.06	1.04	1.04	0.00
Fertilizantes	0.04	1.41	0.04	1.41	1.46	1.46	0.00
Hule	-0.14	0.28	-0.19	0.34	0.15	0.15	0.00
Minería	-11.69	3.67	-10.42	2.4	-8.02	-8.02	0.00
Tabaco	0.00	-0.1	0.00	-0.1	-0.1	-0.1	0.00
Vidrio	0.16	1.03	0.29	0.9	1.19	1.19	0.00
'Otras' industrias	-14.09	-8.22	-14.76	-7.54	-22.31	-22.31	0.00
Sector industrial Mexicano	-4.16	23.85	-1.66	21.35	19.69	19.69	0.00

\*Unidades: kg de petróleo equivalente / 1000 US\$ 1993. 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.

Tabla 2.17.

Descomposición completa periódica y serie de tiempo de la intensidad energética por rama de actividad económica de la industria Mexicana, 1965-1982.

### *Etapa de 1982 a 1994.*

La intensidad energética en el SIM decreció a razón de 1.9% tmca durante esta etapa. La contribución del GDP industrial creció moderadamente (2.1% tmca), y el consumo de energía de uso final mostró un cambio mínimo a 0.05% tmca. Los resultados de la descomposición completa de la intensidad energética indicaron que existió una mejora en la eficiencia energética en la industria Mexicana. Los resultados de la descomposición a nivel de rama de actividad económica, así lo indican. La mayor parte de las industrias señalan un efecto *intensidad* negativo, lo cual revela que tales industrias optimizaron su uso de recursos energéticos, ya sea a través de programas de ahorro de energía, o a la implementación de tecnología más eficiente, entre otros factores. Las industrias de petroquímica, siderurgia, vidrio, automotriz, cemento, y 'otras' industrias desempeñaron un papel importante en la disminución de la intensidad energética del sector.

En cuanto al efecto *estructura*, se enfatiza la contribución de la industria petroquímica. Este efecto nos indica que a pesar de la reorganización productiva y la apertura comercial a la que fue sometida, durante la mayor parte de la década de los 80s, la producción de petroquímicos continuó siendo una prioridad para el país, aunque bastante disminuida, respecto de la década de los 70s<sup>77</sup>.

<sup>77</sup> En 1992, la clasificación de productos elaborados sólo por PEMEX quedó establecida en ocho productos petroquímicos básicos, y trece pertenecientes a la petroquímica secundaria.

Cabe destacar que, en el caso de las industrias de siderurgia, vidrio, automotriz, y cemento los resultados de los efectos de descomposición mostraron una influencia predominante del efecto *intensidad* sobre el efecto de *estructura*. Tales atribuciones son explicadas en base a la respuesta del gobierno Mexicano a las crisis económicas de 1982 y 1987. La estrategia gubernamental consistió en la privatización de varias industrias controladas por el Estado debido a la falta de recursos y créditos financieros para mantenerlas e impulsar su desarrollo y competitividad de cara a una mayor apertura comercial del país<sup>78</sup>. Así también, como consecuencia de la privatización de las empresas paraestatales, se impulsaron los programas de transferencia de tecnología, sobre todo en industrias maquiladoras y manufactureras de exportación.

Actividad económica industrial	Factores de descomposición*				Cambio Descomposición*	Cambio real*	Residual
	Análisis periódico		Análisis serie de tiempo				
	Intensidad	Estructura	Intensidad	Estructura			
Azúcar	-6.24	2.9	-6.34	3	-3.34	-3.34	0.00
Petroquímica	-70	26.59	-78.62	35.21	-43.41	-43.41	0.00
Química	-3.47	3.47	-4.09	4.09	0	0	0.00
Cemento	-7.98	5.72	-8.39	6.13	-2.26	-2.26	0.00
Siderurgia	-8.81	3.02	-8.88	3.09	-5.79	-5.79	0.00
Aguas envasadas	0.9	0.12	0.91	0.11	1.02	1.02	0.00
Aluminio	-0.3	0.06	-0.31	0.06	-0.25	-0.25	0.00
Automotriz	-3.34	1.31	-2.77	0.74	-2.03	-2.03	0.00
Celulosa y papel	-1.36	1.48	-1.73	1.86	0.12	0.12	0.00
Cerveza y malta	0.12	0.34	0.05	0.41	0.46	0.46	0.00
Construcción	0.44	-0.2	0.36	-0.13	0.24	0.24	0.00
Fertilizantes	1.11	-1.13	0.97	-0.99	-0.02	-0.02	0.00
Hule	0.1	-0.13	0.13	-0.15	-0.02	-0.02	0.00
Minería	2.36	-1.46	2.52	-1.63	0.9	0.9	0.00
Tabaco	0.01	-0.04	0.01	-0.04	-0.03	-0.03	0.00
Vidrio	-4.51	1.44	-4.81	1.74	-3.07	-3.07	0.00
'Otras' industrias	-6.34	-0.84	-7.05	-0.13	-7.18	-7.18	0.00
Sector industrial Mexicano	-107.34	42.66	-118.05	53.37	-64.68	-64.68	0.00

\*Unidades: kg de petróleo equivalente / 1000 US\$ 1993. 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.

Tabla 2.18.

Descomposición completa periódica y serie de tiempo de la intensidad energética por rama de actividad económica de la industria Mexicana, 1982-1994.

En lo que concierne a la aplicación de los métodos de descomposición periódico y serie de tiempo, éstos muestran mínimas diferencias en los resultados obtenidos, las cuales no afectan la interpretación y validez de los mismos. El método de descomposición periódica muestra valores de descomposición más elevados que el método de descomposición de serie de tiempo en virtud de que el primero no cuenta con información adicional proveniente de los datos intermedios del período analizado. La tabla 2.18 muestra los resultados de la descomposición periódica y serie de tiempo de los efectos de intensidad y estructura para cada rama industrial del SIM.

<sup>78</sup> Las empresas paraestatales registradas, pasaron de 1155 unidades en 1982 a 213 unidades en 1993.

***Etapas de 1994 a 2003.***

Finalmente, en esta tercera etapa, se da paso a la apertura comercial como parte fundamental del proyecto político-económico de desarrollo de México con la entrada en vigor del TLCAN a partir de 1994 y el tratado de libre comercio con la Unión Europea en el 2000, entre varios tratados comerciales firmados en la década de los 90s. La contribución del PIB industrial creció moderadamente a una tmca del 2.6%, mientras que el consumo de energía de uso final creció a una tmca de 1.1%, y la intensidad energética decreció a una tmca-1.4%.

Los resultados de la descomposición de la intensidad energética mostraron una significativa contribución que favoreció su disminución por parte de los dos efectos analizados: *intensidad* y *estructura*. En cuanto al efecto *intensidad*, las industrias de petroquímica, química, siderurgia y celulosa y papel mostraron una contribución tendiente a reducir la intensidad energética, mientras que la rama industrial de ‘otras’ industrias mostró una significativa tendencia a incrementarla. El efecto de *estructura* muestra a la industria de la siderurgia como el factor relevante en este efecto, las demás ramas industriales no presentaron cambios significativos.

En general, los cambios mostrados por los resultados de la descomposición de la intensidad energética, muestran que la influencia del efecto de *estructura* se vio minimizado por la devaluación del tipo de cambio en 1994, aunada a la caída de la demanda de productos de exportación principalmente hacia los Estados Unidos a partir del 2000. Las industrias de exportación como automotriz, cerveza y malta, celulosa y papel y siderurgia mostraron un mejor comportamiento para encarar esta situación. El efecto *intensidad* se consolidó como el motor principal en el abatimiento de la intensidad energética, esto debido a la necesidad, por parte del gobierno a una recuperación rápida de la crisis para encarar con mejor perspectiva la entrada en vigor del TLCAN. Coordinó para ello, una política industrial enfocada a la promoción de productos de alta calidad y alto contenido tecnológico con el objetivo de expandir la base de exportación y estimular el crecimiento económico. Además, se dio prioridad a los programas de ahorro de energía y/o sustitución por combustibles alternativos con el objetivo de mejorar los procesos productivos y de calidad<sup>79</sup>.

En particular, el cambio mostrado por la industria petroquímica obedeció, aparte de la reestructuración del sistema de producción, al incremento de la competitividad a nivel internacional, falta de fondos de inversión, y la contracción internacional de productos petroquímicos, entre otros factores. En el caso de la rama industrial de ‘otras’ industrias, el cambio se explica en razón de un rápido establecimiento de pequeñas y medianas empresas como parte de una estrategia impulsada por el gobierno. La industria de la Maquila incrementó su participación en la actividad económica nacional, pasando de 2,717 unidades establecidas en 1997 a 3,630 unidades en 2001. Asimismo, la Maquila y la manufactura de productos de exportación como por ejemplo, metálicos, maquinaria, químicos, plásticos, eléctricos y de electrónica, farmacéuticos, entre otros, fueron el objetivo principal de los programas para incentivar la inversión extranjera directa.

Las diferencias entre los resultados de la descomposición obtenidos por los dos tipos de análisis son mínimas y no influyen en el significado y validez de los mismos, independientemente del análisis

---

<sup>79</sup> En 2003, de acuerdo al balance nacional de energía, el 76.4% de la industria mexicana contaba con un programa de ahorro o sustitución de energéticos.

aplicado tanto a nivel sectorial como a nivel de rama de actividad industrial. El resumen de los factores de análisis de descomposición periódico y serie de tiempo por rama de actividad industrial se muestra en la tabla 2.19.

Actividad económica industrial	Factores de descomposición*				Cambio Descomposición*	Cambio real*	Residual
	Análisis periódico		Análisis serie de tiempo				
	Intensidad	Estructura	Intensidad	Estructura			
Azúcar	-3.9	0.88	-3.76	0.74	-3.02	-3.02	0.00
Petroquímica	-5.04	-7.1	-3.84	-8.3	-12.14	-12.14	0.00
Química	-6.44	-0.87	-6.09	-1.22	-7.31	-7.31	0.00
Cemento	0.23	-4.1	0.18	-4.05	-3.87	-3.87	0.00
Siderurgia	-12.11	6.61	-12.53	7.03	-5.5	-5.5	0.00
Aguas envasadas	-0.27	0.15	-0.27	0.15	-0.12	-0.12	0.00
Aluminio	-0.22	0.05	-0.23	0.07	-0.16	-0.16	0.00
Automotriz	-0.31	0.46	-0.36	0.5	0.14	0.14	0.00
Celulosa y papel	-4.6	0.4	-4.64	0.44	-4.2	-4.2	0.00
Cerveza y malta	-0.27	0.55	-0.27	0.55	0.28	0.28	0.00
Construcción	0.1	-0.28	0.09	-0.27	-0.18	-0.18	0.00
Fertilizantes	-0.6	-1.7	-0.66	-1.65	-2.3	-2.3	0.00
Hule	0.31	-0.17	0.31	-0.17	0.14	0.14	0.00
Minería	-0.98	-0.44	-0.71	-0.71	-1.43	-1.43	0.00
Tabaco	0	-0.02	0	-0.03	-0.02	-0.02	0.00
Vidrio	-0.88	0.12	-0.94	0.18	-0.76	-0.76	0.00
'Otras' industrias	10.64	1	10.82	0.82	11.64	11.64	0.00
Sector industrial Mexicano	-24.38	-4.45	-22.91	-5.91	-28.82	-28.82	0.00

\*Unidades: kg de petróleo equivalente / 1000 US\$ 1993. 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.

Tabla 2.19.

Descomposición completa periódica y serie de tiempo de la intensidad energética por rama de actividad económica de la industria Mexicana, 1994-2003.

### 2.4.3 Bióxido de carbono.

#### 2.4.3.1 Descomposición usando Laspeyres simple.

El análisis de las tendencias históricas de las emisiones de bióxido de carbono debidas al uso de energía se fundamenta 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. Existen numerosas metodologías que permiten valorar los factores estructurales o de eficiencia energética, y la aplicación de la metodología dependerá de la información disponible para el análisis en particular. Los estudios que emplean el método de Insumo-Producto dificultan las comparaciones internacionales, y en el caso de México, la matriz I-P no se encuentra disponible. Los índices de Laspeyres y Divisia, son ampliamente utilizados dentro el grupo de análisis de descomposición basado en índices (Index Decomposition Analysis, IDA en inglés). La diferencia fundamental entre estos dos indicadores, es que el índice de Laspeyres otorga un peso específico al año base para el cual se está realizando el estudio, manteniendo fijo el factor analizado, mientras se observa la influencia en los demás factores a lo largo del período de estudio. En el caso del índice Divisia, éste no requiere fijar alguno de los factores examinados para llevar a cabo el análisis y



emplea un peso basado en una media aritmética o logarítmica, como lo manifiestan los estudio de Li et al. (1990), Howarth et al. (1991), Ang (1994, 1995a, 1995b), Sun y Malaska (1998) y Ang et al. (2003), entre otros.

La metodología empleada en este apartado es la descomposición del consumo de energía y de la intensidad energética descrita por Schipper et al. (1992) fundamentada en el índice de Laspeyres y también llamada descomposición simple de Laspeyres. De acuerdo con Liu y Ang (2003) fue el método más utilizado por la comunidad científica, hasta mediados de la década de los 90s. En esta metodología, las emisiones de CO<sub>2</sub> en el sector industrial se pueden atribuir a cinco factores:

- *Actividad*, producción medida en términos físicos (ton de acero, ton de cemento, ton de azúcar, etc.), o económicos (valor agregado bruto del grupo industrial);
- *Estructura*, variación porcentual del valor agregado normalizado del grupo industrial;
- *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*.

Así, las emisiones de CO<sub>2</sub> anuales del sector industrial pueden ser descritas por la ecuación 11 como sigue:

$$CO_{2(t0)} = \left[ \sum_j \sum_k G_{(t0)} S_{j(t0)} I_{j(t0)} C_{k(t0)} F_{kj(t0)} \right] \quad (11)$$

donde:  $t0$  – Año base para el análisis;

$G$  – Producto interno bruto del sector industrial (\$USD 1993);

$S_j$  – Producto interno bruto rama j (\$USD 1993)/ Producto interno bruto sector industrial (\$USD 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 CO<sub>2</sub> del combustible k (ton CO<sub>2</sub>/GJ del combustible k) y que se consideró constante para cada combustible de 1965 a 2003 (ver IPCC, 1996).

Al aplicar la metodología de descomposición de Laspeyres simple a la ecuación 11, esta expresará la contribución en las emisiones de CO<sub>2</sub> debido al cambio de consumo de energía, cambio económico, cambio en la intensidad energética, cambio en la mezcla de combustibles de uso final, y el cambio de combustibles para generar electricidad del sector o rama de actividad económica. El método, supone

que sólo uno de los factores varía, mientras que los otros se mantienen constantes. De esta forma, se hace evidente los factores causales en el cambio de CO<sub>2</sub> emitido. Las formulas para calcular los efectos correspondientes a los factores de *actividad* (11a), *estructura* (11b), *intensidad energética* (11c), *mezcla de combustible en la energía de uso final* (11d), y *mezcla de combustibles primarios para la generación de electricidad* (11e) estarán dadas de la siguiente forma:

Para conocer el efecto de la *actividad* (A),

$$\%CO_{2(tf)} = \left[ \sum_j \sum_k G_{(tf)} S_{j(to)} I_{j(to)} C_{k(to)} F_{kj(to)} - CO_{2(to)} \right] / CO_{2(to)} \quad (11a)$$

Para conocer el efecto *estructura* (S),

$$\%CO_{2(tf)} = \left[ \sum_j \sum_k G_{(to)} S_{j(tf)} I_{j(to)} C_{k(to)} F_{kj(tf)} - CO_{2(to)} \right] / CO_{2(to)} \quad (11b)$$

Para conocer el efecto de la *intensidad energética* (I),

$$\%CO_{2(tf)} = \left[ \sum_j \sum_k G_{(to)} S_{j(to)} I_{j(tf)} C_{k(to)} F_{kj(to)} - CO_{2(to)} \right] / CO_{2(to)} \quad (11c)$$

Para conocer el efecto de la *mezcla de combustible de energía de uso final* (F),

$$\%CO_{2(tf)} = \left[ \sum_j \sum_k G_{(to)} S_{j(to)} I_{j(to)} C_{k(to)} F_{kj(tf)} - CO_{2(to)} \right] / CO_{2(to)} \quad (11d)$$

Para conocer el efecto de la *mezcla de combustibles para generar electricidad* (C),

$$\%CO_{2(tf)} = \left[ \sum_j \sum_k G_{(to)} S_{j(to)} I_{j(to)} C'_{k(tf)} F_{kj(to)} - CO_{2(to)} \right] / CO_{2(to)} \quad (11e)$$

Donde: *t0* - Año que permanece constante para el calculo de los efectos respectivos;

$C'_{k(tf)}$  - Coeficiente de emisión de carbono para electricidad.

El Coeficiente de emisión de carbono para electricidad<sup>80</sup> como combustible de uso de energía final no permanece constante a lo largo del tiempo, este se modifica de acuerdo a la cantidad de energía utilizada para generar electricidad en un determinado año, y se calcula de la siguiente forma:

$$C'_{k(tf)} = \sum_i \left( \frac{C_{i,t}}{PE_t} \right) FEC_{i,t} \quad (12)$$

<sup>80</sup> El cálculo de los factores de emisión de carbono para el uso de electricidad como energético de uso final se muestra en el Anexo 3.

Donde:  $C_{i,t}$  – Consumo total del combustible  $i$  empleado para generar electricidad en las plantas generadoras del país en el año  $t$ . (PJ);

$FEC_{i,t}$  – Factor de emisión de carbono del combustible  $i$ , IPCC, 1996. (ton C/PJ);

$PE_t$  – Producción neta de electricidad de todas las plantas del país en el año  $t$ , tomando en cuenta las pérdidas de transmisión y distribución. (PJ).

#### **2.4.3.1.1 Sector Industrial Mexicano.**

Los resultados de descomposición simple de las emisiones de CO<sub>2</sub> en el SIM indicaron que el efecto *actividad* se mantuvo como el factor predominante y decisivo que influyó el aumento de las emisiones de CO<sub>2</sub> a lo largo del período (1965-2003) y en cada etapa (1965-1982, 1982-1994 y 1994-2003). Mientras que, el efecto de *intensidad energética* tendió a minimizar el crecimiento de las emisiones y en mucha menor medida los restantes efectos analizados. La tabla 2.20 muestra el resumen de los efectos de descomposición simple de las emisiones de CO<sub>2</sub> en la industria Mexicana para cada etapa analizada.

En la etapa de 1965 a 1982 se observa una evidente influencia del efecto *estructura* como principal factor causal de las emisiones de CO<sub>2</sub>. También, se indica que, el efecto de la *mezcla combustibles de energía de uso final* contribuyó mínimamente en la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> junto al efecto de *intensidad energética* y *estructura*. Estos resultados señalan que el nivel de las actividades industriales (producción) durante esta etapa se intensificó, y por lo tanto, las emisiones crecieron pródigamente a consecuencia de una política gubernamental enfocada al autoabastecimiento del SIM y de los insumos necesarios para el buen desempeño de los restantes sectores de la economía nacional. De igual forma, el aumento de las actividades de exploración, explotación y producción de petróleo fueron decisivas en el incremento mostrado por el efecto *actividad*. La reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> debido a la *mezcla de combustibles de uso final* puede ser atribuida a un aumento en el consumo de gas natural (14.2%) acompañado con un descenso en el consumo de combustóleo (-14.2%).

En la etapa de 1982 a 1994, se observa que los efectos de *actividad* y *estructura* contribuyeron al incremento de las emisiones de CO<sub>2</sub>, el efecto de *intensidad energética* las mitigó y los restantes efectos de descomposición no mostraron cambios significativos. El cambio en el efecto *actividad* indicó que la producción causó un incremento de la emisión de CO<sub>2</sub> y que el crecimiento económico del sector se conservó pero con ciertos cambios estructurales mostrados a través del efecto *estructura*, el cual también mostró una influencia incremental de las emisiones de CO<sub>2</sub>. El efecto de *intensidad energética* puede ser explicado en relación a la política de privatización del gobierno, en la cual industrias como la petroquímica, cemento, siderurgia, azúcar entre las más grandes industrias fueron abiertas a la inversión privada tanto nacional como extranjera. Así también, la implementación de programas de ahorro de energía tomó importancia en respuesta a la variabilidad de los precios del petróleo en la década de los 80s. En cuanto al efecto de la *mezcla de combustibles para generar electricidad* y el efecto de la *mezcla de combustible de uso final*, los resultados obtenidos no presentan cambios significativos en relación a las emisiones totales de CO<sub>2</sub>, sin embargo, el consumo de

electricidad se empieza a manifestar como una fuente causal de éstas emisiones, sólo detrás de las emisiones producidas por el consumo de combustóleo y gas natural.

Sector Industrial Mexicano		t					
t <sub>0</sub>	Efectos de la descomposición de CO <sub>2</sub>	1982		1994		2003	
		Índice	tmca	Índice	tmca	Índice	tmca
1965	Actividad	1.88	6.42	3.21	5.08	3.98	4.32
	Estructura	-0.02	-0.11	0.12	0.39	0.05	0.14
	Intensidad Energética	-0.03	-0.18	-0.21	-0.81	-0.28	-0.85
	Mezcla de combustibles para generar electricidad	0.06	0.31	0.06	0.21	0.06	0.15
	Mezcla de combustibles energía de uso final	-0.09	-0.55	-0.14	-0.53	-0.22	-0.65
1982	Actividad	----	----	0.54	3.67	0.72	2.60
	Estructura	----	----	0.20	1.56	0.06	0.29
	Intensidad Energética	----	----	-0.30	-2.53	-0.42	-1.97
	Mezcla de combustibles para generar electricidad	----	----	0.01	0.11	0.01	0.04
	Mezcla de combustibles energía de uso final	----	----	0.00	0.04	-0.04	-0.19
1994	Actividad	----	----	----	----	0.24	2.44
	Estructura	----	----	----	----	-0.01	-0.15
	Intensidad Energética	----	----	----	----	-0.18	-1.31
	Mezcla de combustibles para generar electricidad	----	----	----	----	-0.01	-0.09
	Mezcla de combustibles energía de uso final	----	----	----	----	-0.04	-0.46

t<sub>0</sub> – tiempo período año base, t – tiempo período año final. 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.

Tabla 2.20.  
Índices de descomposición simple de las emisiones de CO<sub>2</sub> de la industria Mexicana.

La etapa de 1994 a 2003 muestra los efectos de *actividad* e *intensidad energética* como los factores determinantes en el desarrollo de las emisiones de CO<sub>2</sub>, los restantes efectos de descomposición no indicaron cambios significativos. El efecto *actividad* continuó siendo el factor relevante en el incremento de las emisiones de CO<sub>2</sub> a pesar de la crisis económica debida a la devaluación del tipo de cambio en 1994 y la contracción económica de los Estados Unidos a partir del 2000. La influencia del TLCAN y los múltiples tratados comerciales a nivel internacional, además de la orientación exportadora de la industria Mexicana mantuvo un crecimiento moderado de la producción nacional. Asimismo, la apertura de México al comercio internacional influyó la implementación de programas de ahorro de energía, sistemas de calidad, entrenamiento de recursos humanos, etc., con el objetivo de reducir costos de producción y enfrentar la competitividad de los mercados internacionales, esto se reflejó en la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> como lo refiere el efecto de *intensidad energética*. Aunque el análisis de descomposición no muestra cambios significativos en los efectos correspondientes a la *mezcla de combustibles para generar electricidad* y la *mezcla combustibles de energía de uso final*, es notable que el consumo de electricidad se incrementó en 9.8% a la vez que el consumo de combustóleo disminuyó en 8.4% por lo que las emisiones de CO<sub>2</sub> debidas al consumo de electricidad constituyeron el 32.2% del total emitido en 2003, sólo detrás de las emisiones producto del consumo de gas natural (36.6%).

### 2.4.3.1.2 Ramas de actividad económica industrial.

#### *Etapas de 1965 a 1982.*

Como se mencionó en la sección anterior, la descomposición simple mostró que el crecimiento de las emisiones de CO<sub>2</sub> se fundamentó principalmente en el efecto *actividad*. A nivel rama de actividad industrial, las dieciséis industrias analizadas mostraron valores positivos<sup>81</sup>. La industria petroquímica incrementó sus emisiones de CO<sub>2</sub> en poco más de 1300%, seguido de las actividades industriales de fertilizantes (471%), automotriz (403%), química (362%) y cemento (359%); siendo las industrias que mostraron el mayor cambio incremental. Los resultados de descomposición simple de las emisiones de CO<sub>2</sub> indican que la actividad industrial se enfocó en industrias intensivas de energía, siendo las relacionadas con la industria petrolera las de mayor dinamismo como es el caso de las industrias petroquímica y fertilizantes.

En lo que respecta al efecto de *estructura*, la descomposición señaló a las industrias: petroquímica (384%), fertilizantes (94%), automotriz (71%), química (57%) y cemento (56%) como las principales influencias en el incremento de las emisiones de CO<sub>2</sub>. A su vez, la rama del azúcar (-54%), tabaco (-46%), aluminio (-16%) y siderurgia (-4%) disminuyeron las emisiones en la etapa considerada. También, se hace ostensible que el incremento de las emisiones de CO<sub>2</sub> debidos al efecto de *estructura*, se manifiesta en las mismas industrias donde actúa el efecto de la *actividad*, lo cual señala cierta correspondencia entre ambos efectos.

En cuanto al efecto de *intensidad energética* se destaca la participación de las ramas industriales de la construcción (314%), petroquímica (83%) y Aluminio (38%) como las industrias de mayor impacto en la emisión de CO<sub>2</sub>; teniendo en sentido opuesto a las industrias de minería (-54%), automotriz (-22%), y hule (-14%) como las industrias que disminuyeron tales emisiones. La rama industrial de la construcción creció rápidamente en virtud de las necesidades de desarrollo de infraestructura en diferentes niveles sectoriales como consecuencia del descubrimiento de nuevos yacimientos petroleros. Los efectos de la *mezcla de combustibles para generar electricidad* y de la *mezcla de combustibles de energía de uso final* no presentaron cambios significativos en comparación con los efectos producidos por la *actividad, estructura e intensidad energética* de las emisiones de CO<sub>2</sub>.

En general, los resultados de la descomposición simple de las emisiones de CO<sub>2</sub> pueden explicarse como resultado de las concesiones otorgadas por el gobierno de México a las industrias consideradas como motor del crecimiento económico nacional. El gobierno Mexicano privilegió el crecimiento de algunas industrias en base a subsidios y política pública con el objetivo de satisfacer la demanda doméstica; para ello, las industrias incrementaron su capacidad instalada como en el caso de las industrias del cemento, química, petroquímica, aluminio y automotriz. El mayor impacto, de los efectos *actividad y estructura* se observa claramente en la industria petroquímica, la cual fue la industria que prosperó pródigamente en esta etapa en razón del auge de los descubrimientos petroleros y aunados al compromiso del gobierno con el abastecimiento de productos derivados del petróleo que satisficieran las necesidades del naciente sector industrial Mexicano. Así también, la necesidad de abastecer la gran demanda de insumos para impulsar, y desarrollar el campo mexicano como parte de

---

<sup>81</sup> Un valor positivo de los efectos de descomposición indica un cambio incremental, en este caso de las emisiones de CO<sub>2</sub>; por el contrario, un valor negativo indica la disminución de tales emisiones.

una política gubernamental. La figura 2.14 muestra el comportamiento de los efectos de la descomposición simple de CO<sub>2</sub> en la industria Mexicana por rama de actividad económica para la etapa de 1965 a 1982.

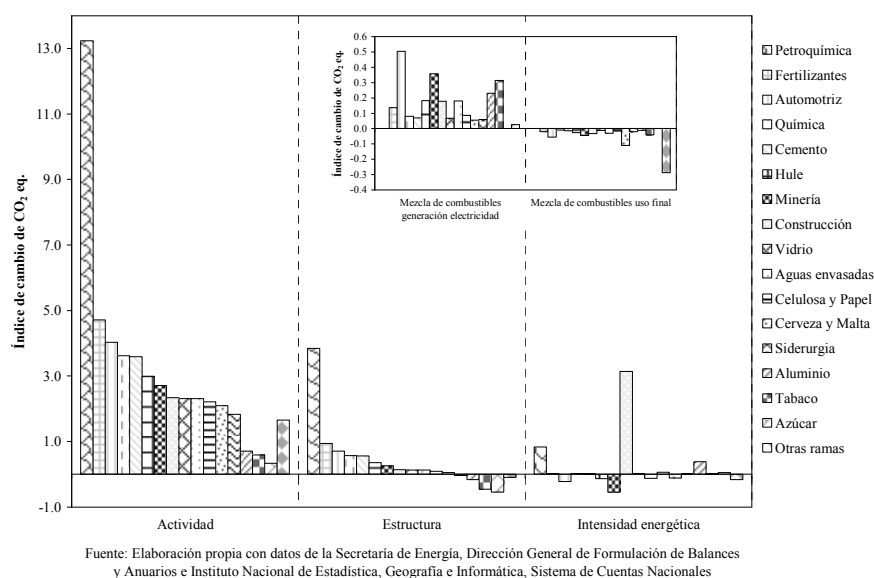


Figura 2.14.

Descomposición simple de las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas al consumo de energía de uso final en la industria Mexicana, 1965-1982.

### ***Etapa de 1982 a 1994.***

En esta etapa se aprecian las consecuencias de la variabilidad de los precios del petrolero y las consecuencias de las crisis económicas de 1982, 1986 y 1989 que ocasionaron una disminución de las actividades industriales. La apertura a la participación de capital privado, nacional y extranjero, en algunas industrias pertenecientes al Estado, como en el caso de las industrias petroquímica, minería, fertilizantes, siderurgia, y azúcar entre otras; así como la modernización y orientación exportadora de industrias tales como cemento, vidrio, minería y automotriz son ejemplos significativos del desenvolvimiento e impacto del cambio estructural del modelo económico industrial que influyó el comportamiento de las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Los resultados de descomposición simple para esta etapa indicaron que el efecto *actividad* junto con el efecto de *estructura* fueron decisivos en el incremento de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Las industrias de petroquímica (126%), automotriz (103%), cemento (60%) y vidrio (54%) fueron señaladas como las más activas respecto al efecto *actividad*. Mientras que, el efecto de estructura mostró a las ramas industriales de petroquímica (77%), automotriz (58%), cemento (25%) y vidrio (20%). El cambio indicado en la petroquímica, respecto de la etapa anterior, es de consideración. A pesar de que la actividad de la industria petroquímica disminuyó por una reestructuración productiva, que la disminución en la oferta bruta de productos petroquímicos producidos por PEMEX provocó una regresión importante en la participación del mercado interno y en el volumen de ventas de productos finales a partir de 1990; el descubrimiento de dos nuevos campos de alta productividad localizados en

altamar, a 50 kilómetros de Villahermosa, Tabasco en 1986, y doce nuevos yacimientos en 1990 permitieron incorporar volúmenes adicionales de reservas, los cuales fueron factores importantes para mantener el nivel de la producción durante la década de los 80s<sup>82, 83</sup>. El cambio estructural en la industria petroquímica y otras industrias significativas de la economía nacional se da a partir de la adhesión de México al GATT en 1986. La industria en general se enfrentó a presiones de mercado, lo cual ocasionó que el Gobierno Federal se viera obligado a reestructurar la industria, dando los primeros pasos para la desincorporación de las industrias paraestatales, e iniciar el camino hacia un modelo económico de libre mercado con base en una estructura industrial de exportación. En el caso de la industria petroquímica, la mayoría de los llamados petroquímicos básicos fueron reclasificados, y abiertos a la iniciativa privada en 1989, bajo el argumentando de que tal clasificación se hacía con el fin de que la inversión pública, ya escasa para entonces, se complementara con la de las empresas privadas.

En el caso del efecto de *intensidad energética*, las industrias de aguas envasadas (86%), fertilizantes (45%), y construcción (35%) mostraron su incremento de la generación de emisiones de CO<sub>2</sub>, mientras que las ramas industriales de petroquímica (-84%), automotriz (-73%) y vidrio (-44%) disminuyeron las emisiones de CO<sub>2</sub> respecto de este efecto. Las industrias que incrementaron sus emisiones de CO<sub>2</sub> en cuanto a este efecto fue debido al incremento de su consumo de energía de uso final en esta etapa, que fue motivado por una ampliación de la producción y demanda de los productos proveniente de estas industrias. La industria de aguas envasadas aumentó su demanda energética final en 157.5%, la de fertilizantes en 51.0% y la de construcción en 27.2%. En cuanto a las ramas que disminuyeron las emisiones de CO<sub>2</sub> se puede decir que la industria petroquímica, como ya se ha explicado previamente, su disminución fue el resultado de profundos cambios estructurales. En el caso de las industrias: automotriz y vidrio, al ser industrias con orientación exportadora, incrementaron su valor agregado en razón de implementación de programas de ahorro de energía y reestructuración tecnológica en esta etapa.

En referencia a la *mezcla de combustibles para generar electricidad* no existen cambios relevantes en la mayoría de las ramas analizadas, sólo las ramas del aluminio (9%), automotriz (5%), minería (4%) y tabaco (4%) mostraron un cambio significativo en las emisiones totales de CO<sub>2</sub> del SIM. La *mezcla de combustibles de energía de uso final* indicó a las ramas industriales de fertilizantes (13%), hule (5%) y aluminio (4%) como las más activas en el incremento de las emisiones de CO<sub>2</sub>, por el contrario, se tiene que las ramas de la cerveza y malta (-9%), aguas envasadas (-5%) y celulosa y papel (-4%) disminuyeron su emisión de CO<sub>2</sub>. La figura 2.15 muestra el comportamiento de los efectos de la descomposición simple de CO<sub>2</sub> por rama de actividad económica en esta etapa.

---

<sup>82</sup> La Industria de Refinación de Petróleo e Industria Petroquímica, Situación Actual y Perspectivas, 2005. Intervención de Ing. Rafael Beverido Lomelín. II Congreso Nacional Academia de Ingeniería, Mesa redonda desarrollo industrial Química, Petroquímica y Refinación.

<sup>83</sup> Evolución y perspectiva del Sector Energético en México, 1970-2000, 2001. Centro de Estudios de las Finanzas Públicas. H. Congreso de la Unión, Cámara de Diputados. CEFP/051/2000.

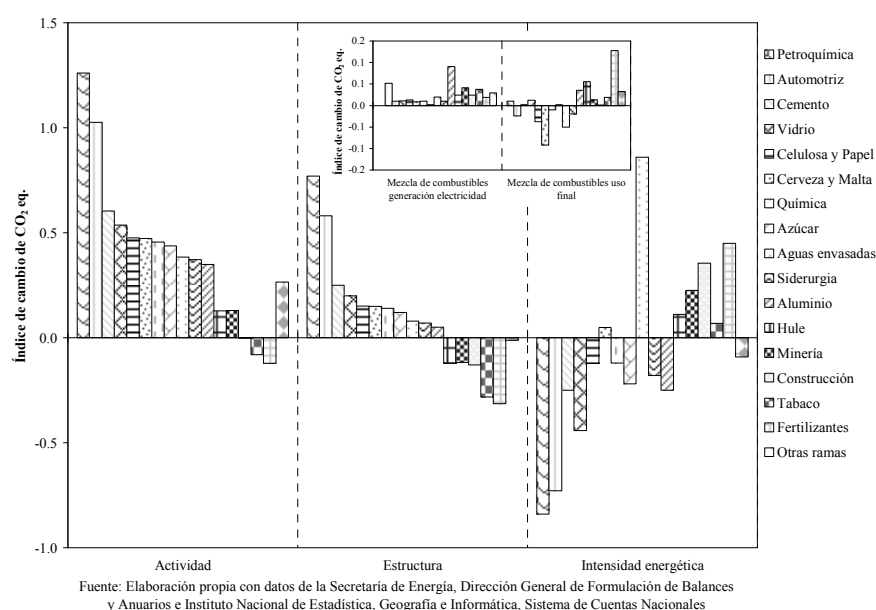


Figura 2.15.

Descomposición simple de las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas al consumo de energía de uso final en la industria Mexicana, 1982-1994.

### ***Etapa de 1994 a 2003.***

Los resultados de descomposición simple a nivel sectorial ponen de manifiesto la importancia de dos efectos en particular: el efecto de *actividad* y el efecto de *intensidad energética*. En cuanto al primero, se observa que su influencia aumenta la cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub>, y en el segundo, se advierte que este tiende a minimizarlas. A nivel rama de actividad económica, el efecto *actividad* distingue a las industrias automotriz (68%), cerveza y malta (53%), siderurgia (49%), aguas envasadas (36%) y aluminio (34%) como características en esta etapa. En cuanto al efecto de *intensidad energética*, las industrias de celulosa y papel (-43%), petroquímica (-42%), fertilizantes (-32%), siderurgia (-27%) y química (-24%) representan las actividades industriales que tienden a la reducción de las emisiones. El efecto de *estructura* indica que las ramas industriales que produjeron un aumento en las emisiones de CO<sub>2</sub> fueron automotriz (33%), cerveza y malta (22%) y siderurgia (18%), mientras que las industrias que las disminuyeron fueron fertilizantes (-69%), petroquímica (-54%) y tabaco (-24%). La *mezcla de combustibles para generar electricidad* no presentó cambios significativos para esta etapa. El efecto de la *mezcla de combustibles de uso de energía final* muestra cambios relevantes en las ramas de fertilizantes (-10%), química (-8%), cemento (-4%) y 'otras' industrias (-8%) en la emisión de CO<sub>2</sub>. La figura 2.16 muestra los resultados de descomposición simple de las emisiones de CO<sub>2</sub> en la industria Mexicana por rama de actividad económica en esta etapa.



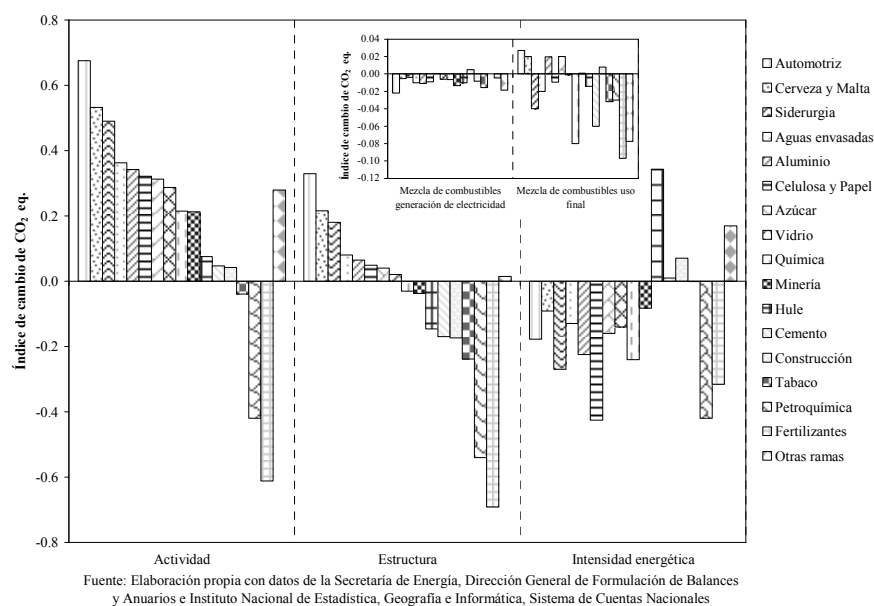


Figura 2.16.

Descomposición simple de las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas al consumo de energía de uso final en la industria mexicana, 1994-2003.

Los resultados de descomposición en cuanto a los efectos de *actividad*, *estructura* e *intensidad energética* en la emisión de CO<sub>2</sub> pueden ser explicados en cuanto a las siguientes situaciones particulares: en el caso de la industria automotriz, su incremento en la producción de CO<sub>2</sub> se debió a un incremento del volumen de ventas hacia el mercado externo, esta situación se fundamentó en las políticas hacia una economía progresivamente más abierta en el contexto del TLCAN. Además, la incorporación de México en la reestructuración de la industria automotriz continental se hizo evidente con la duplicación de la capacidad productiva al alcanzar un promedio de 30 mil millones de dólares de exportaciones automotrices anuales. Por su parte, la industria de la cerveza y malta, industria altamente exportadora, generó casi mil millones de dólares anuales, del cual el 21% de las divisas generadas se obtuvieron a través de las ventas al exterior<sup>84</sup>. La industria siderúrgica alcanzó a exportar su producción a 102 países, mientras que realizó importaciones de 92. Desde 1990, dadas las exigencias de la globalización de mercados y de la privatización del sector siderúrgico mexicano (noviembre de 1991) hasta 1998, ésta registró inversiones por 7 mil 402 millones de dólares para fortalecer y modernizar la estructura productiva, orientándose hacia la consolidación de la capacidad competitiva<sup>85</sup>. Por lo que se refiere a la industria de aguas envasadas, el consumo de agua embotellada creció a un ritmo constante, siendo la actividad industrial más dinámica de toda la industria de alimentos y bebidas, nuestro país ocupa el segundo lugar como consumidor neto de agua envasada a nivel mundial después de Estados Unidos y el mismo lugar en términos del consumo per cápita a nivel mundial con 164 litros por año,

<sup>84</sup> Rita Schwentesius Rindermann, Jorge Aguilar Ávila, Manuel Angel Gómez Cruz, 2004. La Cadena Agroindustrial de Cebada-Malta-Cerveza. Propuesta para la renegociación del TLCAN y política de fomento para su reconstrucción. 2ª. Edición CIESTAAM y la Jornada, México.

<sup>85</sup> Perfil de la Industria Siderúrgica Mexicana, Noviembre de 2005. CANACERO.

solo superado por Italia. Se estima que en México existen más de tres mil marcas de agua envasada, cuatro de ellas controlando el 34 por ciento del mercado nacional donde se comercializaron en 2003 del orden de 16 mil millones de litros. Entre el 80 y 90% de esta cifra se comercializa en los llamados “garrafrones” de 19 litros y el resto en botellas de plástico de menor volumen<sup>86</sup>.

Además, se aprecian grandes cambios en la disminución de CO<sub>2</sub> por parte de las industrias de fertilizantes y petroquímica. La caída en la rama industrial de fertilizantes puede ser explicado como consecuencia de la venta a la iniciativa privada del sistema de producción y distribución de fertilizantes a principios de la década de 1990. El cambio más notorio y substancial es el observado en la industria petroquímica, la cual presenta significantes disminuciones en sus emisiones de CO<sub>2</sub> en los tres efectos: *actividad, estructura e intensidad energética*. Tal cambio es explicado por la disminución en su capacidad de producción, que en 1995 fue de 16.5 millones de toneladas, pero en 2005 fue de solo 12.5 millones de toneladas. La reducción en su capacidad productiva se debe en primera instancia al cierre de algunas de sus instalaciones (Reynosa, Camargo, Pajaritos, Escolín, Cosoleacaque y Cangrejera) a causa de baja productividad, problemas de seguridad e incidentes destructivos (como en el caso de la planta de Polietileno de Alta densidad de Escolín), así como también debido principalmente a la insuficiencia en el abasto y los altos precios aplicados a las materias primas (política de precios) como metano, etano, y gasolinas (para reformar) produciéndose como resultado la pérdida de competitividad y efectos negativos en el desempeño económico y competitivo de un número importante de cadenas productivas<sup>87</sup>.

Lo expuesto anteriormente se encuentra estrechamente relacionado con la firma y entrada en vigor de los acuerdos de libre comercio con otros países, principalmente el TLCAN. Debido a tal política gubernamental, la industria Mexicana se enfrentó a una creciente e intensa competencia del exterior en el mercado interno, muchos de los clientes nacionales se dedicaron a importar productos terminados o semi-terminados forzando a la industria nacional a buscar mercados de exportación. Adicionalmente, el desempeño del comercio exterior de productos intermedios se vio afectado por la entrada de importaciones a precios dumping (discriminación de precios), afectando en mayor medida a las empresas privadas nacionales<sup>88</sup>.

#### **2.4.3.2 Descomposición completa usando Laspeyres modificado.**

La ecuación general, de la cual partimos para realizar la descomposición completa, es la mostrada previamente en la sección 2.4.3.1 correspondiente a la metodología de descomposición simple (ecuación 11). El desarrollo de la ecuación 11 para cuantificar la contribución de los efectos de descomposición completa de los factores de *actividad* (13), *estructura* (14), *intensidad energética* (15), *mezcla de combustible en la energía de uso final* (16) y *mezcla de combustibles primarios para la*

<sup>86</sup> Miguel G. Breceda Lapeyre, 2004. Agua y Energía en la Ciudad de México (Visión en 2004). Seminario Internacional del Agua ¿Bien privado o bien común?, Universidad de la Ciudad de México.

<sup>87</sup> La Industria de Refinación de Petróleo e Industria Petroquímica, Situación Actual y Perspectivas, 2005. Intervención de Ing. Fernando Manzanilla Sevilla. II Congreso Nacional Academia de Ingeniería, Mesa redonda desarrollo industrial Química, Petroquímica y Refinación. Academia de Ingeniería.

<sup>88</sup> Evolución y perspectiva del Sector Energético en México, 1970-2000, 2001. Centro de Estudios de las Finanzas Públicas. H. Congreso de la Unión, Cámara de Diputados. CEF/051/2000.

generación de electricidad (17) mediante la aplicación de la teoría expuesta por Sun (1998) se expresan de la siguiente forma:

Para calcular la contribución del efecto de *actividad* (G):

$$\begin{aligned}
 CO_2 (G_{effect}) = & \sum_j \sum_k (\Delta G \times S_j^0 \times I_j^0 \times C_k^0 \times F_{kj}^0) \\
 & + \frac{1}{2} \sum_j \sum_k \left[ (\Delta G) \times \left( (\Delta S_j \times I_j^0 \times C_k^0 \times F_{kj}^0) + (\Delta I_j \times S_j^0 \times C_k^0 \times F_{kj}^0) + (\Delta C_k \times S_j^0 \times I_j^0 \times F_{kj}^0) + (\Delta F_{kj} \times S_j^0 \times I_j^0 \times C_k^0) \right) \right] \\
 & + \frac{1}{3} \sum_j \sum_k \left[ \Delta G \times \left( \left\{ (\Delta S_j) \times \left( (\Delta I_j \times C_k^0 \times F_{kj}^0) + (\Delta C_k \times I_j^0 \times F_{kj}^0) + (\Delta F_{kj} \times I_j^0 \times C_k^0) \right\} \right. \right. \right. \\
 & \left. \left. \left. + \left\{ (\Delta I_j) \times \left( (\Delta C_k \times S_j^0 \times F_{kj}^0) + (\Delta F_{kj} \times S_j^0 \times C_k^0) \right) \right\} + \left\{ \Delta C_k \times \Delta F_{kj} \times S_j^0 \times I_j^0 \right\} \right) \right] \quad (13) \\
 & + \frac{1}{4} \sum_j \sum_k \left[ \Delta G \times \left\{ (\Delta S_j \times \Delta I_j) \times (\Delta C_k \times F_{kj}^0 + \Delta F_{kj} \times C_j^0) + ((\Delta C_k \times \Delta F_{kj}) \times (\Delta S_j \times I_j^0 + \Delta I_j \times S_j^0)) \right\} \right] + \\
 & + \frac{1}{5} \sum_j \sum_k (\Delta G \times \Delta S_j \times \Delta I_j \times \Delta C_k \times \Delta F_{kj})
 \end{aligned}$$

Para calcular la contribución del efecto de *estructura* (S):

$$\begin{aligned}
 CO_2 (S_{effect}) = & \sum_j \sum_k (\Delta S \times G^0 \times I_j^0 \times C_k^0 \times F_{kj}^0) \\
 & + \frac{1}{2} \sum_j \sum_k \left[ (\Delta S_j) \times \left( (\Delta G \times I_j^0 \times C_k^0 \times F_{kj}^0) + (\Delta I_j \times G^0 \times C_k^0 \times F_{kj}^0) + (\Delta C_k \times G^0 \times I_j^0 \times F_{kj}^0) + (\Delta F_{kj} \times G^0 \times I_j^0 \times C_k^0) \right) \right] \\
 & + \frac{1}{3} \sum_j \sum_k \left[ (\Delta S_j) \times \left( \left\{ (\Delta G) \times \left( (\Delta I_j \times C_k^0 \times F_{kj}^0) + (\Delta C_k \times I_j^0 \times F_{kj}^0) + (\Delta F_{kj} \times I_j^0 \times C_k^0) \right\} \right. \right. \right. \\
 & \left. \left. \left. + \left\{ (\Delta I_j) \times \left( (\Delta C_k \times G^0 \times F_{kj}^0) + (\Delta F_{kj} \times G^0 \times C_k^0) \right) \right\} + \left\{ \Delta C_k \times \Delta F_{kj} \times G^0 \times I_j^0 \right\} \right) \right] \quad (14) \\
 & + \frac{1}{4} \sum_j \sum_k \left[ (\Delta S_j) \times \left\{ (\Delta G \times \Delta I_j) \times (\Delta C_k \times F_{kj}^0 + \Delta F_{kj} \times C_j^0) + ((\Delta C_k \times \Delta F_{kj}) \times ((\Delta G_j \times I_j^0) + (\Delta I_j \times G^0))) \right\} \right] + \\
 & + \frac{1}{5} \sum_j \sum_k (\Delta S_j \times \Delta G \times \Delta I_j \times \Delta C_k \times \Delta F_{kj})
 \end{aligned}$$

Para calcular la contribución del efecto de *intensidad energética* (I):

$$\begin{aligned}
 CO_2 (I_{effect}) = & \sum_j \sum_k (\Delta I \times G^0 \times I_j^0 \times C_k^0 \times F_{kj}^0) \\
 & + \frac{1}{2} \sum_j \sum_k \left[ (\Delta I_j) \times \left( (\Delta G \times S_j^0 \times C_k^0 \times F_{kj}^0) + (\Delta S_j \times G^0 \times C_k^0 \times F_{kj}^0) + (\Delta C_k \times G^0 \times S_j^0 \times F_{kj}^0) + (\Delta F_{kj} \times G^0 \times S_j^0 \times C_k^0) \right) \right] \\
 & + \frac{1}{3} \sum_j \sum_k \left[ (\Delta I_j) \times \left( \left\{ (\Delta G) \times \left( (\Delta S_j \times C_k^0 \times F_{kj}^0) + (\Delta C_k \times S_j^0 \times F_{kj}^0) + (\Delta F_{kj} \times S_j^0 \times C_k^0) \right\} \right. \right. \right. \\
 & \left. \left. \left. + \left\{ (\Delta S_j) \times \left( (\Delta C_k \times G^0 \times F_{kj}^0) + (\Delta F_{kj} \times G^0 \times C_k^0) \right) \right\} + \left\{ \Delta C_k \times \Delta F_{kj} \times G^0 \times S_j^0 \right\} \right) \right] \quad (15) \\
 & + \frac{1}{4} \sum_j \sum_k \left[ (\Delta I_j) \times \left\{ (\Delta G \times \Delta S_j) \times (\Delta C_k \times F_{kj}^0 + \Delta F_{kj} \times C_j^0) + ((\Delta C_k \times \Delta F_{kj}) \times ((\Delta G_j \times S_j^0) + (\Delta S_j \times G^0))) \right\} \right] + \\
 & + \frac{1}{5} \sum_j \sum_k (\Delta I_j \times \Delta G \times \Delta S_j \times \Delta C_k \times \Delta F_{kj})
 \end{aligned}$$

Para calcular la contribución del efecto de *mezcla de combustible de energía de uso final* (F):

$$\begin{aligned}
CO_2 (F_{\text{effect}}) &= \sum_j \sum_k (\Delta F_{kj} \times G^0 \times S_j^0 \times I_j^0 \times C_k^0) \\
&+ \frac{1}{2} \sum_j \sum_k \left[ (\Delta F_{kj}) \times \left( (\Delta G \times S_j^0 \times I_j^0 \times C_k^0) + (\Delta S_j \times G^0 \times I_j^0 \times C_k^0) + (\Delta I_j \times G^0 \times S_j^0 \times C_k^0) + (\Delta C_{kj} \times G^0 \times S_j^0 \times I_j^0) \right) \right] \\
&+ \frac{1}{3} \sum_j \sum_k \left[ \Delta F_{kj} \times \left( \left\{ (\Delta G) \times \left( (\Delta I_j \times C_k^0 \times S_j^0) + (\Delta C_k \times I_j^0 \times G^0) + (\Delta G \times I_j^0 \times C_k^0) \right\} \right. \right. \right. \\
&\quad \left. \left. \left. + \left\{ (\Delta I_j) \times \left( (\Delta C_k \times S_j^0 \times G^0) + (\Delta G \times S_j^0 \times C_k^0) \right) \right\} + \left\{ \Delta C_k \times \Delta G \times S_j^0 \times I_j^0 \right\} \right) \right] \quad (16) \\
&+ \frac{1}{4} \sum_j \sum_k \left[ \Delta F_{kj} \times \left\{ (\Delta S_j \times \Delta I_j) \times (\Delta C_k \times G^0 + \Delta G \times C_k^0) + (\Delta C_k \times \Delta G) \times (\Delta S_j \times I_j^0 + \Delta I_j \times S_j^0) \right\} \right] + \\
&+ \frac{1}{5} \sum_j \sum_k (\Delta F_{kj} \times \Delta S_j \times \Delta I_j \times \Delta C_k \times \Delta G).
\end{aligned}$$

Para calcular la contribución del efecto de *mezcla de combustibles primarios para la generación de electricidad* (C):

$$\begin{aligned}
CO_2 (C_{\text{effect}}) &= \sum_j \sum_k (\Delta C_k \times S_j^0 \times I_j^0 \times G^0 \times F_{kj}^0) \\
&+ \frac{1}{2} \sum_j \sum_k \left[ (\Delta C_k) \times \left( (\Delta S_j \times I_j^0 \times F_{kj}^0 \times G^0) + (\Delta I_j \times S_j^0 \times G^0 \times F_{kj}^0) + (\Delta G \times S_j^0 \times I_j^0 \times F_{kj}^0) + (\Delta F_{kj} \times S_j^0 \times I_j^0 \times G^0) \right) \right] \\
&+ \frac{1}{3} \sum_j \sum_k \left[ \Delta C_k \times \left( \left\{ (\Delta S_j) \times \left( (\Delta I_j \times G^0 \times F_{kj}^0) + (\Delta G \times I_j^0 \times F_{kj}^0) + (\Delta F_{kj} \times I_j^0 \times G^0) \right\} \right. \right. \right. \\
&\quad \left. \left. \left. + \left\{ (\Delta I_j) \times \left( (\Delta G \times S_j^0 \times F_{kj}^0) + (\Delta F_{kj} \times S_j^0 \times G^0) \right) \right\} + \left\{ \Delta G \times \Delta F_{kj} \times S_j^0 \times I_j^0 \right\} \right) \right] \quad (17) \\
&+ \frac{1}{4} \sum_j \sum_k \left[ \Delta C_k \times \left\{ (\Delta S_j \times \Delta I_j) \times (\Delta G \times F_{kj}^0 + \Delta F_{kj} \times G_j^0) + (\Delta G \times \Delta F_{kj}) \times (\Delta S_j \times I_j^0 + \Delta I_j \times S_j^0) \right\} \right] + \\
&+ \frac{1}{5} \sum_j \sum_k (\Delta C_k \times \Delta S_j \times \Delta I_j \times \Delta G \times \Delta F_{kj}).
\end{aligned}$$

#### 2.4.3.2.1 Sector Industrial Mexicano.

Los resultados de la descomposición completa basada en el índice de Laspeyres nos muestran que el factor determinante que influyó en el incremento en las emisiones de CO<sub>2</sub> en la industria Mexicana, durante el período de 1965 a 2003, fue el efecto de *actividad*, el cual aumento sus emisiones en más de 130% en el período. El efecto de la *mezcla de combustibles para generar electricidad* y el efecto de *estructura*, también mostraron una tendencia incremental, sin embargo no tan significativa como la indicada por el efecto *actividad*. El efecto de *intensidad energética* se manifestó como el principal factor que tendió a mitigar las emisiones de CO<sub>2</sub>, así como en menor medida el efecto de *mezcla de combustibles de uso final*. La tabla 2.21 resume los resultados de la descomposición completa en términos del análisis periódico y serie de tiempo para el período y etapas que comprende el estudio. Adicionalmente, se muestra el comportamiento de las emisiones de CO<sub>2</sub> para las etapas de 1965 a 1994, y de 1982 a 2003.

Cambios de descomposición de emisiones de CO<sub>2</sub> en el sector industrial Mexicano por

Año t0	Año t	Efectos de descomposición	1982		1994		2003	
			Periódico	Serie de tiempo	Periódico	Serie de tiempo	Periódico	Serie de tiempo
			Mton CO <sub>2</sub> , (%)	Mton CO <sub>2</sub> , (%)	Mton CO <sub>2</sub> , (%)	Mton CO <sub>2</sub> , (%)	Mton CO <sub>2</sub> , (%)	Mton CO <sub>2</sub> , (%)
1965	Actividad ( $\Delta G_G$ )	37.34 (89.08)	38.60 (92.06)	49.73 (111.15)	54.50 (121.80)	60.84 (130.90)	71.15 (153.06)	
	Estructura ( $\Delta S_S$ )	5.99 (14.29)	4.81 (11.47)	8.33 (18.61)	14.41 (32.21)	6.50 (13.98)	11.81 (25.40)	
	Intensidad energética ( $\Delta I_I$ )	-0.70 (-1.67)	-0.45 (-1.06)	-13.94 (-31.16)	-24.79 (-55.41)	-18.11 (-38.96)	-32.20 (-69.28)	
	Mezcla de combustibles para generar electricidad ( $\Delta C_C$ )	1.07 (2.54)	0.85 (2.03)	2.51 (5.61)	1.97 (4.40)	3.24 (6.96)	1.66 (3.57)	
	Mezcla de combustibles de uso final ( $\Delta F_F$ )	-1.78 (-4.24)	-1.89 (-4.50)	-1.89 (-4.22)	-1.34 (-3.00)	-5.99 (-12.88)	-5.93 (-12.75)	
	Cambio total de emisiones de CO <sub>2</sub> ( $\Delta CO_2$ )	41.92 (100.00)	41.92 (100.00)	44.74 (100.00)	44.74 (100.00)	46.48 (100.00)	46.48 (100.00)	
1982	Actividad ( $\Delta G_G$ )	----	----	15.87 (563.30)	15.90 (564.29)	30.97 (679.36)	32.55 (714.01)	
	Estructura ( $\Delta S_S$ )	----	----	9.44 (335.03)	9.60 (340.71)	3.39 (74.41)	7.00 (153.49)	
	Intensidad energética ( $\Delta I_I$ )	----	----	-24.14 (-856.58)	-24.34 (-863.98)	-27.14 (-595.30)	-31.76 (-696.66)	
	Mezcla de combustibles para generar electricidad ( $\Delta C_C$ )	----	----	1.19 (42.37)	1.12 (39.62)	1.00 (21.90)	0.81 (17.75)	
	Mezcla de combustibles de uso final ( $\Delta F_F$ )	----	----	0.45 (15.89)	0.55 (19.36)	-3.66 (-80.37)	-4.04 (-88.59)	
	Cambio total de emisiones de CO <sub>2</sub> ( $\Delta CO_2$ )	----	----	2.82 (100.00)	2.82 (100.00)	4.56 (100.00)	4.56 (100.00)	
1994	Actividad ( $\Delta G_G$ )	----	----	----	----	14.94 (858.30)	16.65 (956.32)	
	Estructura ( $\Delta S_S$ )	----	----	----	----	-1.21 (-69.58)	-2.60 (-149.51)	
	Intensidad energética ( $\Delta I_I$ )	----	----	----	----	-7.25 (-416.33)	-7.41 (-425.88)	
	Mezcla de combustibles para generar electricidad ( $\Delta C_C$ )	----	----	----	----	-0.73 (-41.85)	-0.31 (-17.63)	
	Mezcla de combustibles de uso final ( $\Delta F_F$ )	----	----	----	----	-4.01 (-230.54)	-4.58 (-263.30)	
	Cambio total de emisiones de CO <sub>2</sub> ( $\Delta CO_2$ )	----	----	----	----	1.74 (100.00)	1.74 (100.00)	

Nota: t0- Año base del análisis. t- Año final del análisis. Unidades: Mton CO<sub>2</sub> - Millones de toneladas de CO<sub>2</sub>. 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.

Tabla 2.21.

Descomposición completa de las emisiones de CO<sub>2</sub> de la industria Mexicana.

Los resultados por etapa de la descomposición completa de las emisiones de CO<sub>2</sub> en el SIM, indicados en la tabla 2.21, señalan que de 1965 a 1982 el crecimiento de las emisiones de CO<sub>2</sub> fue influenciado casi completamente por el desempeño del efecto *actividad*, y en menor escala, por el efecto de *estructura* y el efecto de *mezcla de combustibles para generar electricidad*. Asimismo, el efecto de *intensidad energética* y el efecto de *mezcla de combustibles de uso final* señalaron tendencias a favor de la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>, sin embargo sin llegar a ser significativas en el cambio total de emisiones del sector. Algunas de las razones de tales cambios, han sido expuestas en la sección correspondiente al análisis de descomposición simple (sección 2.4.3.1), debido a que los resultados de ambas metodologías (simple y completa) exhiben al efecto *actividad* como el principal responsable del incremento de las emisiones de CO<sub>2</sub> aun a pesar de que el residual mostrado por la descomposición simple es bastante grande (80%). Así también, se aprecia cierta relación mostrada en los resultados de descomposición en el efecto de la *mezcla de combustibles de uso final*, al que ambas metodologías lo señalan como primer factor influyente en la disminución de CO<sub>2</sub> en esta etapa.

En la etapa de 1982 a 1994 se distingue una mayor participación de cada uno de los factores a los que se atribuye el incremento de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Los efectos de *actividad* y de *estructura* mostraron tendencias significativas en el aumento de CO<sub>2</sub> y en menor medida los efectos de *mezcla de combustibles para generar electricidad* y de *mezcla de combustibles de uso final*. En sentido opuesto, el efecto de *intensidad energética* acentuó su influencia en la reducción de emisiones y mitigó la

tendencia incremental de las emisiones de CO<sub>2</sub> del SIM. Los valores mostrados por los resultados de descomposición simple y completa difieren notoriamente, sin embargo, estos no afectan su validez explicativa en cuanto a los factores causales que intervinieron en el crecimiento de las emisiones de CO<sub>2</sub>. En términos generales, ambas técnicas concuerdan con el hecho de que el efecto de *actividad* es el factor que influyó el incremento de las emisiones, mientras que el efecto de *intensidad energética* el que permitió la mitigación de éstas. Los resultados de la descomposición completa permiten apreciar que a pesar de no existir un gran cambio en el total de las emisiones de carbono emitidas por el SIM (2.8 millones de toneladas) durante esta etapa, se lleva a cabo una gran actividad industrial mostrada por los cambios porcentuales en cuanto a los efectos de *actividad*, *estructura* e *intensidad* energética que marcan las tendencias en el total de CO<sub>2</sub> emitido en la etapa.

En la etapa de 1994 a 2003, el método de descomposición completa mostró que el efecto *actividad* siguió siendo el principal factor causal del incremento de las emisiones de CO<sub>2</sub> en el SIM. Al mismo tiempo, el efecto de *intensidad energética* se constituyó como el factor principal que tiende a minimizar el crecimiento de estas emisiones, seguido por el efecto de *mezcla de combustibles de uso final*, el cual revela una importante contribución en la disminución de CO<sub>2</sub>, y los efectos de *estructura* y *mezcla de combustibles para generar electricidad*, los cuales muestran tendencias reducidas en la disminución de CO<sub>2</sub>. Al realizar la comparación de resultados entre las metodologías de descomposición simple y completa se distingue que la descomposición simple subvalora fuertemente los efectos respectivos, pero en general, no afecta su valor explicativo, obteniéndose conclusiones similares. Ambas técnicas presentan al efecto *actividad* como factor fundamental en el incremento de las emisiones, colocándolo como la principal fuente de emisiones, mientras que, el efecto de *intensidad energética* se muestra como factor de mitigación junto con el efecto de *mezcla de combustibles de energía de uso final*.

En lo que se refiere a los resultados de descomposición periódica y serie de tiempo, se observa que los valores de los efectos de descomposición durante las dos primeras etapas difieren mínimamente en términos porcentuales (<5% promedio) y que en la última etapa esta diferencia porcentual alcanza hasta el 48%. Sin embargo, pese a estas diferencias, ambos análisis de descomposición ofrecen una explicación válida de los resultados obtenidos.

#### **2.4.3.2.2 Ramas de actividad económica industrial.**

##### ***Etapa de 1965 a 1982.***

Como ya se indicó en la sección anterior, el efecto de *actividad* resultó en el factor dominante en el incremento de las emisiones de CO<sub>2</sub> en el SIM. Las ramas industriales que presentaron un considerable cambio respecto de este efecto fueron: siderurgia, cemento, química, petroquímica y ‘otras’ industrias. El efecto de *estructura* también contribuyó al aumento de las emisiones, siendo la industria petroquímica la más destacada. La *mezcla de combustibles para generar electricidad* favoreció el incremento de las emisiones sin ser tan significativo a nivel sector y rama de actividad industrial. En sentido opuesto, se mostró una tendencia de mitigación en el efecto de *mezcla de combustibles de energía final* donde se distinguieron las ramas industriales de siderurgia y ‘otras’ industrias. El efecto de *intensidad energética* mostró a las industrias de minería y ‘otras industrias’ como las principales en

la disposición hacia la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> del SIM. La tabla 2.22 muestra el resumen de los efectos de descomposición completa periódica y series de tiempo por rama de actividad económica industrial para esta etapa.

Rama de actividad económica industrial	Contribución del cambio total de CO <sub>2</sub> por											
	Serie de tiempo (Mton CO <sub>2</sub> )					Periódico (Mton CO <sub>2</sub> )					Cambio total	
	$\Delta G_G$	$\Delta S_S$	$\Delta I_I$	$\Delta C_C$	$\Delta F_F$	$\Delta G_G$	$\Delta S_S$	$\Delta I_I$	$\Delta C_C$	$\Delta F_F$	$\Delta CO_2$	%
Siderurgia	9.46	-0.90	-0.75	0.14	-0.24	7.85	-0.29	0.06	0.16	-0.08	7.71	18.38
Azúcar	2.05	-1.54	0.13	0.00	-0.03	2.22	-1.70	0.11	0.00	-0.02	0.62	1.48
Cemento	3.56	1.37	0.10	0.06	-0.01	3.43	1.54	0.05	0.08	-0.02	5.08	12.12
Química	3.65	1.31	-0.26	0.06	-0.01	3.17	1.44	0.08	0.07	-0.01	4.75	11.33
Minería	2.27	0.74	-2.13	0.19	-0.03	2.04	0.46	-1.60	0.18	-0.02	1.06	2.52
Celulosa y papel	1.46	0.10	0.09	0.03	0.00	1.42	0.13	0.09	0.04	-0.01	1.68	4.00
Vidrio	1.43	-0.18	0.03	0.02	0.00	1.12	0.14	0.02	0.03	0.00	1.30	3.11
Petroquímica	3.40	4.39	3.20	0.00	0.00	3.75	4.93	2.32	0.00	0.00	11.00	26.24
Cerveza y malta	0.34	0.01	-0.02	0.01	0.00	0.36	0.02	-0.04	0.01	0.00	0.35	0.83
Aguas envasadas	0.15	0.02	-0.01	0.01	0.00	0.15	0.02	-0.02	0.01	0.00	0.16	0.37
Automotriz	0.44	0.11	-0.05	0.04	0.00	0.39	0.21	-0.11	0.05	0.00	0.53	1.27
Construcción	0.16	0.01	0.12	0.01	0.00	0.12	0.02	0.15	0.01	0.00	0.29	0.69
Hule	0.14	0.04	-0.04	0.01	0.00	0.12	0.04	-0.02	0.01	0.00	0.14	0.34
Aluminio	0.09	-0.04	0.11	0.02	0.04	0.05	-0.02	0.09	0.01	0.09	0.21	0.51
Fertilizantes	0.25	0.20	0.00	0.01	0.00	0.27	0.18	0.01	0.01	0.00	0.46	1.10
Tabaco	0.02	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02
'Otras' industrias <sup>c</sup>	9.72	-0.83	-0.96	0.24	-1.59	10.85	-1.10	-1.89	0.41	-1.69	6.58	15.68
Sector industrial Mexicano	38.60	4.81	-0.45	0.85	-1.89	37.34	5.99	-0.70	1.07	-1.78	41.92	100.00
Cambio total sectorial (%)	92.06	11.47	-1.06	2.03	-4.50	89.08	14.29	-1.67	2.54	-4.24	100.00	

Notas: Los efectos de descomposición se identifican como:  $\Delta G_G$  - Actividad,  $\Delta S_S$  - Estructura,  $\Delta I_I$  - Intensidad energética,  $\Delta C_C$  - Mezcla de combustibles para generar electricidad,  $\Delta F_F$  - Mezcla de combustibles de uso final, y  $\Delta CO_2$  - Cambio total de CO<sub>2</sub>. Unidades: Mton CO<sub>2</sub>-Millones de toneladas de CO<sub>2</sub>. 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.

Tabla 2.22.

Descomposición completa de las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas al consumo de energía de uso final de la industria Mexicana, 1965-1982.

El método de descomposición completa en su forma periódica y serie de tiempo señaló la importancia del desarrollo y crecimiento de la actividad industrial de la petroquímica nacional a lo largo de esta etapa. Esta industria exhibió incrementos significativos en cada uno de los efectos analizados. Las razones de su actuación han sido mencionadas anteriormente, ya que también fue señalada en el análisis mediante descomposición simple como la industria característica que representó el incremento de las emisiones de CO<sub>2</sub> en el SIM.

Al realizar la comparación entre las metodologías de descomposición simple y completa se observa que las diferencias encontradas recaen en la sobrevaloración o subvaluación de las ramas industriales por parte de la descomposición simple. Por ejemplo, en el caso de la industria automotriz e industria de fertilizantes se aprecia que el efecto *actividad*, *estructura* y de *intensidad energética* son sobrevalorados por la descomposición simple, ya que la descomposición completa muestra que los cambios en estas industrias obtuvieron impactos menores a nivel sectorial, pero de igual forma incrementando las emisiones de CO<sub>2</sub>. La rama del azúcar por su parte, presenta resultados contrastantes.

La descomposición simple mostró que las emisiones que emitió la industria del azúcar en cuanto al efecto de *estructura* fueron mínimas, sin embargo, la descomposición completa mostró que el efecto de *estructura* fue determinante para que las emisiones de CO<sub>2</sub> del SIM no se incrementaran fuertemente.

### **Etapa de 1982 a 1994.**

Durante esta etapa, el método revela un mayor movimiento en las emisiones de CO<sub>2</sub> producidas por las ramas industriales, pero no así a nivel sectorial. Las industrias que presentaron cambios importantes por su incremento en sus emisiones fueron: química, siderurgia, cemento, azúcar y minería; mientras que las ramas industriales de petroquímica y automotriz mostraron una disminución. El cambio total en las emisiones de carbono se forjó principalmente a causa de los efectos de *actividad*, *estructura* e *intensidad energética*; los efectos de *mezcla de combustibles para generar electricidad* y *mezcla de combustibles de uso final* presentaron una tendencia a aumentar las emisiones, sin ser significativas a nivel sectorial. Los efectos de descomposición completa en su forma periódica y serie de tiempo, correspondientes a cada rama de actividad industrial en la etapa de 1982 a 1994 se muestran en la tabla 2.23.

Rama de actividad económica industrial	Contribución del cambio total de CO <sub>2</sub> por											
	Serie de tiempo (Mton CO <sub>2</sub> )					Periódico (Mton CO <sub>2</sub> )					Cambio total	
	$\Delta G_G$	$\Delta S_S$	$\Delta I_I$	$\Delta C_C$	$\Delta F_F$	$\Delta G_G$	$\Delta S_S$	$\Delta I_I$	$\Delta C_C$	$\Delta F_F$	$\Delta CO_2$	%
Siderurgia	3.44	0.75	-2.66	0.07	-0.18	3.12	0.85	-2.49	0.13	-0.19	1.42	50.41
Azúcar	0.83	0.18	-0.69	0.00	-0.16	0.56	0.26	-0.56	0.00	-0.10	0.16	5.75
Cemento	1.77	1.58	-2.24	0.08	0.03	1.77	1.60	-2.26	0.08	0.02	1.21	43.08
Química	1.71	0.76	-0.80	0.07	0.02	1.70	0.87	-0.88	0.09	-0.03	1.76	62.29
Minería	0.79	-0.41	0.55	0.09	0.02	0.69	-0.36	0.57	0.11	0.03	1.05	37.20
Celulosa y papel	0.87	0.38	-0.52	0.04	-0.11	0.66	0.38	-0.35	0.05	-0.09	0.65	23.18
Vidrio	0.45	0.34	-1.05	0.02	0.03	0.45	0.33	-1.04	0.02	0.03	-0.22	-7.64
Petroquímica	2.04	6.19	-15.80	0.00	0.22	2.41	5.64	-15.51	0.00	0.11	-7.35	-260.77
Cerveza y malta	0.19	0.10	0.00	0.01	-0.07	0.16	0.09	0.03	0.01	-0.06	0.23	8.08
Aguas envasadas	0.11	0.03	0.22	0.01	-0.02	0.10	0.03	0.24	0.01	-0.02	0.35	12.54
Automotriz	0.08	0.15	-0.55	0.03	0.00	0.16	0.29	-0.77	0.03	-0.01	-0.30	-10.62
Construcción	0.10	-0.02	0.09	0.01	0.00	0.10	-0.05	0.12	0.01	0.00	0.17	6.02
Hule	0.08	-0.04	0.01	0.00	0.01	0.06	-0.03	0.02	0.01	0.01	0.07	2.49
Aluminio	0.08	0.00	-0.07	0.01	0.00	0.06	0.01	-0.07	0.01	0.00	0.02	0.62
Fertilizantes	0.20	-0.25	0.21	0.01	0.08	0.17	-0.27	0.25	0.01	0.08	0.25	8.89
Tabaco	0.01	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04
'Otras' industrias <sup>c</sup>	3.17	-0.14	-1.05	0.68	0.68	3.71	-0.19	-1.45	0.61	0.66	3.34	118.46
Sector industrial Mexicano	15.90	9.60	-24.34	1.12	0.55	15.87	9.44	-24.14	1.19	0.45	2.82	100.00
Cambio total sectorial (%)	564.29	340.71	-863.98	39.62	19.36	563.30	335.03	-856.58	42.37	15.89	100.00	

Notas: Los efectos de descomposición se identifican como:  $\Delta G_G$  - Actividad,  $\Delta S_S$  - Estructura,  $\Delta I_I$  - Intensidad energética,  $\Delta C_C$  - Mezcla de combustibles para generar electricidad,  $\Delta F_F$  - Mezcla de combustibles de uso final, y  $\Delta CO_2$  - Cambio total de CO<sub>2</sub>. Unidades: Mton CO<sub>2</sub>-Millones de toneladas de CO<sub>2</sub>. 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.

Tabla 2.23.

Descomposición completa de las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas al consumo de energía de uso final de la industria Mexicana, 1982-1994.



El efecto de *actividad* mostró a las ramas industriales de siderurgia, petroquímica, cemento y química como las industrias más activas en su contribución al aumento de las emisiones. El efecto de *estructura* señaló a las industrias de petroquímica y cemento como las ramas industriales con tendencia incremental; mientras que las industrias de la minería y fertilizantes tendieron a disminuir las emisiones totales del sector industrial. En referencia al efecto de *intensidad energética* las industrias de petroquímica, siderurgia, azúcar, cemento y vidrio presentaron una tendencia a disminuir la contribución de sus emisiones. Los efectos de mezcla de combustibles para generar electricidad y mezcla de combustibles de uso final no mostraron cambios significativos a nivel sectorial y por rama de actividad, sin embargo, la tendencia que manifestaron fue la de influenciar el crecimiento de las emisiones de carbono. En esta etapa, el cambio manifestado por la industria petroquímica fue el más significativo, esta industria pasó de ser la principal causa en el incremento de las emisiones totales de CO<sub>2</sub> a ser el factor causal de un decremento de las emisiones en el SIM. La descomposición completa indicó que, éste fue resultado de su efecto de *intensidad energética*, sin embargo, la industria petroquímica no experimentó una mejora técnica, sino más bien, el cambio se debió a su reestructuración productiva, la cual redujo considerablemente la producción de algunos productos petroquímicos básicos y secundarios, pero mantuvo un moderado aporte al PIB industrial.

La metodología de descomposición completa muestra que en cuanto a los resultados obtenidos para los efectos de *actividad*, *estructura* e *intensidad energética*, las industrias de la siderurgia, azúcar y cemento resultan ser determinantes en cuanto al incremento y decremento de las emisiones de CO<sub>2</sub> en el SIM que las ramas industriales automotriz y vidrio señaladas mediante la metodología de descomposición simple. Asimismo, las formas de la descomposición completa: periódica y serie de tiempo no muestran diferencias significativas que afecten la validez explicativa de los resultados obtenidos y expuestos en este análisis.

### ***Etapa de 1994 a 2003.***

El análisis de descomposición completa mostró que el incremento de las emisiones de CO<sub>2</sub> en el SIM se debió al desempeño de las ramas industriales de siderurgia, minería y 'otras' industrias; mientras que las industrias de petroquímica, química, celulosa y papel y fertilizantes mitigaron tal tendencia incremental. Los principales cambios se desarrollaron debido a los efectos *actividad*, *intensidad energética* y *mezcla de combustibles de uso final*, los dos efectos restantes no resultaron significativos en las tendencias manifestadas a nivel de sector industrial. En cuanto al efecto *actividad*, las ramas industriales que presentaron un considerable cambio incremental fueron las industrias de siderurgia, azúcar, cemento y química. El efecto de *estructura* mostró a las industrias de siderurgia, petroquímica y cemento como las industrias significativas en cuanto a este efecto. Referente al efecto de *intensidad energética*, las ramas industriales que manifestaron cambios significativos a favor de la reducción de las emisiones de carbón fueron: siderurgia, química, azúcar, celulosa y papel y petroquímica. Los efectos de descomposición completa en su forma periódica y serie de tiempo correspondiente a la contribución de cada rama de actividad industrial en la industria Mexicana, de 1994 a 2003, se muestran en la tabla 2.23.

Contribución del cambio total de CO <sub>2</sub> por												
Rama de actividad económica industrial	Serie de tiempo (Mton CO <sub>2</sub> )					Periódico (Mton CO <sub>2</sub> )					Cambio total	
	$\Delta G_G$	$\Delta S_S$	$\Delta I_I$	$\Delta C_C$	$\Delta F_F$	$\Delta G_G$	$\Delta S_S$	$\Delta I_I$	$\Delta C_C$	$\Delta F_F$	$\Delta CO_2$	%
Siderurgia	4.25	1.84	-4.73	-0.04	-0.73	3.17	2.30	-4.24	-0.06	-0.57	0.59	34.06
Azúcar	0.71	-0.05	-0.42	0.00	-0.60	0.50	0.09	-0.39	0.00	-0.56	-0.35	-20.14
Cemento	1.59	-1.31	0.14	-0.03	-0.46	1.78	-1.43	0.08	-0.04	-0.47	-0.08	-4.46
Química	2.05	-0.53	-2.04	-0.05	-0.67	1.67	-0.27	-1.97	-0.05	-0.62	-1.24	-71.02
Minería	0.99	-0.21	-0.44	-0.04	0.02	0.82	-0.14	-0.31	-0.05	0.00	0.33	18.83
Celulosa y papel	0.67	0.11	-1.50	-0.03	-0.02	0.62	0.13	-1.47	-0.03	-0.03	-0.77	-44.12
Vidrio	0.45	-0.01	-0.31	-0.01	0.03	0.40	0.03	-0.26	-0.01	0.00	0.16	9.16
Petroquímica	0.77	-2.33	-1.12	0.00	-0.07	0.63	-1.94	-1.37	0.00	-0.07	-2.75	-158.20
Cerveza y malta	0.21	0.19	-0.11	0.00	0.03	0.21	0.18	-0.09	-0.01	0.02	0.31	18.07
Aguas envasadas	0.13	0.06	-0.08	0.00	-0.01	0.15	0.05	-0.09	-0.01	-0.01	0.09	5.19
Automotriz	0.12	0.14	-0.12	0.00	0.01	0.11	0.13	-0.09	-0.01	0.01	0.15	8.51
Construcción	0.10	-0.08	0.03	0.00	0.01	0.12	-0.10	0.03	0.00	0.00	0.06	3.17
Hule	0.08	-0.06	0.10	0.00	0.00	0.07	-0.05	0.09	0.00	0.00	0.11	6.26
Aluminio	0.07	0.01	-0.08	0.00	-0.01	0.05	0.01	-0.06	-0.01	0.00	0.01	0.32
Fertilizantes	0.19	-0.54	-0.20	-0.01	-0.06	0.11	-0.50	-0.18	0.00	-0.05	-0.61	-35.23
Tabaco	0.01	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.13
'Otras' industrias <sup>c</sup>	4.26	0.16	3.46	-0.09	-2.05	4.52	0.29	3.06	-0.45	-1.68	5.74	329.74
Sector industrial Mexicano	16.65	-2.60	-7.41	-0.31	-4.58	14.94	-1.21	-7.25	-0.73	-4.01	1.74	100.00
Cambio total sectorial (%)	956.32	-149.51	-425.88	-17.63	-263.30	858.30	-69.58	-416.33	-41.85	-230.54	100.00	

Notas: Los efectos de descomposición se identifican como:  $\Delta G_G$  - Actividad,  $\Delta S_S$  - Estructura,  $\Delta I_I$  - Intensidad energética,  $\Delta C_C$  - Mezcla de combustibles para generar electricidad,  $\Delta F_F$  - Mezcla de combustibles de uso final, y  $\Delta CO_2$  - Cambio total de CO<sub>2</sub>. Unidades: Mton CO<sub>2</sub>-Millones de toneladas de CO<sub>2</sub>. 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.

Tabla 2.24.

Descomposición completa de las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas al consumo de energía de uso final de la industria Mexicana, 1994-2003.

El análisis de descomposición completa permitió valorar, de una forma más fiel, la significancia de algunas actividades industriales dentro de la industria Mexicana en cuanto a las emisiones de CO<sub>2</sub> que pasaron desapercibidas, sobrevaloradas o subvaloradas en el análisis basado en la descomposición simple. En cuanto al efecto de *actividad*, la descomposición completa mostró que todas las ramas industriales presentaron una tendencia incremental de sus respectivas emisiones, siendo clarificados los cambios presentados en las ramas del azúcar, cemento y minería; el efecto de *estructura* mostró a la rama industrial del cemento determinante en cuanto a la disminución de CO<sub>2</sub>, mientras que la rama industrial del tabaco fue presentada por la descomposición simple; el efecto *intensidad energética* exhibió una correspondencia entre las dos metodologías; el efecto de *mezcla de combustibles de uso final* mostró que la industria de la siderurgia fue más importante que la rama de fertilizantes mostrada por los resultados de la descomposición simple en cuanto a la reducción de CO<sub>2</sub>. Los cambios en la *mezcla de combustibles para generación de electricidad* no resultaron significativos en lo expresado por ambas metodologías.

### 2.4.3.3 Intensidad de emisión de bióxido de carbono.

Con el objetivo de proveer un punto de vista más específico acerca de las emisiones de carbono de la industria Mexicana, se presenta el análisis de la intensidad de emisión de carbón, el cual es un indicador comparable a la intensidad energética. La intensidad de emisión de carbono, también llamada intensidad de carbón, es la relación entre el dióxido de carbono producido por el consumo de energía y el valor agregado bruto en términos monetarios. Este indicador mide el uso de energía asociado al impacto económico. Para llevar a cabo tal análisis se utiliza la metodología de descomposición de media logarítmica basada en el índice Divisia (LMDI por sus siglas en inglés).

#### 2.4.3.3.1 Descomposición Divisia de media logarítmica.

La intensidad de emisión de CO<sub>2</sub> en el sector industrial puede ser definido como el producto de tres indicadores: *intensidad energética* (I), *coeficiente de CO<sub>2</sub>* (C), y *estructura* (S) y se expresa de la forma siguiente:

$$A = \sum_i^n I_i \times C_i \times S_i = \sum_i^n \left( \frac{E_i}{Y_i} \right) \times \left( \frac{CO2_i}{E_i} \right) \times \left( \frac{Y_i}{Y} \right) \quad (18)$$

Donde  $E$  es el consumo de energía de uso final (PJ),  $Y$  es la producción total en términos de valor agregado bruto,  $CO2$  es la cantidad de carbono producido,  $I$  es la intensidad energética e  $i$  indica la rama de actividad industrial.

El análisis de descomposición LMDI puede cuantificar las contribuciones de cada uno de los factores a analizar por medio de una forma aditiva o multiplicativa. En el caso del presente análisis se aplican los métodos multiplicativos conocidos como M-LMDI-I y M-LMDI-II. Estas metodologías han expandido su aceptabilidad entre la comunidad científica como el método preferido en el análisis asociado al consumo de energía y su impacto ambiental<sup>89</sup>. La descomposición multiplicativa de la intensidad de carbono en el sector industrial ( $D_A$ ), en un período de tiempo que va de  $t=0$  a  $t=t$ , es expresada de la forma siguiente:

$$D_A = A^t / A^0 = D_{int} D_{CO2} D_{str} \quad (19)$$

Donde  $D_{int}$  es el efecto de descomposición de la intensidad energética, el cual explica los cambios de la eficiencia energética sobre la intensidad de carbono;  $D_{CO2}$  es el efecto de descomposición del coeficiente de CO<sub>2</sub>, el cual indica los cambios en las emisiones de carbón relacionados al consumo de energía de uso final (mezcla de combustibles) y  $D_{str}$  es el efecto de descomposición de estructura, el cual explica los cambios en la estructura industrial. La tabla 2.25 resume las ecuaciones para

<sup>89</sup> Ang y Liu (2007a) y Ang y Liu (2007b) propusieron la guía para el manejo de valores nulos o faltantes, así como valores negativos en la base de datos al aplicar la metodología LMDI, lo cual facilitó el uso masivo de este tipo de metodologías basadas en el índice de Divisia.

cuantificar las contribuciones de los efectos de descomposición previamente mencionados mediante las metodologías M-LMDI-I y M-LMDI-II<sup>90</sup>.

<i>Efectos de descomposición</i>	<i>M-LMDI-I</i>	<i>M-LMDI-II</i>
Intensidad energética ( $D_{int}$ )	$D_{int} = \exp\left(\sum_i w_i \ln\left(\frac{I_i^t}{I_i^0}\right)\right)$	$D_{int} = \exp\left(w'_i \ln\left(\frac{I_i^t}{I_i^0}\right)\right)$
Coefficiente de emisión de CO <sub>2</sub> ( $D_{CO2}$ )	$D_{CO2} = \exp\left(\sum_i w_i \ln\left(\frac{C_i^t}{C_i^0}\right)\right)$	$D_{CO2} = \exp\left(w'_i \ln\left(\frac{C_i^t}{C_i^0}\right)\right)$
Estructura ( $D_{str}$ )	$D_{str} = \exp\left(\sum_i w_i \ln\left(\frac{S_i^t}{S_i^0}\right)\right)$	$D_{str} = \exp\left(w'_i \ln\left(\frac{S_i^t}{S_i^0}\right)\right)$

Donde  $w_i = L(A_i^t, A_i^0) / L(A^t, A^0)$  en LMDI-I, y  $w'_i = L(A_i^t / A^t, A_i^0 / A^0) / \sum_i L(A_i^t / A^t, A_i^0 / A^0)$  en LMDI-II. La función  $L(a, b)$  es la media logarítmica de dos números positivos  $a$  y  $b$  dada por  $L(a, b) = \frac{a-b}{\ln(a) - \ln(b)}$  para  $a \neq b$ , y  $L(a, b) = a$  para  $a = b$ .

Tabla 2.25.  
Formulas de descomposición M-LMDI-I y M-LMDI-II.

De la misma forma que el método de descomposición LMDI puede descomponer las *contribuciones* de los efectos respectivos, así también, se puede llevar a cabo una descomposición para obtener las *atribuciones* de tales efectos. El análisis de descomposición atributivo fue propuesto por Choi y Ang (2011). Tal metodología permite transformar un índice medio geométrico en un índice medio aritmético por razón de la aplicación de la identidad de Balk (2004), así también, las contribuciones de cada atributo individual son cuantificadas en términos porcentuales, proporcionando una descomposición aditiva acumulativa de los índices de crecimiento como lo indican Choi y Ang (2011). La formulación de esta extensión del método LMDI para el cálculo de las atribuciones de los efectos de *intensidad energética*, *coeficiente de emisión de CO<sub>2</sub>* y *estructura* para un análisis atributivo de simple-período y multi-período son resumidos en la tabla 2.26<sup>91</sup>.

Intensidad energética ( $I$ )	
Simple-período:	$\frac{I_1}{I_0} - 1 = \sum_{i=1}^N s_i^* \left( \frac{I_{i,1}}{I_{i,0}} - 1 \right) = \sum_{i=1}^N \left( \frac{\frac{w'_i}{L(I_{i,1}, I_{i,0} / I_0)} I_{i,1}}{\sum_{k=1}^N \frac{w_k}{L(I_{k,1}, I_{k,0} / I_0)} I_{k,0}} \right) \left( \frac{I_{i,1}}{I_{i,0}} - 1 \right)$
Multi-período:	$\frac{I_t}{I_0} - 1 = \sum_{t=1}^T \frac{I_{t-1}}{I_0} \left( \frac{I_t}{I_{t-1}} - 1 \right) = \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \frac{I_{t-1}}{I_0} s_{i,t-1,t}^* \left( \frac{I_{i,t}}{I_{i,t-1}} - 1 \right) = \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \frac{I_{t-1}}{I_0} \left( \frac{\frac{w'_{i,t-1,t}}{L(I_{i,t}, I_{i,t-1} / I_{t-1})} I_{i,t}}{\sum_{k=1}^N \frac{w_{k,t-1,t}}{L(I_{k,t-1}, I_{k,t-1} / I_{t-1})} I_{k,t-1}} \right) \left( \frac{I_{i,t}}{I_{i,t-1}} - 1 \right)$

<sup>90</sup> Ang et al, 2009; Ang, 2005; Ang 2004; Choi y Ang (2003), Ang y Liu (2001), Ang y Zhang (2000); Ang y Choi, 1997 describen ampliamente la metodología de media logarítmica basada en el índice de Divisia en su forma aditiva y multiplicativa.

<sup>91</sup> El método atributivo de simple-período utiliza el año precedente inmediato como peso o base, mientras que el método atributivo de multi-período utiliza un año particular de referencia como peso o base para el análisis.

Coefficiente de emisión de CO<sub>2</sub> (c)

$$\begin{aligned} \text{Simple-período:} \quad \frac{C_1}{C_0} - 1 &= \sum_{i=1}^N s_i^* \left( \frac{C_{i,1}}{C_{i,0}} - 1 \right) = \sum_{i=1}^N \left( \frac{\frac{w'_i}{L(C_{i,1}, C_{i,0} C_1/C_0)} C_{i,1}}{\sum_{k=1}^N \frac{w'_k}{L(C_{k,1}, C_{k,0} C_1/C_0)} C_{k,0}} \right) \left( \frac{C_{i,1}}{C_{i,0}} - 1 \right) \\ \text{Multi-período:} \quad \frac{C_t}{C_0} - 1 &= \sum_{i=1}^T \frac{C_{t-1}}{C_0} \left( \frac{C_t}{C_{t-1}} - 1 \right) = \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \frac{C_{t-1}}{C_0} s_{i,t-1}^* \left( \frac{C_{i,t}}{C_{i,t-1}} - 1 \right) = \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \frac{C_{t-1}}{C_0} \left( \frac{\frac{w'_{i,t-1,t}}{L(C_{i,t}, C_{i,t-1} C_t/C_{t-1})} C_{i,t-1}}{\sum_{k=1}^N \frac{w'_{k,t-1,t}}{L(C_{k,t-1}, C_{k,t-1} C_t/C_{t-1})} C_{k,t-1}} \right) \left( \frac{C_{i,t}}{C_{i,t-1}} - 1 \right) \end{aligned}$$

Estructura (s)

$$\begin{aligned} \text{Simple-período:} \quad \frac{S_1}{S_0} - 1 &= \sum_{i=1}^N s_i^* \left( \frac{S_{i,1}}{S_{i,0}} - 1 \right) = \sum_{i=1}^N \left( \frac{\frac{w'_i}{L(S_{i,1}, S_{i,0} S_1/S_0)} S_{i,1}}{\sum_{k=1}^N \frac{w'_k}{L(S_{k,1}, S_{k,0} S_1/S_0)} S_{k,0}} \right) \left( \frac{S_{i,1}}{S_{i,0}} - 1 \right) \\ \text{Multi-período:} \quad \frac{S_t}{S_0} - 1 &= \sum_{i=1}^T \frac{S_{t-1}}{S_0} \left( \frac{S_t}{S_{t-1}} - 1 \right) = \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \frac{S_{t-1}}{S_0} s_{i,t-1}^* \left( \frac{S_{i,t}}{S_{i,t-1}} - 1 \right) = \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \frac{S_{t-1}}{S_0} \left( \frac{\frac{w'_{i,t-1,t}}{L(S_{i,t}, S_{i,t-1} S_t/S_{t-1})} S_{i,t-1}}{\sum_{k=1}^N \frac{w'_{k,t-1,t}}{L(S_{k,t-1}, S_{k,t-1} S_t/S_{t-1})} S_{k,t-1}} \right) \left( \frac{S_{i,t}}{S_{i,t-1}} - 1 \right) \end{aligned}$$

Notas:  $I_1/I_0$ ,  $C_1/C_0$ ,  $S_1/S_0$ , y  $I_t/I_0$ ,  $C_t/C_0$ ,  $S_t/S_0$  son los cambios en años consecutivos, desde el año  $0$  al año  $t$  en la intensidad energética, coeficiente de emisión de CO<sub>2</sub>, y estructura respectivamente, para los análisis de simple-período, y multi-período.

$s_i^*$  y  $s_{i,t-1,t}^*$  son los pesos utilizados para la transformación de un índice medio geométrico a un índice medio aritmético en un análisis de simple-período, y multi-período respectivamente.  $N$  Es el número de ramas industriales en el sector industrial. La función  $L(a, b)$  es el promedio medio logarítmico de dos números positivos  $a$  y  $b$  dada por  $L(a, b) = \frac{a-b}{\ln(a) - \ln(b)}$  para  $a \neq b$ , y  $L(a, b) = a$  para  $a = b$ .

Tabla 2.26.

Formulas de descomposición para análisis atributivo M-LMDI de la intensidad de emisión de CO<sub>2</sub>.

2.4.3.3.1.1 Sector industrial Mexicano.

Los resultados al aplicar la metodología de descomposición M-LMDI indicada en la sección anterior, para obtener las contribuciones y atribuciones de los efectos de intensidad energética, coeficiente de emisión de CO<sub>2</sub> y estructura sobre la evolución de la intensidad de emisiones de CO<sub>2</sub> en el SIM; en el período 1965-2003 y para las etapas 1965-1982, 1982-1994 y 1994-2003 se exponen en la tabla 2.27. La tabla 2.27 muestra que ambas metodologías M-LMDI-I y M-LMDI-II dan como resultado una descomposición completa en forma agregada, mostrando valores idénticos en el cambio total, más no en los valores obtenidos para cada efecto en particular. Esta diferencia, se debe a que ambas metodologías utilizan pesos distintos, mientras que la suma de los pesos al utilizar la metodología M-LMDI-II es igual a la unidad, en la metodología M-LMDI-I es *aproximadamente* la unidad. En este estudio, la suma de los pesos de la metodología M-LMDI-I tiene una variación de 0.0215 (valor

promedio) respecto de la unidad, donde 0.9498 es el valor más desviado respecto de la unidad, correspondiente al año de 1987.

**Cambios de descomposición por**

Etapas	M-LMDI-I				M-LMDI-II			
	D <sub>int</sub>	D <sub>CO2</sub>	D <sub>str</sub>	D <sub>Λ</sub>	D <sub>int</sub>	D <sub>CO2</sub>	D <sub>str</sub>	D <sub>Λ</sub>
1965-1982	0.9728	0.9761	1.1674	1.1085	0.9702	0.9749	1.1720	1.1085
1982-1994	0.7009	1.0259	1.1358	0.8167	0.7002	1.0263	1.1365	0.8167
1994-2003	0.8945	0.9298	0.9801	0.8152	0.8945	0.9292	0.9808	0.8152
1965-2003	0.7019	0.9244	1.1375	0.7380	0.6999	0.9240	1.1413	0.7380

Notas: D<sub>int</sub>- efecto de intensidad energética, D<sub>CO2</sub>- Efecto de coeficiente de emisión de CO<sub>2</sub>, D<sub>str</sub>- Efecto de estructura, D<sub>Λ</sub>- Cambio total de intensidad de emisión de CO<sub>2</sub>.

Tabla 2.27.

Cambios de descomposición M-LMDI de la intensidad de CO<sub>2</sub> en la industria Mexicana.

Los resultados de la descomposición indican que de 1965 a 2003, la intensidad de emisión de carbono agregada en la industria Mexicana decreció alrededor de 26.2%. Los efectos de descomposición, *intensidad energética* y el *coeficiente de emisión de CO<sub>2</sub>*, contribuyeron al descenso de las emisiones de CO<sub>2</sub> en el sector; mientras que el efecto de *estructura* impulsó el crecimiento de tales emisiones. El efecto de intensidad energética fue el factor determinante detrás de la reducción de la intensidad de emisiones de CO<sub>2</sub> en las tres etapas analizadas, especialmente en la segunda etapa comprendida de 1982 a 1994. En la primera y segunda etapas, el efecto de estructura contribuyó a incrementar la intensidad de carbón. También, en la segunda etapa se observa un incremento del efecto de intensidad energética, mientras que el efecto de estructura disminuye las emisiones de CO<sub>2</sub>. En la tercera etapa se mostró una acción conjunta de los tres efectos analizados que contribuyeron a mitigar el crecimiento de la intensidad de emisión de carbono. En la figura 2.20 y 2.21 se observan los cambios de descomposición M-LMDI-I y M-LMDI-II de la intensidad de carbono en la industria Mexicana, de 1965 a 2003.

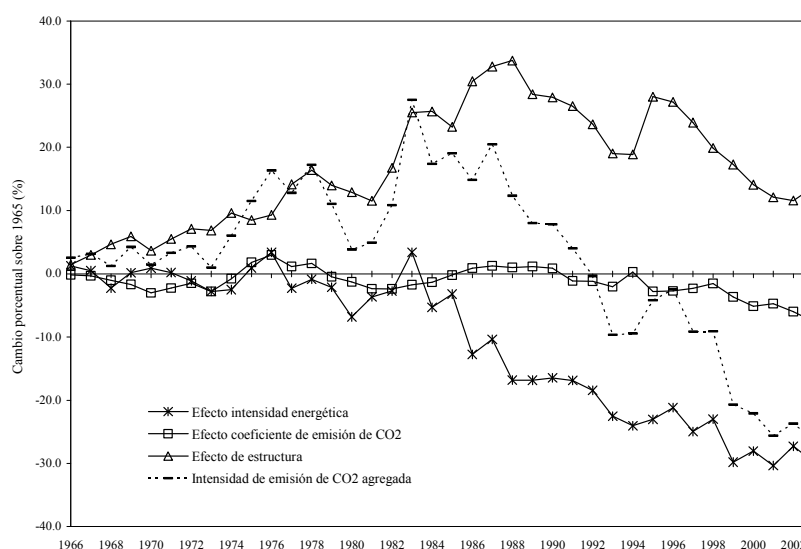


Figura 2.17.

Descomposición M-LMDI-I de la intensidad de carbono de la industria Mexicana, 1965-2003 (base = 1965).

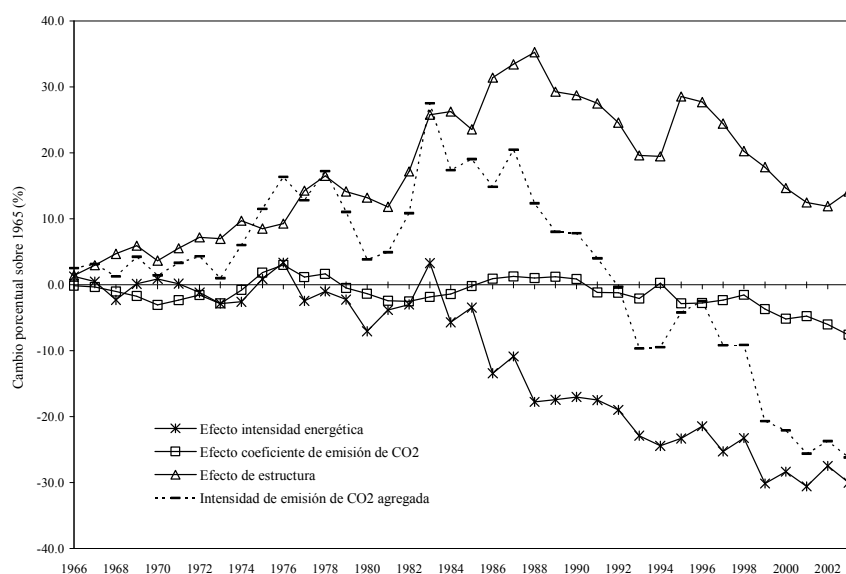


Figure 2.18.

Descomposición M-LMDI-II de la intensidad de carbono de la industria Mexicana, 1965-2003 (base = 1965).

#### 2.4.3.3.1.2 Ramas de actividad económica industrial.

El estudio de descomposición LMDI presentado en esta sección corresponde a la forma atributiva, indicada en Choi y Ang (2011). Para ello, el modelo M-LMDI-II es aplicado, esto debido a que la suma de sus pesos es igual a la unidad, lo cual es requerido por la fórmula de Reinsdorf (1996) para llevar a cabo la transformación de un índice medio geométrico a un índice medio aritmético.

##### *Etapa de 1965 a 1982.*

En esta etapa, el efecto de *estructura* fue el factor determinante detrás del incremento de la intensidad de emisiones de CO<sub>2</sub> en el SIM, mientras que los efectos de *intensidad energética* y *coeficiente de emisión de CO<sub>2</sub>* tendieron a reducirla. La figura 2.22 muestra los efectos atributivos de descomposición M-LMDI-II de la intensidad de carbono del SIM de 1965 a 1982.

El efecto de *estructura* fue básicamente el resultado de la contribución combinada por parte de las industrias de petroquímica, química y cemento. Estas industrias mostraron crecimientos anuales de 0.7%, 0.2% y 0.2% tmc respectivamente. De igual forma, se observa una tendencia opuesta en las ramas industriales de azúcar y siderurgia para mitigar la intensidad de carbono del SIM en cuanto a este efecto. El cambio en el efecto de *estructura* puede ser explicado en razón del rápido crecimiento de la producción industrial en industrias intensivas de uso de energía, al amparo de concesiones, subsidios y financiamiento provenientes del gobierno, en virtud del descubrimiento de yacimientos de petróleo que generó un mayor ingreso de divisas a la economía del País. La industria petroquímica e industrias asociadas a la extracción, exploración y producción de productos petrolíferos fueron prioridades estratégicas para el desarrollo nacional.

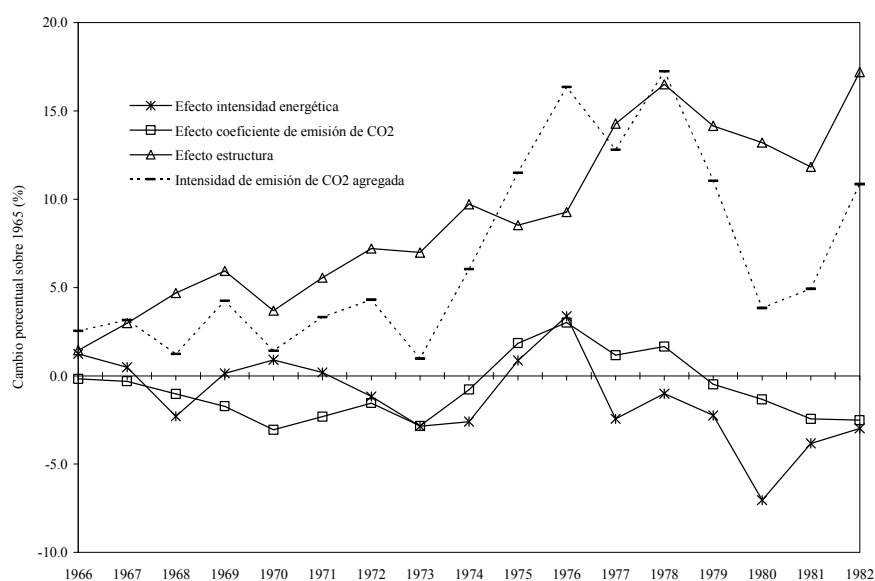


Figure 2.19.

Atributos de descomposición M-LMDI-II de la intensidad de carbono de la industria Mexicana, 1965-1982 (base = 1965, %).

El efecto de *intensidad energética* mostró una leve tendencia a minimizar la creciente intensidad de carbón en el SIM. El análisis atributivo destaca las disminuciones observadas en los años de 1977 y 1980 en 5.0% y 4.3% respectivamente. Tales descensos se atribuyen a la actividad industrial de ‘otras’ industrias. Se considera que las industrias maquiladoras, las cuales conforman gran parte de la rama industrial de ‘otras’ industrias’ contaban con tecnología más eficiente como resultado de su reciente auge y emplazamiento en México, sobre todo en la frontera con Estados Unidos de América, además de ser industrias de carácter exportador. En 1977, la Maquila Mexicana contaba con 443 unidades establecidas en la frontera norte y en 1980 aumentó a 613 unidades. La industria petroquímica jugó un papel importante en la casi nula participación de este efecto en la disminución de la intensidad de carbón. El cambio incremental en la industria petroquímica se entiende por un aumento del consumo de energía de uso final (21.1% tmca), mayor al presentado por su aportación al valor agregado (16.9% tmca).

El efecto del *coeficiente de emisión de CO<sub>2</sub>* no mostró cambios significativos a nivel sectorial. El cambio más significativo fue observado en la rama industrial de ‘otras’ industrias, su aumento o descenso en el desempeño de este efecto influyó considerablemente la tendencia a nivel sectorial. Se observa que, la rama industrial de ‘otras’ industrias experimentaron un considerable incremento de emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes del consumo de electricidad en 18.8%, mientras que las emisiones provenientes del consumo de combustóleo se redujeron en 36.5%. Las tablas 2.28, 2.29 y 2.30 resumen los efectos atributivos de la descomposición M-LMDI-II de la intensidad de carbono del SIM para la etapa de 1965 a 1982 por rama de actividad económica industrial.



Año	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	% cambio
1966	-0.58	0.72	0.14	0.43	1.41	0.01	0.00	0.11	-0.05	0.05	0.01	0.06	0.00	-0.29	0.00	0.33	-0.92	1.44
1967	0.56	0.82	0.14	0.54	0.08	0.01	0.00	-0.03	0.00	-0.03	0.01	-0.02	0.00	-0.11	-0.01	0.06	-0.46	1.57
1968	-1.03	1.01	0.53	0.05	0.96	0.00	0.00	0.07	-0.02	-0.04	0.00	0.05	0.00	-0.22	0.00	0.29	-0.12	1.54
1969	0.09	0.32	1.01	0.26	-0.64	0.04	0.00	0.04	0.14	0.02	0.00	0.09	0.00	-0.08	0.00	-0.15	-0.36	0.77
1970	-0.96	0.08	0.03	0.07	-2.08	0.01	0.00	0.08	0.09	0.00	0.00	-0.04	-0.01	-0.12	0.00	0.11	0.22	-2.55
1971	0.44	0.90	0.24	0.11	-0.22	-0.07	0.00	0.09	-0.15	-0.12	-0.02	0.04	0.03	-0.14	0.00	0.16	0.52	1.79
1972	-0.62	0.71	0.61	0.61	1.11	0.00	0.01	0.03	0.07	0.07	0.01	0.08	0.00	-0.28	0.00	0.06	-0.35	2.11
1973	0.02	0.03	0.14	0.25	-0.32	0.00	0.01	0.13	0.14	0.05	0.02	-0.03	0.00	-0.22	-0.01	-0.22	-0.45	-0.46
1974	-0.22	1.30	0.43	0.23	1.33	-0.04	0.01	0.15	0.24	0.09	0.00	-0.02	0.01	0.43	0.00	0.00	-0.50	3.45
1975	-0.45	0.26	-0.70	0.44	-0.79	0.06	-0.03	-0.03	-0.40	-0.04	0.01	-0.01	0.01	0.00	0.00	0.38	-0.04	-1.33
1976	-0.26	0.45	0.61	0.33	-0.70	-0.06	0.01	-0.17	0.27	-0.04	0.00	0.04	0.02	0.09	0.00	0.14	0.41	1.15
1977	-0.08	-0.25	1.28	0.32	1.36	0.03	-0.02	-0.08	0.08	0.09	-0.04	0.03	-0.01	0.31	0.00	0.26	0.44	3.74
1978	0.12	0.29	-0.37	-0.38	2.49	0.03	-0.01	0.16	-0.03	-0.04	0.01	-0.12	0.04	0.14	0.00	-0.03	-0.60	1.72
1979	-0.38	0.47	-0.59	-0.27	-1.09	0.03	0.01	0.06	-0.05	0.02	0.01	-0.01	-0.03	0.13	0.00	-0.13	-0.24	-2.05
1980	-0.71	0.10	-0.03	-0.04	-1.12	-0.01	-0.01	0.05	0.07	-0.01	0.02	-0.01	0.02	0.55	0.00	0.03	-0.49	-1.60
1981	-0.33	1.18	-0.16	0.14	-0.94	-0.02	-0.01	0.11	-0.25	-0.02	0.03	0.06	-0.03	0.22	0.00	-0.72	-0.47	-1.20
1982	0.14	2.69	0.82	0.90	-1.29	0.02	-0.04	-0.27	0.17	-0.01	-0.03	0.27	0.04	0.42	0.00	-0.27	0.61	4.18
Media	-0.25	0.65	0.24	0.24	-0.03	0.00	0.00	0.03	0.02	0.00	0.00	0.03	0.01	0.05	0.00	0.02	-0.16	0.84

Sub-sectores: S1: Azúcar, S2: Petroquímica, S3: Química, S4: Cemento, S5: Siderurgia, S6: Aguas envasadas, S7: Aluminio, S8: Automotriz, S9: Celulosa y papel, S10: Cerveza y malta, S11: Construcción, S12: Fertilizantes, S13: Hule, S14: Minería, S15: Tabaco, S16: Vidrio, S17: 'Otras' industrias.

Tabla 2.28.

Resultados atributivos de la descomposición M-LMDI-II del efecto de estructura en la intensidad de carbono de la industria Mexicana, 1965-1982 (base = año previo, %).

Año	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	% cambio
1966	0.32	0.32	0.43	0.01	0.20	0.00	0.00	-0.05	0.01	-0.07	0.00	0.00	0.02	0.24	0.00	0.00	-0.17	1.25
1967	-0.32	-0.54	0.20	0.02	0.81	0.00	0.00	0.01	0.04	0.01	0.00	0.00	-0.01	0.40	0.00	0.00	-1.43	-0.80
1968	0.11	0.01	0.10	-0.02	-0.06	0.00	0.00	-0.04	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.31	0.00	-0.12	-3.00	-2.68
1969	-0.03	1.46	-0.45	0.02	1.64	0.00	0.00	0.02	-0.03	0.00	0.07	0.00	0.02	-0.11	0.00	0.13	0.08	2.81
1970	0.15	0.25	0.42	0.00	1.48	0.00	0.27	-0.17	0.01	-0.01	0.07	0.00	0.00	-0.33	0.00	0.00	-1.04	1.10
1971	-0.36	-0.40	0.69	0.00	0.08	0.00	0.05	0.01	0.15	-0.01	0.09	0.00	0.00	0.55	0.00	0.00	-1.51	-0.66
1972	-0.08	-0.59	-0.53	-0.01	-0.07	0.00	-0.04	-0.03	-0.10	-0.01	0.03	0.00	0.03	0.25	0.00	-0.26	-0.31	-1.72
1973	-0.18	0.25	-0.45	-1.22	0.56	-0.01	-0.04	0.01	-0.32	-0.08	0.01	0.00	-0.02	-0.35	0.00	0.89	-0.74	-1.67
1974	0.27	-0.84	0.10	1.34	-1.24	0.02	0.00	0.08	0.34	0.06	0.04	0.01	0.01	0.20	0.00	-0.90	0.36	-0.16
1975	-0.07	1.02	1.05	0.02	-0.24	-0.09	0.00	0.00	0.03	0.00	0.03	0.00	0.01	-0.02	0.00	0.35	2.03	4.11
1976	-0.10	-0.15	-0.37	0.00	0.49	0.01	-0.01	0.00	-0.02	0.00	0.03	0.00	0.04	-0.34	0.00	0.00	2.60	2.19
1977	0.07	0.63	-0.75	0.03	-0.16	0.00	0.02	-0.08	0.19	-0.02	0.08	0.00	-0.06	-0.29	0.00	0.01	-4.75	-5.08
1978	0.12	1.96	-0.26	-0.03	-1.82	-0.01	-0.02	0.06	-0.04	-0.01	-0.02	0.00	-0.01	-1.31	0.00	-0.01	3.02	1.63
1979	0.14	-0.62	0.14	0.01	-0.62	0.00	-0.04	-0.01	-0.01	-0.01	-0.02	0.00	-0.03	-0.60	0.00	0.00	0.07	-1.60
1980	0.16	0.48	-0.15	-0.09	-1.49	0.03	0.03	-0.03	-0.04	-0.01	-0.02	0.00	-0.09	-0.86	0.00	0.00	-2.25	-4.32
1981	-0.28	0.93	-0.08	0.02	0.52	0.00	0.04	0.05	0.02	-0.02	0.00	0.00	0.03	-0.75	0.00	0.00	2.78	3.26
1982	0.24	2.33	-0.11	0.08	0.23	0.00	0.11	-0.02	-0.01	0.06	0.00	0.00	0.00	-0.56	0.00	0.00	-0.85	1.51
Media	0.01	0.38	0.00	0.01	0.02	0.00	0.02	-0.01	0.01	-0.01	0.02	0.00	0.00	-0.21	0.00	0.01	-0.30	-0.05

Sub-sectores: S1: Azúcar, S2: Petroquímica, S3: Química, S4: Cemento, S5: Siderurgia, S6: Aguas envasadas, S7: Aluminio, S8: Automotriz, S9: Celulosa y papel, S10: Cerveza y malta, S11: Construcción, S12: Fertilizantes, S13: Hule, S14: Minería, S15: Tabaco, S16: Vidrio, S17: 'Otras' industrias.

Tabla 2.29.

Resultados atributivos de la descomposición M-LMDI-II del efecto de intensidad energética en la intensidad de carbono de la industria Mexicana, 1965-1982 (base = año previo, %).

Año	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	% cambio	
1966	-0.27	0.00	0.00	0.00	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.07	-0.17
1967	0.37	0.00	0.00	0.00	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	0.00	0.00	0.00	-0.63	-0.14
1968	-0.11	0.00	0.00	0.00	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.85	-0.68
1969	0.04	0.00	0.00	0.00	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	0.00	0.00	0.00	-0.94	-0.61
1970	-0.15	0.00	0.01	0.02	-0.48	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.01	0.01	-0.75	-1.25
1971	0.37	0.00	0.06	0.06	0.30	0.01	0.02	0.04	0.03	0.00	0.00	0.01	0.01	0.19	0.00	0.02	0.02	-0.39	0.74
1972	0.05	0.00	0.01	0.01	-0.12	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.57	0.60
1973	-0.58	0.00	-0.04	-0.11	0.23	0.00	0.00	0.00	-0.05	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	-0.56	-1.09
1974	0.46	0.00	0.05	0.11	-0.16	0.00	0.01	0.01	0.06	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.01	1.07	1.68	
1975	0.09	0.00	0.08	0.09	0.02	0.01	0.03	0.06	0.04	0.01	0.01	0.01	0.01	0.24	0.00	0.03	1.63	2.35	
1976	0.13	0.00	-0.02	-0.03	0.16	0.00	-0.01	-0.02	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.06	0.00	-0.01	0.85	0.97	
1977	-0.07	0.00	-0.03	-0.03	-0.02	0.00	-0.01	-0.01	-0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.07	0.00	-0.01	-1.26	-1.55	
1978	-0.17	0.00	0.07	0.08	-0.24	0.01	0.02	0.04	0.04	0.01	0.01	0.01	0.01	0.17	0.00	0.03	0.46	0.54	
1979	-0.16	0.00	-0.02	-0.03	-0.16	0.00	-0.01	-0.02	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.05	0.00	-0.01	-1.24	-1.72	
1980	-0.18	0.00	0.04	0.04	-0.17	0.00	0.01	0.03	0.02	0.00	0.01	0.01	0.00	0.08	0.00	0.02	-0.60	-0.68	
1981	-0.02	0.00	-0.08	-0.09	-0.20	-0.01	-0.02	-0.06	-0.05	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.16	0.00	-0.03	-0.18	-0.95	
1982	0.22	0.00	0.03	0.04	0.14	0.00	0.01	0.02	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.06	0.00	0.01	-0.67	-0.10	
Media	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	-0.21	-0.12	

Sub-sectores: S1: Azúcar, S2: Petroquímica, S3: Química, S4: Cemento, S5: Siderurgia, S6: Aguas envasadas, S7: Aluminio, S8: Automotriz, S9: Celulosa y papel, S10: Cerveza y malta, S11: Construcción, S12: Fertilizantes, S13: Hule, S14: Minería, S15: Tabaco, S16: Vidrio, S17: 'Otras' industrias.

Tabla 2.30.

Resultados atributivos de la descomposición M-LMDI-II del efecto de coeficiente de emisión de CO<sub>2</sub> en la intensidad de carbono de la industria Mexicana, 1965-1982 (base = año previo, %).

### *Etapa de 1982 a 1994.*

Los resultados atributivos de la descomposición M-LMDI-II mostraron que el efecto de *intensidad energética* tomó control de la disminución de la intensidad de CO<sub>2</sub> en el SIM. Tal contribución actuó en sentido opuesto a lo presentado por los efectos de *estructura* y *coeficiente de emisión de CO<sub>2</sub>*, los cuales influyeron en el aumento de la intensidad de carbono en esta etapa.

El efecto de *intensidad energética* fue desempeñado principalmente por las industrias de petroquímica y siderurgia. También, se observa que la rama industrial de 'otras' industrias muestra una considerable participación en cuanto a este efecto en los años de 1984, 1986, y 1988. El efecto de intensidad energética puede ser explicado en razón de la apertura comercial de las industrias controladas por el Estado a la inversión privada (nacional y extranjera) como fueron los casos de siderurgia, cemento, azúcar y especialmente la industria petroquímica<sup>92</sup>. Lo anterior como consecuencia de los lineamientos marcados por el GATT (México entro al GATT a partir de 1986) hacia una economía basada en el libre mercado y sobre todo para sanear las finanzas públicas, las cuales estaban en mal estado debido a las crisis económicas de 1982 y 1986. Asimismo, la inestabilidad de los precios del petróleo y una mayor conciencia industrial acerca del ahorro y conservación de la energía auxiliaron a que la intensidad de carbono relacionada al consumo de energía final presentara un crecimiento moderado a lo largo de la etapa.

El efecto de *estructura* creció a 1.4% tmca la intensidad de carbono del SIM. Las industrias que desempeñaron un rol importante en el crecimiento de la intensidad de carbono debido a este efecto

<sup>92</sup> El gobierno Mexicano reclasificó los productos petroquímicos en 1986, 1988, y 1992.

fueron: petroquímica, cemento y siderurgia. Si bien, el cambio en la intensidad de carbono continúa siendo controlado por las grandes industrias tradicionales en lo que respecta a este efecto, es apreciable que industrias de carácter exportador como automotriz, aluminio, cerveza y malta y vidrio, entre otras empiezan a ganar importancia en la estructura del sector industrial y en el panorama económico del país.

El efecto del coeficiente de emisión de CO<sub>2</sub> sobre la intensidad de carbono del SIM creció a razón de 0.2% tmca. Este efecto de descomposición fue prácticamente llevado a cabo por la actividad industrial de ‘otras’ industrias. Las emisiones de CO<sub>2</sub> de esta actividad industrial pasaron de 13.4 Mt CO<sub>2</sub> en 1982 a 16.7 Mt CO<sub>2</sub> en 1994 situándola como primer emisor de CO<sub>2</sub> en el SIM. Esto como consecuencia de un aumento del consumo de energía final, en la cual se destaca un aumento en el consumo de consumo de combustóleo y de electricidad.

El comportamiento de los efectos atributivos de la descomposición M-LMDI-II de la intensidad de carbón en la industria Mexicana para la etapa de 1982 a 1994 se muestra en la figura 2.23. Las tablas 2.31, 2.32, y 2.33 resumen los atributos de los efectos de descomposición M-LMDI-II en la intensidad de carbono de la industria Mexicana para la etapa de 1982 a 1994.

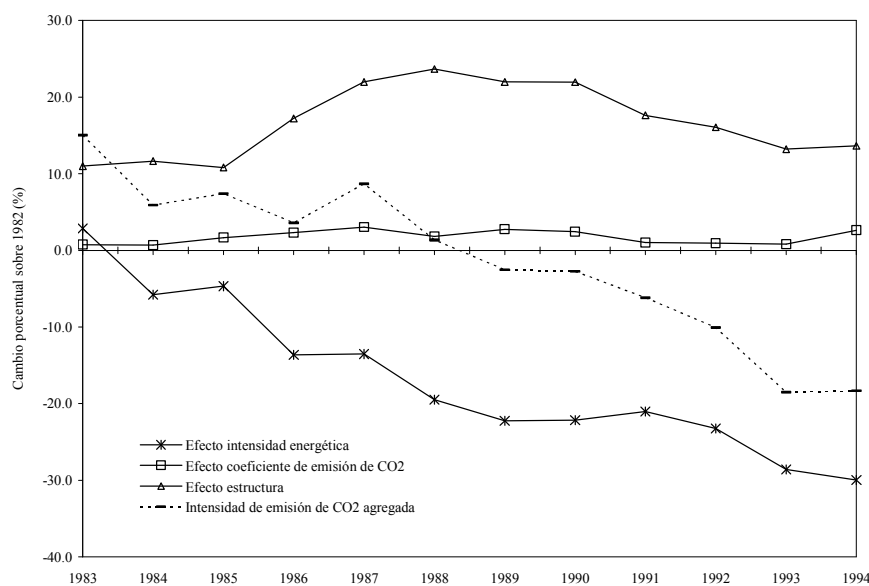


Figura 2.20.

Atributos de descomposición M-LMDI-II de la intensidad de carbono de la industria Mexicana, 1982-1994 (base = 1982, %).

Año	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	% cambio
1983	-0.38	-3.41	-0.08	-0.12	0.90	0.00	0.10	-0.15	0.23	0.22	0.00	0.00	0.06	-0.12	0.01	-0.02	5.60	2.86
1984	0.42	-2.32	-0.22	-0.11	-1.17	0.00	0.04	-0.01	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.20	0.00	0.00	-5.00	-8.50
1985	-0.06	-1.77	-0.07	0.21	-0.10	0.00	0.07	-0.05	0.10	-0.03	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	2.59	0.91
1986	-0.47	-1.48	0.75	-0.48	0.55	0.00	-0.30	-0.03	0.06	-0.01	-0.01	-0.02	-0.01	0.54	0.00	-0.20	-7.82	-8.93
1987	0.20	-2.27	-1.58	-1.11	0.69	0.03	0.03	-0.04	0.08	-0.03	0.01	0.06	-0.02	0.06	0.00	0.05	3.76	-0.08
1988	0.37	-0.18	-0.74	-0.25	3.17	0.02	0.11	-0.50	-0.10	0.01	0.01	0.05	0.05	0.08	0.00	-0.54	-8.03	-6.47
1989	0.08	-6.69	-0.03	-0.30	-2.13	-0.01	0.03	0.00	0.32	-0.09	0.19	0.10	0.04	0.38	0.00	-0.19	3.98	-4.33
1990	0.35	0.53	-0.02	0.40	-2.67	0.20	0.00	-0.02	-0.29	0.05	-0.01	0.01	-0.01	0.60	0.00	0.01	1.65	0.78
1991	-0.68	3.45	0.37	0.00	-0.72	0.10	-0.08	-0.13	-0.55	-0.02	-0.01	-0.14	0.01	-0.34	0.00	-0.26	0.72	1.74
1992	-0.10	-2.15	-0.13	-0.03	-0.79	0.08	-0.14	-0.01	-0.40	-0.06	0.00	-0.03	-0.02	-0.01	0.00	0.07	0.68	-3.04
1993	-0.46	-7.83	-0.20	-0.60	-1.65	-0.05	-0.01	0.12	-0.19	-0.08	-0.01	0.38	-0.08	-0.07	0.00	-0.15	1.16	-9.72
1994	-0.31	-0.51	0.65	-1.14	-0.10	-0.02	0.06	-0.04	-0.09	0.04	-0.03	-0.10	0.02	-0.07	0.00	-0.41	-0.33	-2.37
Media	-0.09	-2.05	-0.11	-0.29	-0.33	0.03	-0.01	-0.07	-0.06	0.00	0.01	0.03	0.00	0.07	0.00	-0.14	-0.08	-3.10

Sub-sectores: S1: Azúcar, S2: Petroquímica, S3: Química, S4: Cemento, S5: Siderurgia, S6: Aguas envasadas, S7: Aluminio, S8: Automotriz, S9: Celulosa y papel, S10: Cerveza y malta, S11: Construcción, S12: Fertilizantes, S13: Hule, S14: Minería, S15: Tabaco, S16: Vidrio, S17: 'Otras' industrias.

Tabla 2.31.

Resultados atributivos de la descomposición M-LMDI-II del efecto de intensidad energética en la intensidad de carbono de la industria Mexicana, 1982-1994 (base = año previo, %).

Año	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	% cambio
1983	1.04	6.36	1.56	-0.17	0.68	0.02	0.01	-0.23	0.30	-0.10	-0.06	-0.02	0.00	0.33	0.00	0.25	1.04	11.00
1984	-0.18	-0.86	0.23	0.41	1.33	-0.03	0.02	0.15	0.09	-0.01	0.00	0.02	0.02	-0.09	0.00	-0.04	-0.38	0.69
1985	-0.01	-0.12	0.04	0.51	-0.96	0.01	0.01	0.16	0.09	0.02	-0.01	0.04	0.02	-0.17	0.00	0.06	-0.15	-0.46
1986	0.95	3.25	0.23	0.50	-0.42	0.01	0.01	-0.20	0.18	0.10	-0.02	-0.01	-0.04	0.06	0.00	-0.05	0.59	5.14
1987	0.02	2.13	0.19	1.23	0.60	-0.02	0.08	0.08	0.00	0.04	0.00	0.14	0.00	0.08	0.00	0.30	-0.38	4.47
1988	-0.66	0.64	0.17	-0.27	0.79	0.02	0.00	0.14	0.02	0.01	-0.01	-0.08	0.01	-0.09	0.00	-0.09	-0.19	0.41
1989	-0.45	1.50	-0.23	-0.47	-0.87	0.05	-0.02	0.05	0.32	0.06	-0.02	0.02	0.00	-0.29	0.00	0.09	0.05	-0.21
1990	-0.78	0.75	-0.23	-0.53	0.59	-0.03	-0.02	0.04	-0.04	-0.01	0.01	-0.13	-0.02	-0.16	0.00	0.03	-0.13	-0.67
1991	0.74	-2.49	-0.20	0.11	-1.57	-0.01	-0.04	0.05	0.03	-0.01	0.01	-0.10	0.00	-0.11	0.00	0.15	-0.19	-3.64
1992	-0.33	0.21	0.00	0.33	-0.50	-0.02	-0.01	0.03	-0.13	0.03	0.01	-0.33	-0.01	-0.15	0.00	-0.06	-0.16	-1.07
1993	0.60	-0.93	-0.22	0.27	0.96	0.04	-0.01	-0.05	-0.12	0.05	0.02	-0.02	-0.04	0.08	0.00	-0.05	0.00	0.60
1994	-0.59	0.22	-0.19	0.65	0.80	0.02	-0.02	0.00	-0.09	-0.01	0.03	0.09	0.00	-0.12	0.00	-0.05	-0.23	0.52
Media	0.03	0.89	0.11	0.21	0.12	0.00	0.00	0.02	0.05	0.01	0.00	-0.03	-0.01	-0.05	0.00	0.05	-0.01	1.40

Sub-sectores: S1: Azúcar, S2: Petroquímica, S3: Química, S4: Cemento, S5: Siderurgia, S6: Aguas envasadas, S7: Aluminio, S8: Automotriz, S9: Celulosa y papel, S10: Cerveza y malta, S11: Construcción, S12: Fertilizantes, S13: Hule, S14: Minería, S15: Tabaco, S16: Vidrio, S17: 'Otras' industrias.

Tabla 2.32.

Resultados atributivos de la descomposición M-LMDI-II del efecto de estructura en la intensidad de carbono de la industria Mexicana, 1982-1994 (base = año previo, %).

Año	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	% cambio
1983	0.25	0.00	0.04	0.04	0.06	0.00	0.01	0.02	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.06	0.00	0.00	0.25	0.76
1984	0.05	-0.20	-0.01	-0.01	-0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	0.00	0.00	0.28	-0.07
1985	0.36	0.01	-0.02	-0.02	0.03	0.00	-0.01	-0.01	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00	-0.01	0.57	0.96
1986	-0.54	-0.01	0.09	0.11	0.11	0.01	0.03	0.03	0.05	0.01	0.01	0.01	0.01	0.14	0.00	-0.02	0.71	0.74
1987	-0.43	-0.01	0.21	0.19	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.05	0.01	-0.03	0.00	0.03	0.47	0.52
1988	0.92	0.00	-0.34	-0.30	-0.76	0.00	-0.01	-0.02	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	0.00	0.10	-0.26	-0.69
1989	0.14	0.56	-0.01	0.12	0.30	0.00	-0.01	0.00	-0.04	0.00	0.00	0.02	0.00	-0.18	0.00	0.01	-0.20	0.70
1990	0.28	0.01	-0.11	-0.11	-0.41	-0.04	0.00	0.00	0.14	-0.04	0.00	-0.02	0.00	0.23	0.00	0.06	-0.30	-0.31
1991	-0.83	-0.08	0.13	0.12	-0.04	0.00	-0.01	0.00	-0.33	-0.03	0.00	0.03	0.00	-0.17	0.00	-0.16	-0.22	-1.58
1992	0.32	0.05	-0.11	-0.15	0.10	0.04	0.00	-0.02	-0.03	-0.04	0.00	-0.03	0.00	-0.11	0.00	0.00	-0.07	-0.07
1993	-0.78	0.26	0.07	0.06	0.31	-0.04	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.02	0.01	0.02	0.00	0.01	-0.20	-0.24
1994	0.02	-0.24	0.21	0.13	0.31	0.02	0.01	0.03	0.11	0.01	0.01	0.05	0.01	0.17	0.00	0.06	1.22	2.13
Media	-0.02	0.03	0.01	0.01	-0.01	0.00	0.00	0.00	-0.01	-0.01	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00	0.01	0.19	0.24

Sub-sectores: S1: Azúcar, S2: Petroquímica, S3: Química, S4: Cemento, S5: Siderurgia, S6: Aguas envasadas, S7: Aluminio, S8: Automotriz, S9: Celulosa y papel, S10: Cerveza y malta, S11: Construcción, S12: Fertilizantes, S13: Hule, S14: Minería, S15: Tabaco, S16: Vidrio, S17: 'Otras' industrias.

Tabla 2.33.

Resultados atributivos de la descomposición M-LMDI-II del efecto de coeficiente de emisión de CO<sub>2</sub> en la intensidad de carbono de la industria Mexicana, 1982-1994 (base = año previo, %).

### Etapa de 1994 a 2003

En esta etapa, el análisis atributivo mostró que los tres efectos analizados, *coeficiente de emisión de CO<sub>2</sub>*, *intensidad energética* y *estructura*, fueron participes de la disminución de la intensidad de carbono del SIM. El efecto de intensidad energética decreció la intensidad de carbono del SIM en 1.0% tmca, el efecto del coeficiente de emisión de CO<sub>2</sub> en 0.08% tmca, y el efecto de estructura en 0.2% tmca. La evolución de estos efectos de descomposición pueden observarse en la figura 2.24.

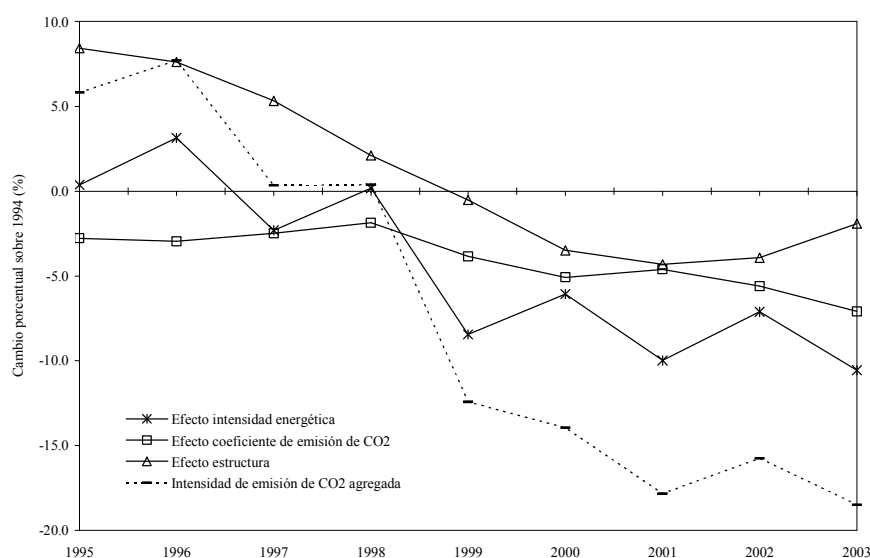


Figure 2.21.

Atributos de descomposición M-LMDI-II de la intensidad de carbono de la industria Mexicana, 1994-2003 (base = 1994, %).

En el caso del efecto de intensidad energética, las industrias representativas fueron siderurgia, química y celulosa y papel. El efecto del coeficiente de emisión de CO<sub>2</sub> destacó la participación de las industrias de siderurgia, química, azúcar y 'otras' industrias. Y el efecto de estructura fue caracterizado por el actuar de las industrias de petroquímica, siderurgia, y cemento. Se observa que, el desempeño de las industrias siderurgia y química resultaron definitivas en el descenso de la intensidad de carbono del SIM.

En general, los efectos conjuntos pueden ser explicados en razón de la apertura comercial a gran escala de la economía mexicana, del incremento de la inversión extranjera directa, sobre todo en industrias de carácter exportador, y de la promoción de programas de ahorro y conservación energética en la industria, entre otros factores. La inversión extranjera directa, permitió a la industria adquirir tecnología más eficiente, implementar programas de ahorro de energía y capacitación de recursos humanos con el fin de abrirse camino ante la creciente competencia nacional e internacional. De acuerdo al Banco de México, la inversión extranjera directa pasó de 10.9 billones de dólares en 1994, a 26.7 billones de dólares en 2001. La mayor parte de esta inversión fue enfocada a industrias manufactureras de productos metálicos, maquinaria y equipo, químicos y derivados, productos de plástico, hule, tabaco, etc. Así también, en virtud de la creciente participación de la industria en el contexto del TLCAN, el gobierno Mexicano modificó la Ley General de Equilibrio Ecológico con el fin de inducir el cambio tecnológico e impulsar nuevas actividades productivas en un marco de eficiencia y sustentabilidad. De 29 regulaciones ambientales relacionadas a la emisión de gases a la atmósfera, 23 fueron especificadas para la industria manufacturera. Las tablas 2.34, 2.35, y 2.36 muestran los atributos de la descomposición M-LMDI-II de la industria Mexicana para la etapa de 1994 a 2003.

Año	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	% cambio
1995	-0.02	-0.26	-1.33	0.33	-0.36	-0.12	-0.01	-0.04	-0.97	-0.24	0.00	-0.32	0.00	0.50	0.00	-0.37	3.59	0.37
1996	-0.28	0.29	1.17	-0.35	0.73	0.01	0.01	0.04	0.58	0.30	0.06	0.19	0.04	0.62	0.00	0.30	-0.86	2.85
1997	0.33	-0.59	-0.03	-0.46	-1.03	0.04	0.08	-0.01	-0.52	0.00	-0.04	0.03	0.02	-0.45	0.01	0.20	-2.79	-5.22
1998	0.12	0.14	0.34	0.66	-0.17	-0.03	-0.07	0.00	0.19	0.05	0.00	-0.02	-0.01	0.36	0.00	-0.16	0.95	2.34
1999	-0.30	-0.04	-1.18	-1.12	-0.97	0.04	-0.03	0.09	-0.32	-0.13	0.02	0.19	-0.04	-0.18	0.00	-0.13	-4.49	-8.57
2000	-0.17	-0.46	1.49	1.66	1.71	0.00	0.02	-0.25	-0.43	0.05	0.02	-0.49	0.02	0.04	-0.01	-0.11	-0.17	2.92
2001	-0.41	-0.70	-1.46	-0.09	-2.80	-0.04	-0.07	0.05	-0.41	-0.09	0.01	-0.05	0.10	-0.36	0.00	0.43	2.07	-3.83
2002	0.20	0.09	-0.86	-0.60	-2.60	-0.04	0.00	-0.04	-0.23	-0.13	-0.02	0.16	-0.01	-0.14	0.01	-0.47	7.74	3.05
2003	-0.08	-0.07	-1.11	0.25	-1.34	0.01	-0.02	-0.02	-0.07	0.03	0.00	-0.03	0.03	-0.92	0.00	-0.17	0.06	-3.47
Media	-0.07	-0.18	-0.33	0.03	-0.76	-0.01	-0.01	-0.02	-0.24	-0.02	0.00	-0.04	0.02	-0.06	0.00	-0.05	0.68	-1.06

Sub-sectores: S1: Azúcar, S2: Petroquímica, S3: Química, S4: Cemento, S5: Siderurgia, S6: Aguas envasadas, S7: Aluminio, S8: Automotriz, S9: Celulosa y papel, S10: Cerveza y malta, S11: Construcción, S12: Fertilizantes, S13: Hule, S14: Minería, S15: Tabaco, S16: Vidrio, S17: 'Otras' industrias.

Tabla 2.34.

Resultados atributivos de la descomposición M-LMDI-II del efecto de intensidad energética en la intensidad de carbono de la industria Mexicana, 1994-2003 (base = año previo, %).

Año	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	% cambio
1994	0.03	-0.01	-0.23	-0.10	-0.05	-0.02	-0.01	-0.03	-0.18	-0.04	-0.01	-0.04	-0.01	-0.19	0.00	-0.02	-1.86	-2.77
1995	0.22	0.01	-0.11	-0.06	-0.52	-0.01	0.00	0.00	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.04	0.00	-0.01	0.25	-0.21
1996	-0.31	0.02	0.02	0.02	0.08	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.01	0.55	0.49
1997	0.30	-0.06	0.05	-0.01	0.02	0.01	0.00	0.01	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.01	0.23	0.69
1998	-0.27	-0.05	-0.15	-0.12	0.01	-0.01	0.00	-0.01	-0.06	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.07	0.00	-0.01	-1.25	-2.02
1999	-0.51	-0.01	-0.25	0.19	-1.15	0.00	-0.01	-0.01	0.03	0.03	0.01	-0.05	0.00	0.04	0.00	-0.07	0.34	-1.42
2000	-0.06	-0.01	0.04	-0.11	0.66	0.01	0.01	0.00	0.04	0.01	0.00	0.00	0.01	0.12	0.00	-0.75	0.61	0.59
2001	-0.18	0.00	-0.13	-0.30	-0.05	-0.01	0.00	-0.01	-0.02	0.03	0.00	0.00	0.00	-0.04	0.00	0.89	-1.17	-1.02
2002	-0.08	0.01	-0.31	-0.25	-0.13	0.00	0.00	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	-0.95	-1.63
Media	-0.09	-0.01	-0.12	-0.08	-0.13	0.00	0.00	0.00	-0.01	0.00	0.00	-0.01	0.00	-0.01	0.00	0.01	-0.36	-0.81

Sub-sectores: S1: Azúcar, S2: Petroquímica, S3: Química, S4: Cemento, S5: Siderurgia, S6: Aguas envasadas, S7: Aluminio, S8: Automotriz, S9: Celulosa y papel, S10: Cerveza y malta, S11: Construcción, S12: Fertilizantes, S13: Hule, S14: Minería, S15: Tabaco, S16: Vidrio, S17: 'Otras' industrias.

Tabla 2.35.

Resultados atributivos de la descomposición M-LMDI-II del efecto de coeficiente de emisión de CO<sub>2</sub> en la intensidad de carbono de la industria Mexicana, 1994-2003 (base = año previo, %).

Año	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	% cambio
1994	1.03	0.85	1.35	-1.37	4.29	0.04	-0.02	-0.04	0.42	0.08	-0.13	0.28	-0.01	0.31	0.00	0.26	1.10	8.44
1995	-0.09	-0.89	-0.46	0.19	1.01	-0.04	0.06	0.09	-0.02	-0.05	0.00	0.02	0.03	-0.11	0.00	-0.03	-0.53	-0.81
1996	-0.45	-1.10	-0.12	-0.43	0.53	-0.05	0.00	0.03	-0.17	-0.01	0.00	-0.28	0.00	-0.26	-0.01	-0.04	0.18	-2.19
1997	-0.12	-0.81	-0.47	-0.36	-1.03	0.03	0.01	0.02	-0.03	0.02	-0.01	-0.19	0.03	-0.20	0.00	0.05	0.13	-2.90
1998	-0.35	-0.69	0.05	-0.17	-0.89	0.00	-0.02	0.04	0.06	0.03	0.00	-0.15	-0.02	-0.40	0.00	-0.23	0.12	-2.60
1999	-0.40	-0.50	-0.73	-0.16	-0.72	0.01	-0.01	0.09	-0.17	-0.03	-0.01	-0.23	-0.02	-0.13	0.00	-0.06	-0.08	-3.16
2000	0.67	-0.12	-0.72	-0.09	-1.63	0.04	0.01	-0.02	0.04	0.12	-0.02	-0.01	-0.08	0.31	0.00	0.09	0.11	-1.29
2001	-0.35	-0.03	0.23	0.30	0.57	0.03	-0.01	0.02	0.02	0.06	0.02	-0.14	-0.03	0.03	0.00	0.23	-0.42	0.52
2002	0.16	0.14	0.33	0.10	1.37	0.03	-0.01	-0.04	0.06	0.06	0.03	-0.01	0.02	0.22	0.00	-0.26	-0.31	1.90
Media	0.01	-0.35	-0.06	-0.22	0.39	0.01	0.00	0.02	0.02	0.03	-0.01	-0.08	-0.01	-0.02	0.00	0.00	0.03	-0.23

Sub-sectores: S1: Azúcar, S2: Petroquímica, S3: Química, S4: Cemento, S5: Siderurgia, S6: Aguas envasadas, S7: Aluminio, S8: Automotriz, S9: Celulosa y papel, S10: Cerveza y malta, S11: Construcción, S12: Fertilizantes, S13: Hule, S14: Minería, S15: Tabaco, S16: Vidrio, S17: 'Otras' industrias.

Tabla 2.36.

Resultados atributivos de la descomposición M-LMDI-II del efecto de estructura en la intensidad de carbono de la industria Mexicana, 1994 a 2003 (base = año previo, %).

## 2.5 Resultados.

El presente capítulo mostró una retrospectiva del Sector Industrial Mexicano con base en la aplicación de métodos ampliamente utilizados a nivel internacional. Las metodologías empleadas recayeron en modelos de descomposición de la energía, intensidad energética y emisiones de bióxido de carbono. Tales modelos, a su vez, se basaron en indicadores económicos y energéticos con el objetivo de encontrar una explicación a los cambios o influencias de ciertos factores específicos en el tiempo.

Los modelos de descomposición aplicados, fueron desde la aplicación de la técnica basada en el índice de Laspeyres simple y Laspeyres refinado (en forma periódica y serie de tiempo), hasta la técnica basada en el índice de Divisia, en su versión multiplicativa y extensión atributiva. Los resultados obtenidos ofrecieron una perspectiva clara de los factores que afectaron la demanda de energía de uso final, intensidad energética y emisiones de bióxido de carbono en el Sector Industrial Mexicano, como caso particular de estudio. Los modelos de descomposición simple basados en el índice de Laspeyres presentaron residuales considerablemente grandes, y difíciles de ser explicados. Sin embargo, ofrecieron una perspectiva no muy lejana de los resultados observados con una descomposición

completa y refinada del índice de Laspeyres. La aplicación de la metodología de descomposición basada en el índice de Divisia, ofreció un punto de comparación con las técnicas basadas en el índice de Laspeyres, ambas metodologías brindan una descomposición completa, pero la descomposición basada en el índice de Laspeyres tiende a sobrevalorar los efectos analizados cuando se trata de períodos muy largos, sólo en el caso de un análisis de tipo periódico, ya que esto no se presenta cuando se trata de un análisis de serie de tiempo. Los efectos calculados por Laspeyres o Divisia son bastante similares, tanto en forma agregada y desagregada cuando se utilizan series de tiempo. En términos generales, las técnicas basadas en índices resultaron ser un buen instrumento para medir y desagregar la demanda total de energía y su relación con las emisiones de CO<sub>2</sub>.

### ***Sector Industrial Mexicano***

La industria Mexicana se desarrolló en concordancia con el modelo económico prevaleciente en el país. Desde el modelo de sustitución de importaciones durante la década de los 70s, hacia una etapa de transición con grandes cambios estructurales en la década de los 80s, hasta una economía totalmente abierta y basada en el libre comercio internacional en la década de los 90s y hasta la fecha. Así, la importancia de la diversificación del sector industrial Mexicano para el desarrollo económico del país se hace más patente en virtud de los compromisos adquiridos como los acuerdos ambientales emanados del TLCAN, la convención de Estocolmo, el protocolo de Montreal, el protocolo de Kyoto, entre otros. El período de estudio, 1965-2003, provee suficiente información para entender los factores que han afectado su desarrollo, y de esta forma, servir de ayuda en el desarrollo de estrategias futuras enfocadas a minimizar los efectos negativos del desarrollo económico nacional.

### ***Energía de uso final***

La descomposición completa y la descomposición simple basada en el índice de Laspeyres mostraron que las ramas del azúcar, petroquímica, química, cemento, siderurgia, celulosa y papel, y minería fueron las más activas y significativas dentro del período de estudio (1965-2003), ya que describieron el 65 % de la demanda de energía final del SIM. El efecto actividad fue el factor determinante que incrementó el uso de energía final en cada una de las tres etapas analizadas. El efecto de estructura no mostró cambios significativos en comparación con lo mostrado por el efecto de la actividad, en las etapas de 1965 a 1982 y de 1994 a 2003; sin embargo, se destacan las ramas industriales del azúcar, petroquímica, química, cemento, minería y siderurgia durante la etapa de 1982 a 1994. El efecto de intensidad energética, produjo una reducción del consumo de energía final a lo largo de las tres etapas. La etapa de 1982 a 1994 fue la más notable, donde las industrias de azúcar, petroquímica, química, cemento y siderurgia fueron las más activas en la disminución de la demanda de energía de uso final.

### ***Intensidad energética***

La intensidad energética del Sector Industrial Mexicano pasó de 11.8 a 8.71 MJ/USD1993 en el período 1965-2003 a una tmca de -0.8%. En la etapa de 1965 a 1982, la intensidad se incremento en 6.9% situándola en 12.6 MJ/USD1993. De 1982 a 1994, hubo una disminución de la intensidad



energética en 21.4% cayendo a 9.91 MJ/USD1993. En la etapa de 1994 a 2003, la intensidad energética se redujo en 12.1%, equivalente a una tmca de -1.43%. Los resultados del análisis de descomposición manifiestan que el factor predominante en la evolución de la intensidad energética del SIM fue consecuencia del efecto intensidad o intersectorial en las tres etapas del análisis. En cuanto al efecto estructural, éste tendió a incrementarla, principalmente en las etapas 1965-1982 y 1982-1994; y en la etapa 1994-2003, se observó una contracción de este efecto.

Los cambios se exhiben y pueden ser mejor explicados a nivel rama de actividad industrial, donde se señaló que la tendencia del efecto estructural fue causado principalmente por el desempeño de las industrias de petroquímica, química, y cemento en la primera etapa. Mientras que el efecto intensidad, mostró a las industrias de minería y 'otras' industrias como las actividades industriales con mayor contribución hacia una mejora en la eficiencia energética. En la segunda etapa, la mayor parte de las industrias señala un efecto intensidad negativo, lo cual revela que tales industrias optimizaron su uso de recursos energéticos, ya sea a través de programas de ahorro de energía o a la implementación de tecnología más eficiente. Las industrias de petroquímica, siderurgia, vidrio, automotriz, cemento y 'otras' industrias desempeñaron un papel importante en la disminución de la intensidad energética del sector. En cuanto al efecto estructura, se enfatiza la contribución de la industria petroquímica. En la tercera etapa, los resultados de la descomposición de la intensidad energética mostraron una significativa contribución que favoreció su disminución por parte de los dos efectos analizados: intensidad y estructura. En cuanto al efecto intensidad, las industrias de petroquímica, química, siderurgia y celulosa y papel mostraron una contribución tendiente a reducir la intensidad energética, mientras que la rama industrial de 'otras' industrias mostró una significante tendencia a incrementarla. El efecto de estructura muestra a la industria de la siderurgia como el factor relevante en este efecto, las demás ramas industriales no presentaron cambios significativos.

### ***Bióxido de carbono***

La emisión de CO<sub>2</sub> a la atmósfera por el consumo de energéticos de uso final pasó de 18.5 millones de toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub> en 1965 a 65.5 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> en 2003. En 1965, las ramas industriales de azúcar, siderurgia, cemento, química y minería reunían el 60% de las emisiones de bióxido de carbono del SIM y, en 2003, estas mismas industrias constituyeron el 57%. En cuanto a las etapas del análisis, 1965-1982, 1982-1994 y 1994-2003, el incremento porcentual de las emisiones de CO<sub>2</sub> fue de 240.0, 4.6 y 2.7%, respectivamente; observándose que la producción de emisiones en la primer etapa fue definitiva en el aumento de emisiones en el período de estudio.

La descomposición simple mostró que el efecto de actividad se constituyó como el principal factor en el crecimiento de las emisiones de CO<sub>2</sub> del SIM, con una tasa media de crecimiento anual de 4.3% en el período de 1965 a 2003. Las ramas industriales que observaron un crecimiento en su aportación al PIB industrial elevaron su participación en el total de las emisiones de CO<sub>2</sub>, por ejemplo, la industria química, cemento, siderurgia, agua envasada y automotriz. El efecto de intensidad energética se constituyó como el factor que logró disminuir las emisiones de CO<sub>2</sub> totales del SIM, a -0.85% tmca. A nivel rama de actividad económica se destacaron las industrias de aluminio, construcción, automotriz, y celulosa y papel. En cuanto al efecto de estructura se observó que en la etapa 1965-1982 no hubo

cambio significativo en la emisión de CO<sub>2</sub>, propiciado particularmente por la participación de la industria del azúcar y siderurgia. De 1982 a 1994, el aumento de las emisiones totales de CO<sub>2</sub> del SIM se debió al accionar de las ramas industriales de azúcar, petroquímica y siderurgia. En la etapa de 1994 a 2003, se destacaron la participación de la industria de petroquímica, química y cemento. En cuanto a los efectos de la mezcla de combustibles de energía de uso final y para la generación de electricidad no fueron apreciables cambios significativos.

La descomposición completa mostró que, durante el período de 1965 a 2003, el efecto actividad fue responsable del incremento de las emisiones de CO<sub>2</sub>. El efecto actividad, de 1965 a 1982, señaló a las industrias de siderurgia, petroquímica, cemento y química, como las más significativas y representaron el 61% de las emisiones correspondientes a este efecto. El efecto estructura mostró a las ramas industriales de azúcar y petroquímica como las más significativas en cuanto a este efecto; la primera manifestando una tendencia a la baja en cuanto a sus emisiones producidas y la segunda manteniendo su tendencia incremental. El efecto de intensidad energética reveló a las ramas de petroquímica y minería como las industrias más significativas. En lo que corresponde a la etapa 1982-1994, el efecto actividad mostró a las ramas de siderurgia, petroquímica, azúcar, cemento y química como las más activas en su aumento de emisiones. El efecto de estructura señaló a las industrias de petroquímica, cemento y azúcar como las ramas con tendencia incremental; mientras que las industrias de minería y fertilizantes señalaron disminuciones de las emisiones totales del sector. En referencia al efecto de intensidad energética, las ramas de petroquímica, siderurgia, azúcar, cemento y vidrio presentaron una disminución de sus emisiones durante la etapa. Por último, en la etapa 1994-2003, el efecto actividad, mostró a las ramas industriales de siderurgia, azúcar, cemento y química con una tendencia incremental de las emisiones de CO<sub>2</sub>. El efecto de estructura mostró a la industria de siderurgia, petroquímica y cemento como las industrias más significativas en cuanto a este efecto. Referente al efecto de intensidad energética, las ramas industriales que disminuyeron las emisiones fueron siderurgia, química, azúcar, celulosa y papel, y petroquímica. Los efectos debidos a las mezclas de combustibles no presentaron cambios significativos en comparación con los efectos previamente descritos en las etapas de 1965 a 1982 y de 1982 a 1994; para la etapa de 1994 a 2003, la mezcla de combustibles de uso final presentó una reducción de las emisiones totales del SIM.

# Capítulo

# 3

## La prospectiva.

---

### 3.1. Introducción.

Prospectiva es un término actual en medios preocupados por la innovación en el mundo desarrollado. Especialistas en economía energética y áreas afines consideran que independientemente de la naturaleza del proceso de planificación, resulta indispensable contar con algún tipo de análisis prospectivo como instrumento necesario en el proceso de toma de decisiones. La mayor dificultad se encuentra en la relatividad del tiempo; los adelantos tecnológicos y científicos alcanzados al día de hoy han introducido cierto grado de inestabilidad toda vez que la contracción del tiempo va más rápida que nuestra capacidad de adaptación<sup>93</sup>. Tanto gobiernos, organizaciones internacionales y grandes empresas transnacionales emplean de manera generalizada la prospectiva en apoyo a los procesos de decisión sobre el mediano y largo plazo. La industria en particular ha tomado parte activa en estos ejercicios, tanto en países grandes (Japón, Reino Unido, E.U.) como en otros intermedios o menores (Austria, España). En México se planea a corto plazo considerando únicamente el presente y pasado sin prever acerca del futuro provocando la postergación de acciones hasta tener la información suficiente, sin embargo, cuando ya se tiene, la implementación de alguna acción que produzca los resultados deseados ya no produce los resultados esperados<sup>94</sup>. Por tal motivo, en el presente capítulo se presenta la definición y creación de un escenario base sobre el consumo de energía de uso final en la industria Mexicana, el cual pudiera ser utilizable en el diseño de una planificación futura y sustentable.

---

<sup>93</sup> Onofre (1987).

<sup>94</sup> Fundación Javier Barros Sierra, A.C., 1975. Organización fundada con el objetivo de contribuir mediante la investigación sobre futuros a largo plazo.

### 3.1.1 ¿Qué es prospectiva?

El futuro en parte es previsible y en parte es diseñable y construible. Así, bajo el significado de esta premisa, nace la prospectiva como herramienta de planeación y toma de decisiones en busca de un futuro con menor incertidumbre. Existen numerosas conceptualizaciones acerca del término prospectiva; de acuerdo a la OCDE, esta es definida como un conjunto de intentos sistemáticos para mirar a largo plazo el futuro de la ciencia, la tecnología, la economía y la sociedad con el fin de identificar aquellas tecnologías genéricas emergentes que probablemente generarán los mayores beneficios económicos y/o sociales<sup>95</sup>. Tobar (2000) especifica la prospectiva como el estudio de las causas científicas, técnicas, económicas, políticas, sociales y culturales que aceleran la evolución del mundo moderno y la previsión de las situaciones que surgen de sus influencias conjugadas. Para Miklos y Tello (1991), la prospectiva consiste en atraer y concentrar la atención sobre el futuro, imaginándolo a partir de éste y no del presente. Por lo anterior, hacer prospectiva es interrogarse al respecto de los grandes problemas y desafíos de la sociedad, y explorar los cambios técnicos, tecnológicos, políticos, económicos, sociales, etc., con el fin de explorar diversos futuros posibles basados en la proyección de una planeación acoplada al paso del tiempo.

El campo de la prospectiva se desarrolló según los siguientes periodos (Licha, 2000):

- La etapa de las proyecciones lineales (entre 1960-1965), se caracterizó por una proliferación de análisis predictivos basados en proyecciones lineales de las tendencias pasadas. Se les llamó “proyecciones sin sorpresa” y fue a manera de período, destaca la obra *El Año 2000* de Herman Kahn.
- La etapa de los futuros alternativos (entre 1965-1970), se abandonaron las proyecciones lineales y se inició una exploración de futuros “no esperados” sino “inventados”, bajo la premisa de que el mañana puede ser, si no creado, al menos significativamente influenciado. Destaca la obra *El arte de la conjetura* de Bertrand de Jouvenel, 1964<sup>96</sup>. En esta obra se expone el cambio de concepción sobre el futuro, ya no como destino único e inexorable sino como múltiple y creable/influenciable.
- El enfoque sistémico se presenta en la década de los 70s, se caracterizó por el desarrollo de matrices de impacto cruzados, y la fundamentación de escenarios en el marco de la teoría de sistemas, principalmente debido al aporte de Michel Godet<sup>97</sup>.
- La etapa de re-fundamentación del método prospectivo (desde fines de los 70), en la cual aparece una crítica aguda de los aspectos normativos y axiológicos de la prospectiva,

<sup>95</sup> La definición más usual de prospectiva tecnológica es la que se debe al Prof. Ben Martin y que ha sido adoptada por la OCDE.

<sup>96</sup> La década de los 60s se caracterizó por una gran difusión y proliferación de los estudios sobre el futuro. Francia lideró esta moda con Gastón Berger (Centre International de Prospective en France) y Bertrand de Jouvenel (Grupos Futuribles): “construir el futuro significa vincular el conocimiento que viene del pasado y del presente a la opción y a la acción”. *La prospectiva: ciertos apuntes para un marco conceptual*. Arq. María Micaela Leal de Rodríguez.

<sup>97</sup> La propuesta de Michel Godet, se basa en el Humanismo para proponer que el futuro puede ser creado y modificado por las acciones de los actores sociales, ya sea individuales u organizados, y propone estudios que caracterizan la sociedad futura en sus diversos enfoques: social, económico y cultural. *La prospectiva: Herramienta indispensable en una era de cambios*. Fernando Ortega San Martín.

advirtiéndose el peligro de ver el futuro ‘con los ojos cansados del presente’ y extrapolando problemas anclados en las concepciones de hoy. Este período incluye una crítica a los distintos usos de la prospectiva: dominación, recuperación, demagogia, y surge en él la exigencia de democratizar el ejercicio para lograr una prospectiva pluralista.

En América Latina el desarrollo de la planeación prospectiva es reciente, su institucionalización es escasa. Uno de los principales impulsores de los estudios prospectivos en América Latina es Amílcar Herrera<sup>98</sup>, quien dirigió el estudio conocido como el Modelo Mundial Bariloche, respuesta latinoamericana a la obra Los Límites del Crecimiento, del Club de Roma. Las agencias del sistema de Naciones Unidas (principalmente UNESCO, UNITAR, OPS), otras agencias de desarrollo (UE, OCDE, FOCAL, CLACSO) y algunas universidades han impulsado la construcción de escenarios en la región latinoamericana.

El fundamento central de la prospectiva es considerar que el futuro no es único e inexorable, pero que los hechos y situaciones pueden adquirir diferentes configuraciones llegando a establecer conjuntos de alternativas que pueden ser explorados con anticipación. Las definiciones relacionadas con la prospectiva o para el estudio del futuro utilizan las siguientes herramientas:

*Proyección:* es la extensión al futuro de los desarrollos pasados usando ciertas suposiciones para la extrapolación o variación de tendencias. Una proyección constituye un pronóstico sólo cuando está basado en probabilidades.

*Pronóstico:* es la valoración, con un cierto grado de confianza (probabilidad), de una tendencia en un período dado. Esta valoración esta basada en datos del pasado y en un cierto número de supuestos.

*Análisis prospectivo:* es un panorama de los posibles futuros o escenarios, que no son improbables a la luz de las causalidades pasadas y de la interacción entre las intenciones de las partes interesadas.

*Planeación:* consiste en la concepción de un futuro deseado y de los medios prácticos para alcanzarlo (Ackoff, 1984).

### **3.1.2 Utilidad de los estudios de prospectiva.**

Los ejercicios de prospectiva tecnológica realizados por los países de la OCDE en los últimos años han absorbido la atención de empresarios, gobiernos y académicos consiguiendo que los temas de ciencia y tecnología presenten un perfil más visible hacia la sociedad. Una consecuencia importante de esta visibilidad es que las recomendaciones de estos ejercicios han sido tomadas en cuenta por sectores de gobierno que anteriormente no prestaban atención a los organismos de ciencia y tecnología, ni a sus planes. Además, los ejercicios de prospectiva han mostrado tener una gran importancia para vincular a industriales con tecnólogos, centros tecnológicos, etc. Uno de los objetivos más usuales de los

---

<sup>98</sup> Castelló-Tarrega M. M., Callejo J., 2000. La Prospectiva Tecnológica y sus Métodos. Secretaria para la Tecnología, la Ciencia y la Innovación Productiva. Dirección Nacional de Planificación y Evaluación.

ejercicios de prospectiva es la definición de prioridades en ciencia y tecnología, teniendo en cuenta las previsiones de las tecnologías predominantes en el mediano y largo plazo, mientras que los ejercicios habituales de definición de prioridades lo hacen basándose en el estado del arte, las necesidades o las demandas tecnológicas y productivas al momento actual<sup>99</sup>.

### **3.1.3 Planeación.**

La planeación es un concepto intrínseco en el desarrollo de la prospectiva, sin embargo, existen divergencias acerca del significado de ciertos conceptos relacionados: *plan*, *planeación* y *planificación* como lo establecen diversos autores. El *plan* representa la concreción documental del conjunto de decisiones explícitas y congruentes para asignar recursos a propósitos preestablecidos. La *planeación* implica el proceso requerido para la elaboración del plan. En cambio, la *planificación* representa el ejercicio (la aplicación concreta) de la planeación vinculada con la instrumentación teórica requerida para transformar la economía o la sociedad. La planificación es entendida como la tecnología de anticipación de la acción política en materia social y/o económica. El carácter anticipatorio de la planeación implica necesariamente que ésta debe ser realizada previamente a los sucesos. En este sentido, se planea con, por lo menos, uno de los siguientes objetivos en mente (Miklos, 1998):

- Aminorar los efectos negativos de algo indeseable que, se prevé, pudiera ocurrir en el futuro.
- Aprovechar futuras conjeturas favorables.

Por lo general, la planeación se entiende como un proceso de reflexión sobre qué hacer para pasar de un presente conocido a un futuro deseado. La planeación, como técnica o instrumento, se encuentra destinada a adecuar y racionalizar el proceso de toma de decisiones.

#### **3.1.3.1 Metodologías en el proceso de planeación.**

Existen cuatro metodologías de reciente aplicación en el proceso de planeación de naturaleza política y social:

- Planeación estratégica
- Planeación interactiva
- Planeación política
- Planeación prospectiva

*Planeación estratégica*, es el esfuerzo sistemático y más o menos formal de una institución u organización política para establecer sus propósitos, objetivos, políticas y estrategias básicos, para desarrollar planes detallados que pongan en práctica las políticas y estrategias que los lleven a lograr sus objetivos y propósitos fundamentales.

---

<sup>99</sup> “La investigación científica y tecnológica en Argentina: Un análisis de las Áreas de vacancia desde la demanda”, 1999.

*Planeación interactiva*, los seis principios del modelo de planeación interactiva son: prospectivo, participativo, sistémico, de continuidad, estratégico, holístico (Miklos y Tello, 1993).

*Principio prospectivo.* Se considera al futuro como horizonte abierto, susceptible no sólo de ser diseñado sino también construido.

*Principio participativo.* La riqueza y el beneficio de un ejercicio de planeación se encuentran más en su proceso que el producto. Esto implica, entre otros elementos, lograr la participación en su diseño e implantación.

*Principio sistémico.* El modelo considera prioritario el análisis y funcionamiento sistémico con el propósito de obtener un incremento en la eficacia y en la relevancia.

*Principio de continuidad.* Conlleva la presencia de actitudes dinámicas, creativas y sistemáticas. Implica la capacidad de aprendizaje del sistema y una adaptación constante hacia las nuevas demandas y requerimientos. Dado que los sistemas y su entorno se modifican constantemente, no existe ningún plan que conserve su valor con el tiempo.

*Principio estratégico.* En éste destacan dos aspectos básicos: Información y sensibilidad. El primero implica la necesidad de generar, analizar y circular información prioritaria y significativa, tanto en una perspectiva inmediata como de largo alcance. El segundo se refiere al nivel de sensibilidad no sólo para analizar las oportunidades sino para aprovecharlas o crearlas, rebasando la sola reacción coyuntural.

*Principio holístico.* Implica tanto la perspectiva global como la integridad e integración del sistema. La perspectiva global es aquella en la que cada elemento, con sus propiedades y comportamientos, desempeña un rol importante en un marco amplio. Por su parte, la integración se asocia con una meta común y con la coordinación e interdependencia necesarias para lograrlo.

*Planeación política*, la aplicación de las metodologías de planeación a la política, o la politización de la planeación, responde al contexto social, económico y político de cada país y a cada momento de su historia. La planeación política constituye una actividad que debiera abordarse en forma integrada y unitaria, reconociendo las múltiples interrelaciones que existen entre los procesos económicos, políticos, sociales y físicos<sup>100</sup>. De acuerdo a Blake (1984), la planeación política no es posible con el solo hecho de controlar las variables más importantes ni tampoco interpretando la realidad en la elaboración de planes y programas. Son necesarias ambas medidas, no tan sólo la integración teórica del conocimiento de la realidad a través de la fijación de metas de las principales variables políticas y sectores de la sociedad, sino también su valoración empírica. La posibilidad de utilizar los conocimientos sobre la realidad y sobre la modificación de dicha realidad no sólo tiene que ver con la magnitud, exactitud e integración teórica de dichos conocimientos, sino que depende en mayor medida de la construcción de una teoría normativa de la acción racional.

---

<sup>100</sup> En México, la planeación se ha llevado a cabo con un énfasis sectorial, sin consideraciones coherentes del espacio y con una visión temporal limitada al corto y mediano plazo.

---

*Planeación prospectiva*, la planeación prospectiva se resume en los cuatro bloques metodológicos siguiente:

1. Para todo fenómeno complejo se abre una multiplicidad de futuros. Debe hablarse, pues, de futuros en plural y no de un futuro en singular cuando se lleva a cabo un ejercicio prospectivo.
2. El futuro no es sólo un objeto potencial de pronóstico probabilístico, sino también el resultado de acciones sobre las que en ocasiones se puede tener influencia directa o tangencial significativa. De este modo, al decir de Ackoff (1979), el futuro es en parte previsible, y en parte diseñable y construible.
3. La adecuada comprensión de la velocidad de cambio de los fenómenos cuyos futuros se busca delinear es pieza clave de la calidad de los pronósticos formulados. No es indispensable que esta comprensión sea sistematizada totalmente o que sea de naturaleza cuantitativa, pero no puede estar ausente pues sin ella los pronósticos difícilmente serán los adecuados.
4. Como el presente es infinitamente denso no resulta conveniente centrarse en él como punto de partida del estudio futuro, aunque resulta cierto que es lo usual en el análisis de coyuntura. Partir del presente multifacético implica recorrer demasiadas trayectorias potenciales de cada porción de la realidad actual.

De este modo, en prospectiva la planeación se enfoca desde el futuro hacia el presente, en contraposición con los enfoques más tradicionales en los que se adoptan perspectivas ancladas en el pasado o en el presente y sobre impuestas como constantes a un futuro que no es sino su reflejo forzado.

### ***3.1.4 Elementos esenciales del proceso prospectivo.***

*Visión Holística.* Induce a mirar sistemáticamente cada elemento con sus propiedades y el rol que desempeñan en el marco del todo. Se debe ver la relación entre las partes y los procesos y sus interdependencias, así como la influencia del medio ambiente.

*Creatividad.* Es el poder de la fantasía que trasciende a la realidad, descubriendo relaciones entre las cosas, sensibilizando la percepción y generando cierto grado de inquietud y anticonformismo, lo cual genera las bases para crear hipótesis; en general es la audacia para emprender nuevos caminos.

*Participación y cohesión.* Facilitan el intercambio de ideas creándose la oportunidad para solucionar conflictos y corregir interpretaciones erróneas y llevar a un acuerdo sobre el objetivo común para la acción decisión, promoviendo de esta forma la cohesión.

*Preeminencia del proceso sobre el producto.* El proceso se da en el momento de diseñar el futuro, con una base axiológica, por lo que tiene necesariamente una carga valorativa sobre el producto de la planeación prospectiva.

*Convergencia – Divergencia.* El diseño del futuro brinda la oportunidad para que quienes sostienen valores diferentes, discutan sus respectivos puntos de vista. Convergencia: Acuerdo en el nivel estratégico de los ideales. La convergencia y divergencia constituye un proceso iterativo en la planeación prospectiva.



*Finalidad constructora.* Se refiere a que no solamente se deben crear futurables o futuribles sino constituirse en vía constructora del futuro. La finalidad constructora de la prospectiva podrá alcanzarse con mayor facilidad si se cuenta con la participación de los (actuales y potenciales) tomadores de decisiones, considerando el papel de los valores e intereses sociopolíticos, a más de una aproximación normativa y de una visión sintética. Esto es con el propósito de tener una dimensión verdaderamente dinámica, constructora y realista, a fin de asegurar en lo posible el apoyo y compromiso no sólo con la imagen futura diseñada, sino con el impulso y motivación para forjar ese porvenir que se considera deseable.

### 3.1.5 Fases de la prospectiva.

La metodología prospectiva, para su aplicación, requiere de las cuatro etapas siguientes (Miklos y Tello, 1991):

1. Normativa
2. Definicional
3. Confrontativa
4. Determinativa

La primera engloba la conformación del futuro deseado, es decir, el diseño del futurible (futuro deseable y posible). La definicional se orienta a la elaboración del modelo de la realidad en la cual habrán de tomarse las decisiones, consiste en la percepción de la realidad. En la tercera se contrastan los resultados de las dos anteriores, provocándose la convergencia para definir el marco de orientación global, representa la estimación del trayecto entre el futuro y el presente. Por último, en la fase de determinación estratégica y de factibilidad se definen los futuros posibles y se muestran opciones políticas concretas, se busca mantener congruencia entre la conceptualización y el desarrollo prospectivo. El proceso prospectivo se muestra en la figura 3.1.

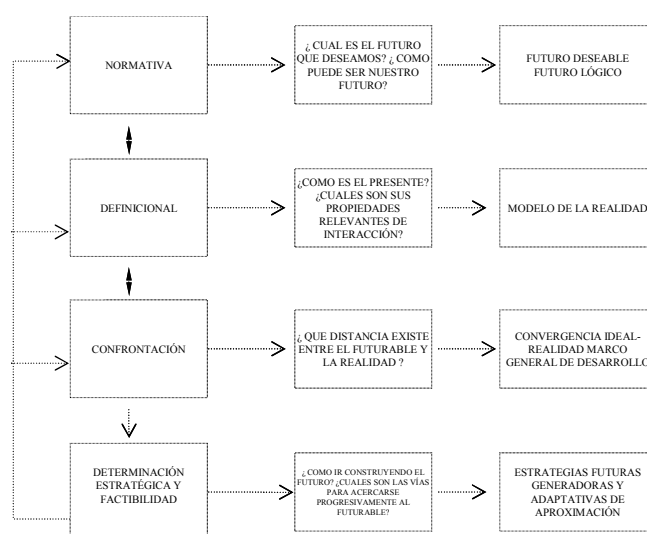


Figura 3.1. Fases del proceso prospectivo. Fuente: Miklos y Tello, 1991.

### 3.1.6 Herramientas para el diseño de futuros.

Técnica	Perfil de procedimiento	Comentarios
<b>Acercamientos cualitativos</b>		
<b>Análisis de fuerzas</b> Objetivo: Detectar la dinámica y composición de las fuerzas del entorno que pueden impulsar el cambio futuro.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Delimitación del campo de estudio</li> <li>• Selección de participantes</li> <li>• Definición de la “fuerza”</li> <li>• Análisis de presente y pasado inmediato de las fuerzas definidas</li> <li>• Selección de un número manejable de fuerzas para ser proyectadas</li> <li>• Elaboración de síntesis que describan la naturaleza pasada de cada fuerza y su repercusión.</li> <li>• Pronosticar la naturaleza futura de cada fuerza, así como predecir su impacto.</li> </ul>	Permite una explicación inicial de ciertos eventos y su impacto. Apoya la elaboración de programas. Su limitación es que generalmente las predicciones de mayor repercusión son abstractas.
<b>Análisis morfológico</b> Consiste en la identificación del problema, la adopción de una perspectiva morfológica, una actitud imparcial y el empleo del procedimiento morfológico.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Formulación concisa del problema</li> <li>• Localización y análisis de aquellos parámetros que pueden ser importantes para la solución</li> <li>• Construcción de la matriz multidimensional</li> <li>• Selección de soluciones óptimas</li> <li>• Implantación</li> </ul>	Objetivo: Investigar los componentes principales de una situación y considerar sus posibles alternativas para su solución. Facilita la selección de alternativas, brinda un panorama concreto del problema y sus soluciones y complementa el empleo de otras técnicas. Únicamente puede darse si la información vital es susceptible de derivarse y de plantearse en forma concisa.
<b>Ariole</b> Más que una técnica constituye una guía para la planeación y mantiene como propósito el apoyar la toma de decisiones a través del conocimiento integral de los diversos factores vinculados a un problema específico.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Obtención de información</li> <li>• Generación de soluciones</li> <li>• Generación de estrategias</li> </ul>	Ariole implica un análisis completo (estadístico, lógico, histórico, semántico) e integran los diversos enfoques con que se percibe una situación. Una de las limitaciones consideradas para esta técnica, sobre todo en países en desarrollo, es la relativa a la existencia y acceso a la información documental y estadística requerida en la 1ra. fase.
<b>Delphi o Delfos</b> Toma su nombre de las consultas realizadas por los antiguos griegos en el oráculo del mismo nombre.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinación del área a analizar</li> <li>• Elección de expertos</li> <li>• Brindar información sobre los objetivos de la consulta</li> <li>• Realización de la consulta</li> <li>• Síntesis e información de resultados.</li> </ul>	Consiste en obtener información relevante por el método más directo: La consulta al que sabe, empleando cuestionarios intensivos con retroalimentación controlada de opiniones.
<b>Escenarios</b> Objetivo: Integrar el análisis individual de tendencias, posibles eventos y situaciones deseables, dentro de una visión general del futuro.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinación de los sectores a estudiar</li> <li>• Análisis del desarrollo de los sectores</li> <li>• Formación de escenarios alternativos</li> <li>• Descripción de la interacción de las tendencias y eventos para diseñar el futuro.</li> </ul>	Características de los escenarios: hipotéticos, integrales, relevantes, creíbles, útiles y comprensibles. El desarrollo de escenarios permite concentrar la atención en una perspectiva a largo plazo, sobre aquellas posibilidades que pueden ser consideradas en un análisis del futuro.
<b>Evaluación tecnológica</b> Objetivo: apoyar la toma de decisiones a través de la anticipación y el análisis de las consecuencias sociales de una nueva tecnología.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Definición de las tareas a evaluar</li> <li>• Desarrollo de las condiciones de la situación social</li> <li>• Identificación de las áreas de impacto</li> <li>• Evaluación de impactos de probabilidad, alcance, magnitud, dirección y duración.</li> <li>• Identificación de acciones posibles y opciones políticas</li> </ul>	La evaluación tecnológica se inicia considerando los beneficios y costos planeados de la tecnología, los cuales son materia del análisis de sistemas y de la investigación de operaciones, pasando a interesarse por la anticipación de impactos no propuestos o planeados.
<b>TKJ</b> Objetivo: busca la solución de un problema, estableciendo un objetivo común que permita al grupo transformarse en un equipo al encaminar los esfuerzos personales hacia una meta compartida.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Formación del grupo de trabajo</li> <li>• Realización de consultas individuales</li> <li>• Ejecución de intercambio</li> <li>• Agrupamiento de tarjetas</li> <li>• Elaboración de síntesis</li> <li>• Dialéctica e interacciones</li> <li>• Presentación gráfica de resultados</li> </ul>	La técnica permite alcanzar soluciones participativas, a más de lograr la integración del grupo participante y el compromiso personal. En prospectiva esta herramienta propicia la identificación de problemas futuros como parte para el establecimiento de cursos de acción en una perspectiva a largo plazo.
<b>Acercamientos cuantitativos</b>		
<b>Matriz de impactos cruzados</b> Objetivo: Estudiar los efectos de diversos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinación de los eventos a incluirse en el estudio</li> <li>• Estimación de la probabilidad inicial de</li> </ul>	La matriz de impactos cruzados representa un buen medio para mejorar la comprensión sobre la complejidad de las interacciones entre los eventos

elementos sobre la probabilidad de ocurrencia de un evento, así como el impacto o consecuencia que esta pueda tener en otra serie de eventos <sup>101</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• cada evento y de la probabilidad condicional de cada par de eventos</li> <li>• Realización de una corrida para calibrar la matriz.</li> <li>• Ocurrencia de pruebas de sensibilidad con la matriz</li> <li>• Evaluación de resultados</li> </ul>	seleccionados. Asimismo, estimula a los tomadores de decisiones a examinar su abanico de opciones.
<b>Insumo-Producto</b> Representa una forma relativamente sencilla de describir una sistema mediante el esquema de “entrada-transformación-salida”.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinación de la estructura de los insumos y las demandas para alcanzar situaciones de equilibrio entre las demandas totales y las cantidades disponibles de oferta de los diferentes productos.</li> </ul>	Esta técnica permite “estudiar la estructura de las interrelaciones existentes entre las diversas partes de un proceso real o imaginario y medir las interdependencias tanto como los elementos de entrada ente sí, como de éstos con los elementos de salida” <sup>102</sup>
<b>Modelos de simulación</b> La simulación es una “herramienta que consiste en un conjunto de recursos informáticos que permiten la construcción, pruebas, validación, solución y análisis de un modelo dinámico formal” <sup>103</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Análisis Cualitativo del Problema</li> <li>• Formalización (Incluye la modelación</li> <li>• Tratamiento según las reglas definidas</li> </ul>	En prospectiva, el papel de estos modelos es indicativo - no predictivo - de una serie de opciones futuras, sean éstas deseables o indeseables, valorando además los efectos de dichas alternativas, para proyectar el futuro lógico como para hacer cambios. Limitación: No brinda resultados generales sobre todo el sistema, sin embargo si permite la comprensión, el análisis y la crítica de los mecanismos dinámicos.
<b>Proyección</b> Permiten la conformación de visiones futuras que se darían de mantenerse la situación actual sin variaciones.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizar proyecciones de referencia a través de la extrapolación de variables hacia el futuro</li> <li>• Se estudia la variable que describe la realidad con el fin de analizar y descubrir la tendencia de su evolución, en el pasado y futuro, bajo es supuesto de continuidad de la tendencia.</li> </ul>	Al seleccionar las técnicas de proyección es necesario considerar los siguientes pasos: 1.- Existencia y/o disponibilidad de datos 2.- Horizonte de tiempo 3.- El patrón de comportamiento de los datos y tipo de modelo. 4.- Ajuste de datos.

Tabla 3.1.

Herramientas para el desarrollo de futuros. Fuente: Miklos y Tello, 1991.

### 3.2. Metodología para la creación de escenarios.

Los precedentes para la creación de escenarios datan desde los primeros años de la década de los 70s cuando Shell International anunció su uso coincidiendo con una fase en que esta petrolera se recuperaba de la conmoción que había supuesto la duplicación en los precios del crudo (Wack, P., 1984; Buchan y Roberts, 2002 y Shell, 2000). La construcción de escenarios no implica anticipar el futuro, sino reducir las incertidumbres que este involucra. El propósito no es saber lo que va a suceder, sino saber qué diferencia habrá para nosotros si el futuro va a ser de una o de otra forma. En otros términos, es un modo de elaborar opciones múltiples frente a desenlaces incontrolables y contribuir a desarrollar un plan de ataque apropiado (Albrecht, 1996). Michel Godet (1993), experto mundial en prospectiva, afirma que *los escenarios no son la realidad futura, sino un medio de representación de esa realidad, destinado a iluminar la acción presente a la luz de los futuros posibles y deseables*. El empleo de escenarios ofrece a responsables políticos, planificadores y directivos una herramienta que les estimula a diseñar posibles estrategias de futuros alternativos para comprender mejor las diversas incertidumbres posibles.

<sup>101</sup> Husdpeth Delayne “The Cross Impact Matrix”, en Hencley, Stephen y Yates, James, p. 115.

<sup>102</sup> Esta elección se basa principalmente en Gómez Flores, j, “La técnica del insumo-producto”, cuadernos Prospectivos 7A, Fundación Javier Barros Sierra, México, agosto, 1977.

<sup>103</sup> Rivera Eduardo, “La simulación en la Prospectiva” p. 4.

### 3.2.1 ¿Qué es un escenario?

Un escenario es una imagen o visión que describe una situación futura, así como la secuencia de eventos que permiten llegar a esa situación. Este método permite transitar desde la situación actual hasta otra situación futura deseable y posible describiendo coherentemente dicho movimiento (Licha, 2000). Un escenario posible es el *tendencial*, es decir, aquel futuro que vendrá a concretarse en el caso de que las variables bajo análisis continúen con el mismo comportamiento identificado hasta el momento. Sin embargo, puede suceder que, lo que parecería ser una tendencia clara, de pronto cambie de forma. Por ejemplo, tradicionalmente se ha relacionado la tasa de desempleo en una determinada economía a su nivel de actividad. De esta forma, se pronosticaba que en ciclos expansivos de la economía el empleo formal también crecería y consecuentemente en los ciclos recesivos quien crecería sería el desempleo. Por tal motivo, la construcción de escenarios concibe el futuro como múltiple y alternativo más que como único e inexorable. Parte del supuesto de que un fenómeno determinado que se ha comportado de una forma particular en el pasado podría comportarse en el futuro de múltiples formas. Entonces, los escenarios podrán ser de dos tipos: *tendenciales* y *alternativos*. Los primeros configuran una simple extrapolación de tendencias que se nos presentan como el futuro más probable. Los escenarios alternativos presentan imágenes de futuros posibles y/o deseables. En ellos es introducida una hipótesis de cambio. Esto significa que se considera que las motivaciones de los actores o alguna otra variable externa podrá afectar el comportamiento de las variables que afecta al problema bajo análisis. En el lenguaje prospectivo se llama germen del cambio a esas variaciones que pueden afectar el desenlace del problema en el futuro.

### 3.2.2 Construcción de escenarios.

La construcción de escenarios es un método de análisis y proyección de la realidad valioso *per se* en la medida en que ayuda a estudiar los problemas críticos de una sociedad y a prever sus posibles desenlaces. Hay distintas maneras de construir escenarios, las condiciones para un empleo óptimo del método de los escenarios son, probablemente, las siguientes (Leney et al., 2004):

1. Se desconoce el aspecto que puede cobrar el futuro.
2. Es difícil en el momento actual para la mayoría de los responsables políticos pensar más allá de los requisitos cotidianos y de las decisiones y problemas presentes.
3. Existen estructuras organizativas de tipo complejo y con numerosos intereses diversos. Se admite que en el proceso de generación de estrategias debiera participar toda una gama de agentes, pero no existe un sentimiento o un consenso claro en cuanto a objetivos comunes.
4. Dirigentes e interesados desean dedicar una parte del tiempo y los recursos valiosos a definir una orientación más estratégica y a largo plazo para resolver problemas.
5. Los directivos desean crear métodos de planificación que hagan participar a toda una gama de personas dentro de la organización o las coordinen en la toma de decisiones. Pueden intentar lograr este objetivo en el interior de la organización o a través de una red, a fin de construir una identidad corporativa más sostenible.

El método de escenarios consiste en concebir y describir futuribles. Hay distintas maneras de hacerlo, pero el procedimiento clásico, desarrollado por Godet en los años 70, comprende el desarrollo de un conjunto de pasos encadenados lógicamente, que son los siguientes:

#### **A. Construcción de la base de los escenarios.**

Se procede a la delimitación del sistema analizado (que podría ser una organización, un sector específico o un fenómeno o problema determinado) mediante la identificación de las variables esenciales que caracterizan dicho sistema. Tales variables son las que permiten realizar un análisis explicativo global, lo más exhaustivo posible, del sistema, organización o problema estudiado y del entorno. Ellas son de dos tipos: internas y externas. Las variables internas caracterizan el sistema, organización o problema estudiado; y las variables externas caracterizan el entorno explicativo general del mismo en sus aspectos económicos, sociales, políticos, urbanos, culturales, tecnológicos, demográficos, etc. La construcción de la base de los escenarios incluye:

*Análisis retrospectivo.* Identifica los mecanismos y actores determinantes de la evolución del sistema a lo largo del periodo analizado. Mediante este estudio se pone en evidencia las invariantes del sistema y sus tendencias pasadas.

*Análisis de la situación actual.* Permite identificar los cambios ocurridos en la evolución de las variables esenciales y en las estrategias de los actores, y con ello se evidencian lo que en el lenguaje prospectivo se llama gérmenes de cambio o hechos portadores de futuro.

*Estrategia de los actores.* Con base en los dos análisis anteriores se construye el análisis de los actores, para identificar sus objetivos y medios así como sus estrategias (posibles alianzas y conflictos entre ellos). Este análisis es equivalente al análisis de los involucrados, que sirve para identificar a los actores clave, sus objetivos, recursos y estrategias, con el fin de determinar o juzgar su grado de influencia en el comportamiento del sistema, problema u organización bajo estudio.

#### **B. Construcción de los Escenarios.**

Los escenarios son conjuntos coherentes de hipótesis acerca de cómo evolucionará el fenómeno estudiado (sistema u organización) según se comporten y articulen entre sí los distintos factores que determinan su curso: los mecanismos de evolución del problema y las estrategias de los diversos actores. Se construyen las imágenes de futuro tendenciales y contrastadas, describiéndolas de la manera más detallada posible; y se describe la transición desde la situación actual hasta las situaciones futuras posibles y deseables.

#### **C. Estrategia y plan de acción.**

Con base en el escenario normativo, se definen las estrategias y los planes de acción. La selección del escenario normativo pasa por un proceso interactivo e iterativo de debate y análisis a lo interno de los

grupos que participan en el ejercicio y con quienes se compartan los resultados del mismo. Los escenarios son imaginarios que orientan las acciones de largo plazo.

### 3.2.2.1 Técnicas que apoyan la construcción de escenarios.

Hay dos técnicas que refuerzan el método de escenarios, que se refieren a la identificación de variables esenciales para analizar y explicar el comportamiento del sistema o problema estudiado, y a la validación de los juegos de hipótesis que son los escenarios. Estas técnicas están sugeridas en el diagrama con los números 1 y 2 (figura 3.2).

En relación a la primera, con el fin de ser riguroso y exhaustivo en la definición de las variables clave, se recomienda recurrir a tormentas de ideas para elaborar una lista de ellas, que luego es sometida a la revisión de los expertos. Así, mediante sesiones de tormenta de ideas y consultas a expertos, resulta una lista de variables que permite caracterizar el sistema o problema estudiado (Godet, 1983). En relación a la segunda, se trata de someter al juicio de los expertos la validación de los distintos juegos de hipótesis (escenarios). Esta técnica se llama Delphi, y consiste en consultar a los especialistas sobre la posible evolución de un fenómeno y lograr un consenso entre ellos sobre la probabilidad de las hipótesis, apoyándose en sus argumentaciones y contra argumentaciones (Ducos, 1983).

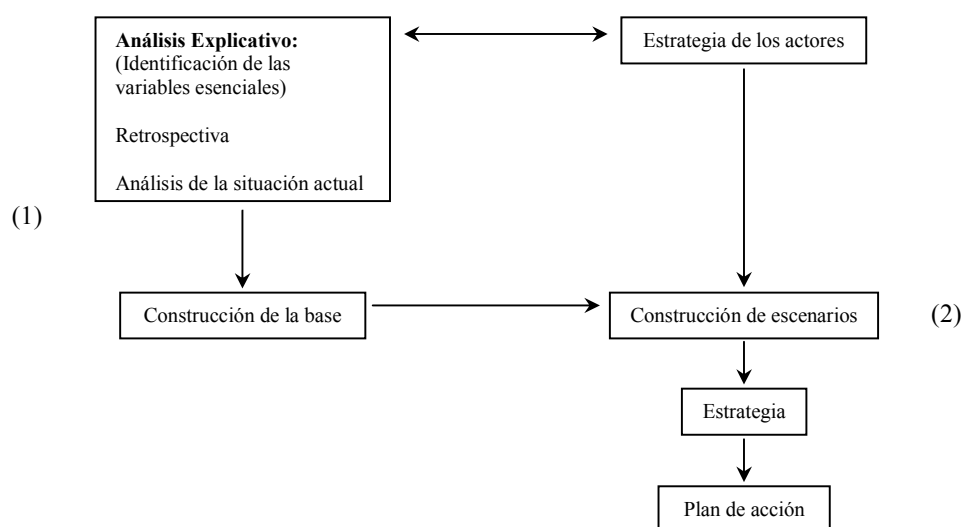


Figura 3.2.  
Diagrama del Método de Construcción de Escenarios (Licha, 2000).

### 3.2.3 Tipos de escenarios.

En la práctica se acostumbra a desarrollar dos tipos diferentes de escenarios, los llamados de referencia y los de políticas o alternativos.

### **1. Escenario base o de referencia.**

Constituye un escenario de continuidad respecto a la evolución histórica reciente del sistema, dejando de lado los movimientos coyunturales. Por tanto se trata, por lo general, de un escenario de tipo tendencial o business as usual (BAU), en el sentido de que se mantienen las tendencias pasadas de los aspectos estructurales del sistema. Debe aclararse que cuando se habla de tendencias no se está haciendo referencia a la prolongación tendencial de la evolución de las variables, sino que se trata de una continuidad de la estructura y tipo de funcionamiento que el sistema en su conjunto ha venido presentando en el pasado reciente o, eventualmente, un mantenimiento de los cambios paulatinos que se han observado. Claro que un escenario de referencia así definido plantea algunos problemas cuando el sistema que se pretende escenificar ha mostrado cambios muy abruptos en el pasado reciente, tal como ha ocurrido en la mayoría de los países de la región en la primera mitad de los años 90. En tales casos se debería diferenciar dentro del escenario de referencia un primer período dentro del cual habrían de completarse los cambios estructurales y de funcionamiento más relevantes que ya se han manifestado con claridad y, una segunda etapa, donde el sistema evolucionaría establemente (en régimen) dentro de la nueva situación.

Este tipo de escenarios pueden ser útiles para identificar las debilidades de conocimiento con respecto a posibles tendencias y para determinar si se necesita de mayor información. Estos pueden ser útiles para la elaboración de planes de contingencia. En casos donde exista mucho riesgo e incertidumbre, quizás no sea posible crear una sola proyección o tendencia. Más bien, los escenarios alternativos (véase a continuación), que hacen uso de escenarios de proyección, constituyen una mejor opción.

### **2. Escenario alternativo o de política.**

Por contraste al de referencia, esta clase de escenarios deberán incorporar hipótesis marcadamente diferentes, para lo que deberán “maximizarse” todos los indicios de cambios relevantes que han comenzado a manifestarse en los diferentes planos y niveles del sistema socioeconómico y energético considerado. Cuando en el escenario de referencia se incorporan, ya sea cambios estructurales y/o de funcionamiento de magnitud significativa, el escenario alternativo tendrá que indicar las diferentes hipótesis acerca de las modificaciones que podrán tener lugar en el futuro. Así es posible que, dentro de un horizonte temporal limitado (4 ó 5 años), no haya, en tales casos, diferencias importantes entre ambos tipos de escenarios, salvo, tal vez, en lo que se refiere a las tasas de crecimientos o niveles de las variables relevantes<sup>104</sup>.

El propósito de los escenarios alternativos consiste en ampliar las ideas de la gente con respecto al futuro, a fin de tomar en cuenta la incertidumbre no sólo mediante uno, sino a través de una variedad de posibles futuros. Estos escenarios pueden ayudar a los participantes a afrontar la incertidumbre sin eliminarla, sino más bien enmarcándola y entendiendo la gama de implicaciones relacionadas con ésta. Wack (1985) expone: “La cuestión... no radica tanto en contar con un escenario *correcto* sino tener un

---

<sup>104</sup> Trabajos al respecto: Escenarios de Mitigación. Bases para su Formulación, 2002 por el Grupo Nacional de Mitigación (Instituto de Meteorología, Universidad de La Habana, CUBA ENERGIA-CITMA y el Instituto Nacional de Investigaciones Económicas –INIE-); Escenarios a largo plazo del desarrollo energético y su impacto ambiental, de Somoza Cabrera y García Hernández, del INIE, 2003.

conjunto de escenarios que ejemplifiquen las principales fuerzas que impulsan el sistema, sus interrelaciones y las incertidumbres críticas. Los usuarios podrán, entonces, enfocarse con mayor claridad en los sistemas ambientales fundamentales, respaldados por nuevos conceptos y un sistema más rico de lenguaje mediante el cual intercambiarán ideas y datos”.

### **3.3. Metodología para Construcción de Escenario base o de Referencia.**

El conocimiento de la situación actual y de las tendencias futuras en la demanda de energía fósil, asociadas directamente con las emisiones de bióxido de carbono como consecuencia del crecimiento industrial de México, será determinante en materia de política pública, económica, financiera, fiscal y hacendaria por parte del gobierno mexicano conducente a la seguridad energética y ambiental sustentable del país. El presente estudio busca ser una herramienta en la toma de decisiones, al utilizar modelos matemáticos-estadísticos para la creación de un escenario base o de referencia, con datos históricos provenientes de fuentes oficiales como el INEGI y SENER, e inferir el comportamiento probable tendencial de las emisiones de CO<sub>2</sub> hacia en el año 2030.

El método propuesto para predecir y proyectar el escenario de emisiones de CO<sub>2</sub> del SIM, se basa en la conocida metodología de Box-Jenkins (Box y Jenkins, 1978), la cual busca encontrar el mejor ajuste del modelo matemático seleccionado. Tales modelos se denominan autorregresivos integrados y de media móvil (ARIMA). El énfasis de este método de predicción se encuentra en el análisis de las propiedades probabilísticas o estocásticas de las series de tiempo bajo la filosofía de “permitir que la información hable por sí misma”.

#### **3.3.1 Métodos de pronósticos.**

Aunque existen numerosas áreas en las cuales se requiere de pronósticos, las tres categorías precedentes son típicas del corto, mediano y largo plazo de las predicciones requeridas por las organizaciones de hoy en día. El uso de las técnicas de pronósticos se ha diversificado y desarrollado a lo largo de los últimos años, y por lo tanto, existen varias técnicas que se pueden clasificar de acuerdo a las siguientes categorías;

*Cuantitativos:* Disponibilidad suficiente de información cuantitativa.

- *Series de tiempo:* predicen la continuidad de patrones históricos tales como el crecimiento de las ventas o el producto interno nacional.
- *Explicativos:* Comprensión de variables explicativas tales como los precios y la influencia de la publicidad en las ventas.

*Cualitativos:* Poca o ninguna disponibilidad de información cuantitativa.

- Predicción de la velocidad de las telecomunicaciones en el año 2020.
- Pronóstico de cómo un gran aumento en el precio de petróleo afectará el consumo del mismo.

*Impredecibles:* Poca o ninguna información disponible.



- Predicción de los efectos de los viajes interplanetarios.
- Predicción del descubrimiento de una nueva y muy barata forma de energía que no produce contaminación.

En el estudio a realizar se emplearan los métodos cuantitativos de pronóstico, los cuales pueden ser aplicados cuando existen tres condiciones básicas y de la cuales se cumplen todas para ser aplicado al área de estudio del Sector Industrial Mexicano:

- Disponibilidad de información acerca del pasado o histórico.
- Esta información debe ser susceptible de ser cuantificada en forma de datos numéricos.
- Puede ser asumido que algunos aspectos del patrón pasado continuaran en el futuro.

La última condición es conocida como el supuesto de continuidad; ésta es la premisa principal de toda técnica cuantitativa y de algunos métodos cualitativos sin importar cuán sofisticados sean estos métodos.

### **3.3.2 Series de tiempo.**

Una serie temporal es una serie de datos estadísticos recopilados, observados o registrados en distintas fechas, períodos de tiempo y ordenados cronológicamente. El análisis de series de tiempo surge en 1970, con la obra *Time Series Analysis: Forecasting and Control* publicada por Box y Jenkins, y desde entonces es una herramienta imprescindible en investigación económica aplicada. En el análisis con series de tiempo (ST), los métodos de pronósticos actualmente desempeñan un rol de gran importancia como lo son:

*Planeación (Scheduling).* El uso eficiente de recursos requiere de una planeación de la producción, transporte, efectivo (recursos económicos), personal y demás. Pronósticos del nivel de demanda del producto, materiales, actividades, financiamiento y servicios son datos esenciales en la planeación.

*Adquisición de recursos (Acquiring resources).* El tiempo de espera para la adquisición de materia prima, contratación de personal, o compra de maquinaria y equipo puede variar de unos pocos días hasta varios años. El pronóstico es requerido para determinar el requerimiento futuro de los recursos.

*Requerimientos de recursos de decisión (Determining resource requirements).* Toda organización debe determinar los recursos necesarios que desean tener a largo plazo. Tales decisiones dependen de las oportunidades de mercado, factores ambientales, y el desarrollo interno de las finanzas, producto humano y recursos tecnológicos. Este tipo de resoluciones requiere de buenos pronósticos y de directivos que puedan interpretar adecuadamente las predicciones para la toma de decisiones apropiadas.

### 3.3.2.1 Características de las series temporales.

- La principal característica de las series temporales es que deberán tener en cuenta el orden de las observaciones.
- La mayor parte de las series temporales tienen una tendencia. Sus valores medios varían a lo largo del tiempo. Ellas son variables o series no estacionarias.
- Algunas series siguen un curso que recuerda a los meandros (meander) de los ríos, es decir, suben y bajan sin una tendencia a revertir hacia algún punto. Este comportamiento de caminata aleatoria<sup>105</sup> (random walk) es también una propiedad de muchas variables no estacionarias. Esto es cierto en todas las series objeto de estudio, con la excepción de la inflación y la tasa de interés.
- Los cambios repentinos en la serie toman tiempo para decaer. Esto es especialmente cierto en las variables reales tales como la producción y la inversión.
- Algunas series se mueven en forma conjunta, es decir tienen un co-movimiento positivo. Por ejemplo, diferentes tasas de interés se mueven en forma conjunta, al igual que lo hace la producción en diferentes países.

### 3.3.2.2 Ruido blanco.

Se define a un proceso como ruido blanco si cada observación tiene media cero, la misma varianza finita y la correlación entre las observaciones es cero. Para determinar si el modelo ARIMA de una serie de tiempo propuesto es aceptable, se observan las autocorrelaciones de los errores estimados, esperando que se comporten como ruido blanco. La ecuación 18 define el modelo estadístico de ruido blanco:

$$Y_t = c + e_t \quad (20)$$

Donde:  $Y_t$  es la observación en el tiempo  $t$ ,  $c$  nivel global y  $e_t$  componente aleatorio de error el cual no se encuentra correlacionado de período a período.

#### 3.3.2.2.1 Estadístico de Box-Pierce.

Este es una prueba para errores autocorrelacionados. El estadístico de Box-Pierce  $Q$  es calculado como la suma de los cuadrados de una secuencia de autocorrelaciones ( $r_k$ ). Si los errores del modelo son ruido blanco, entonces el estadístico de Box-Pierce se distribuye aproximadamente como una distribución ji-cuadrada con grados de libertad  $h-m$  donde  $h$  es el número máximo de retrasos

<sup>105</sup> Según Damodar Gujarati, en Econometría, una serie de tiempo que tiene una raíz unitaria se conoce como caminata aleatoria, una caminata aleatoria es ejemplo de una serie de tiempo no estacionaria.

empleados en el estadístico y  $m$  es el número de parámetros ajustados<sup>106</sup>. Y  $n$  es el número de observaciones en la serie. La ecuación queda definida como:

$$Q = n \sum_{k=1}^h r_k^2 \quad (19)$$

El criterio propuesto para determinar si el proceso es ruido blanco y el modelo propuesto es cierto, se emplea el cálculo del estadístico  $Q_k$  de Box-Pierce (1970). En esta prueba, la hipótesis nula es que las primeras  $k$  autocorrelaciones de la serie considerada son 0. El interés en esta hipótesis se debe a que se presenta a menudo en series de tiempo de finanzas y economía, además de ser la prueba propuesta para determinar si el modelo ARMA de Box y Jenkins está bien especificado.

### 3.3.2.3 Correlación y Autocorrelación.

La función de autocorrelación y la función de autocorrelación parcial constituyen una de las herramientas principales en la identificación de las estructuras autorregresivas y de medias móviles. Un coeficiente de autocorrelación es similar a un coeficiente de correlación con la excepción de que describe la asociación (relación mutua) entre valores de la misma variable, describiendo lo que tiende a sucederle a una de ellas, si la otra cambia pero en diferente período. La autocorrelación proporciona información importante acerca de la estructura de un conjunto de datos y de sus patrones. En un conjunto de datos aleatorios la autocorrelación entre valores sucesivos estará cercana a cero, o será igual a cero, pero los valores de fuerte naturaleza estacional o cíclica, estarán sumamente correlacionados. La función de autocorrelación en un retraso  $k$  se define matemáticamente como:

$$r_k = \frac{\sum_{t=k+1}^n (Y_t - \bar{Y})(Y_{t-k} - \bar{Y})}{\sum_{t=1}^n (Y_t - \bar{Y})^2} \quad (20)$$

Junto al coeficiente de autocorrelación se define el de autocorrelación parcial que mide la correlación entre dos momentos de tiempo después de eliminar el efecto de los momentos intermedios. Las autocorrelaciones parciales son empleadas para medir el grado de asociación entre las observaciones  $Y_t$  y  $Y_{t-k}$  cuando los efectos de otro retraso de tiempo  $k-1, 2, 3, \dots, k-1$  - son removidos. La representación gráfica de estos coeficientes recibe el nombre de función de autocorrelación parcial (fap). El concepto de autocorrelación parcial es análogo al concepto de coeficiente de regresión parcial. Los patrones que siguen las fa y fap son distintos para los procesos AR y MA, por lo que pueden utilizarse para la identificación de la serie de residuos del modelo. En el caso concreto de los procesos

<sup>106</sup> También es conocido como prueba Portmanteu. Otra prueba Portmanteu es la prueba de Ljung-Box la cual es una versión mejorada de la prueba de Box-Pierce, Makridakis et al., 1998.

autorregresivos AR (p) la función de autocorrelación parcial decrece geométrica o exponencialmente y la función de autocorrelación simple se corta después de  $p$  retardos, esto es presenta  $p$  coeficientes significativos. Para el caso de procesos de medias móviles MA (q) ocurre al contrario; la función de autocorrelación parcial decrece de forma geométrica o exponencial y la función de autocorrelación simple se anula para retardos de orden superior a  $q$ .

La autocorrelación parcial de orden  $k$  se denota por  $\alpha_k$  y puede ser calculada mediante la regresión de  $Y_t$  en contra de  $Y_{t-1}, \dots, Y_{t-k}$ :

$$Y_t = b_0 + b_1 Y_{t-1} + b_2 Y_{t-2} + \dots + b_k Y_{t-k} \quad (21)$$

Esta es una ecuación inusual de regresión porque las variables explicativas del lado derecho de la ecuación son valores previos de la variable pronosticada  $Y_t$ . La autocorrelación parcial,  $\alpha_k$ , es el coeficiente  $b_k$  de esta regresión múltiple.

### 3.3.2.4 Estacionariedad.

Una de las características deseables de una serie de tiempo es que sea estacionaria (“stationary”). Esto implica que, no importa cuál segmento de la serie se observe, no importa la longitud, la media y varianza deben ser similares. Una serie con este tipo de comportamiento es ideal para someterla a tratamiento estadístico y hallar modelos. Uno de los primeros objetivos cuando se modela una serie de tiempo para realizar pronósticos es remover efectos lineales, de temporada u otros para lograr que la serie sea estacionaria.

#### 3.3.2.4.1 Método para tornar una serie de tiempo en estacionaria.

Si la serie de datos contiene una tendencia, se puede remover mediante tomas de diferencias sucesivas de los datos o por algún otro procedimiento para remover tendencias. Una alternativa para remover la no estacionariedad, es el *método de la diferenciación*. La diferenciación en las series de tiempo se define como el cambio entre cada observación de la serie original, la expresión siguiente ejemplifica lo anterior.

$$Y'_t = Y_t - Y_{t-1} \quad (22)$$

La serie diferenciada cuenta con  $n-1$  valores, debido a que no es posible calcular una diferencia de la primera observación  $Y'_1$ .

Utilizar la primera diferenciación es una herramienta bastante útil para remover la no estacionariedad. Sin embargo, ocasionalmente la diferenciación de los datos es necesario realizarla en una segunda ocasión, la representación de esta operación se aprecia en la expresión:

$$Y_t'' = Y_t' - Y_{t-1}' = (Y_t - Y_{t-1}) - (Y_{t-1} - Y_{t-2}) = Y_t - 2Y_{t-1} + Y_{t-2} \quad (23)$$

$Y_t''$  se define como la diferenciación de segundo orden de la serie de tiempo. La serie anterior contará con  $n-2$  valores. En la práctica, generalmente no se ocupan más de dos diferenciaciones, ya que comúnmente los datos reales encierran estructuras con no estacionariedades de primer o segundo nivel.

### 3.3.3 Modelos ARIMA.

Los métodos de series temporales asumen que la evolución histórica de las variables sigue un conjunto de esquemas que permanecen estables en el futuro. Uno de estos métodos son los modelos univariantes, los cuales son considerados no causales, es decir, la evolución de las magnitudes depende solo del transcurso del tiempo y pueden incluir perturbaciones aleatorias como en la estrategia de Box-Jenkins, o carecer de ellas como métodos clásicos de descomposición. Los métodos autorregresivos integrados de promedio móvil (ARIMA) se encuentran dentro de este tipo de series temporales, son capaces de tratar con cualquier patrón de datos, sin embargo, en la mayoría de los casos el encargado de pronosticar debe comprender muy bien el método para poder seleccionar el modelo específico más apropiado del conjunto disponible para la serie de datos en estudio. Una parte fundamental de esta técnica es que los datos temporales de la variable a estudiar indican las características de su estructura probabilística. Esta metodología permite explicar la variable involucrada utilizando exclusivamente una variable exógena: su propio pasado.

Una ventaja de este tipo de modelos, es que, son técnicas relativamente sencillas y de bajo costo. La cantidad de información disponible en forma de series históricas es elevada y cubre las áreas de mayor interés. La limitación, es que, descansan en el reconocimiento de patrones de los datos históricos y al no incluir un mayor número de variables involucradas en el fenómeno de estudio, no se podrá tener una explicación de las relaciones entre ellas.

Para todo propósito práctico, tres clases o tipos generales de modelos de series de tiempo pueden describir cualquier tipo o patrón de datos de serie de tiempo: Autorregresivos (AR), de promedio móvil (MA) y de promedio móvil autorregresivo mixto (ARMA). El modelo no estacional es conocido como ARIMA  $(p,d,q)$ , donde:

AR:  $p$  = Orden de la parte autorregresiva.

I:  $d$  = Grado de la primera diferencia involucrada.

MA:  $q$  = Orden de la parte de promedio móvil.

Las series de tiempo analizadas en el presente trabajo son no-estacionarias, es decir son integradas. Se dice que una serie  $y_t$  no-estacionaria es integrada de orden " $d$ " cuando puede ser transformada en una serie estacionaria diferenciándola " $d$ " veces. Por consiguiente, si después de diferenciar la serie de tiempo se aplica a ésta un modelo ARMA  $(p,q)$ , donde " $p$ " denota el orden o número de términos de

la parte autorregresiva y “ $q$ ” el orden o número de términos de la parte de media móvil, se dice que la serie de tiempo original es ARIMA  $(p,d,q)$ , expresada matemáticamente de la forma siguiente:

$$y_t = \theta_0 + \phi_1 y_{t-1} + \phi_2 y_{t-2} + \dots + \phi_p y_{t-p} + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \theta_2 \varepsilon_{t-2} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t-q} \quad (24)$$

Donde  $y_t$  es el valor actual en el tiempo  $t$ ,  $\varepsilon_t$  es el error aleatorio en el periodo  $t$ ,  $\phi_i (i=1,2,\dots,p)$  y  $\theta_j (j=1,2,\dots,q)$  son los parámetros del modelo,  $p$  y  $q$  son enteros y refieren el orden del modelo. De la ecuación 24, se tiene que el modelo propuesto será de orden  $p$  o AR puro si  $q=0$ . Cuando  $p=0$ , el modelo será de orden  $q$  o un modelo MA puro. La metodología de Box-Jenkins nos permitirá definir los parámetros adecuados de  $p$  y  $q$  de la serie de tiempo a modelar.

### 3.3.3.1 Metodología de Box-Jenkins.

La condición básica para utilizar la metodología de Box-Jenkins, es que, las series de tiempo consideradas deben ser estacionarias o series de tiempo que sean estacionarias después de una o más diferencias. La herramienta básica para aplicar la mayoría de los modelos ARIMA para pronósticos es la autocorrelación. Otro punto a considerar, de acuerdo a la teoría básica de los modelos ARMA, es que, sólo se puede aplicar a datos horizontales (en terminología estadística, estacionarios), es decir sin tendencia. La metodología de Box y Jenkins se explica en el diagrama esquemático mostrado en la figura 3.3.

**Paso 1. Identificación.** En este paso se comprueba la estacionariedad de la serie de tiempo, si resulta ser no-estacionaria, como es el caso de las series analizadas en este estudio, se utilizará la diferenciación para conseguir la estacionariedad de la misma. Una vez que los datos son estacionarios, se identifican  $p$  y  $q$  mediante la observación de la función de autocorrelación (fac) y función de autocorrelación parcial (fap) de los datos diferenciados de la serie de tiempo original. Después de analizar las fac y fap, se identifica un modelo específico que puede considerarse tentativamente como el modelo de predicción más apropiado a la situación.

**Paso 2. Estimación.** Consiste en estimar los parámetros de los términos autorregresivos y de media móvil a los datos históricos disponibles incluidos en el modelo.

**Paso 3. Verificación de diagnóstico.** Después de seleccionar un modelo ARIMA particular y de estimar sus parámetros, se trata de verificar si el modelo seleccionado se ajusta a los datos en forma razonable, ya que puede existir otro modelo ARIMA que también lo haga. Una prueba simple al modelo seleccionado es ver si los residuales estimados a partir de este modelo son de ruido blanco, si lo son, puede aceptarse el ajuste particular, si no lo son, debe empezarse nuevamente el proceso de selección del modelo ARIMA.

**Paso 4. Predicción.** Una vez aceptado el modelo ARIMA tentativo de los pasos anteriores, y aprobado las pruebas estadísticas apropiadas, se lleva a cabo el pronóstico para algún período futuro.

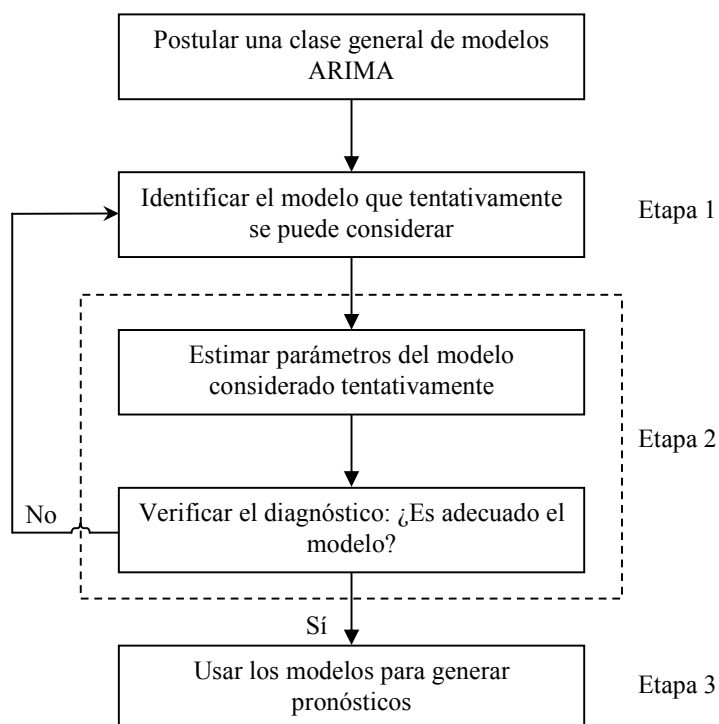


Figura 3.3.  
Diagrama de la metodología de Box-Jenkins.

### 3.3.3.1.2 Identificación del modelo.

Si la serie temporal presenta una tendencia, lo primero que se debe hacer es transformarla, mediante una diferencia de orden “ $d$ ”. Una vez diferenciada la serie, una buena estrategia consiste en comparar los correlogramas de la función de autocorrelación y la función de autocorrelación parcial. Esto suele ofrecer una orientación para la formulación del modelo tentativo:

1. Si la fac está más ajustada que la fap el modelo suele ser  $(0, d, q)$ , por lo tanto se calcula el parámetro MA.
2. Si la fap está más ajustada que la fac el modelo suele ser  $(p, d, 0)$ , por lo tanto se calcula el parámetro AR.
3. Si la fac y la fap están igualmente ajustadas el modelo puede ser  $(p, d, q)$ , por lo tanto se calculan los parámetros MA y AR.

Los procesos de autorregresivos presentan función de autocorrelación parcial con un número finito de valores distintos de cero. Un proceso  $AR(p)$  tiene los primeros  $p$  términos de la función de autocorrelación parcial distintos de cero y los demás son nulos.

Los procesos de medias móviles presentan función de autocorrelación con un número finito de valores distinto de cero. Un proceso  $MA(q)$  tiene los primeros  $q$  términos de la función de autocorrelación

distintos de cero y los demás son nulos. Podemos resumir los pasos para la identificación de un modelo de series temporales de la siguiente forma:

1. Decidir si  $Y_t$  necesita ser transformada para eliminar la estacionariedad.
2. Determinar el grado de diferenciación adecuado  $d$ . En general, la falta de estacionariedad, se manifiesta en que los coeficientes de la función de autocorrelación tienden a decrecer muy lentamente.
3. Decidir los valores de  $p$  y  $q$ .

### **3.4 Construcción de escenario base o de referencia.**

La planeación futura del consumo de energía de uso final asociada directamente al aumento de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), preferentemente CO<sub>2</sub>, en toda industria y en un país como México, se hace cada vez más necesaria en virtud de los notables cambios climatológicos, así como el aumento de sus efectos a la salud humana. Los GEI son conocidos como agentes intensificadores del cambio climático y deterioro ambiental global. El escenario que se planteará en este capítulo corresponde a la categoría de escenario base o de referencia. Este representa el futuro probable (tendencial) de las emisiones de CO<sub>2</sub> al ambiente producidas por el consumo de energía de uso final en el sector industrial Mexicano, que como se mostró en el capítulo 2, existe una estrecha relación de la actividad económica (producción) y el consumo de energía, tanto a nivel sectorial como a nivel rama de actividad económica industrial. Para el desarrollo de este escenario hacia el 2030, se cuantificaron las emisiones de CO<sub>2</sub> producidas por cada rama industrial de acuerdo al tipo de energético consumido durante el período de 1965 a 2003. Las series de tiempo a largo plazo se obtuvieron de los Balances Nacionales de Energía publicados por la Secretaría de Energía de México y por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Las dieciséis ramas de actividad económica industrial analizadas fueron: aguas envasadas, aluminio, automotriz, azúcar, celulosa y papel, cemento, cerveza y malta, construcción, fertilizantes, hule, minería, petroquímica básica, química básica, siderurgia, vidrio, tabaco y ‘otras’ industrias.

#### **3.4.1 Antecedentes.**

La demanda de energía de uso final del SIM se encuentra basada en el consumo de energía fósil constituyendo el 92% (valor promedio de 2000 a 2010), y se integra por los combustibles: gas natural, electricidad, combustóleo, coque, diesel, gas licuado y queroseno. En cuanto a la demanda de energía renovable, esta se concentra en el consumo de bagazo de caña en la industria azucarera y en mínima proporción por la demanda de energía solar. El bagazo de caña representa prácticamente el único biocombustible de carácter renovable utilizado por la rama industrial del azúcar, significando el 8% de la demanda energética total del SIM. En 2010, las emisiones del sector industrial por consumo de combustibles fueron equivalentes a 14.8% del total nacional, superiores en 0.24 puntos porcentuales a las de 2009. Parte de este aumento se derivó del incremento en el consumo de combustibles con un alto factor de emisión, como el coque de petróleo (27.5 t C/TJ) y el carbón siderúrgico (25.8 t C/TJ).



De acuerdo a la prospectiva de petrolíferos publicada por la Secretaría de Energía, durante el período de 1993 a 2002 en lo que respecta al sector industrial, la demanda nacional de petrolíferos observó un incremento de 1.2% anual. El subsector que mostró más dinamismo fue el eléctrico, cuyos requerimientos de combustibles se incrementaron a una tasa promedio de 2.5% anual. Sin embargo, el sector con el mayor volumen de participación fue el sector transporte, el cual absorbió en promedio 60% de la demanda nacional. En 2003, el sector industrial registró una participación de 6.2% en el total nacional, comparada con el 9.3% que presentó en 1993. Este comportamiento se atribuye a la sustitución de combustóleo por gas natural, como una medida para eficientar los procesos productivos y para usar combustibles más limpios para preservar el medio ambiente<sup>107</sup>. Así también, a partir de 2003, las políticas de sustitución de combustibles pesados para la generación eléctrica generaron una reducción gradual de la demanda de combustóleo, disminución que se mantuvo hasta 2008, y que se vio incrementada a consecuencia del impacto de la crisis económica sobre el sector industrial y el subsector autotransporte. Se redujo la demanda de destilados intermedios y residuales, incrementándose la producción de combustóleo al cierre de 2009. Debido a la baja actividad del sector industrial, la demanda nacional de petrolíferos presentó una contracción de 3.7%<sup>108</sup>.

#### *Mezcla de combustibles y emisiones de CO<sub>2</sub>.*

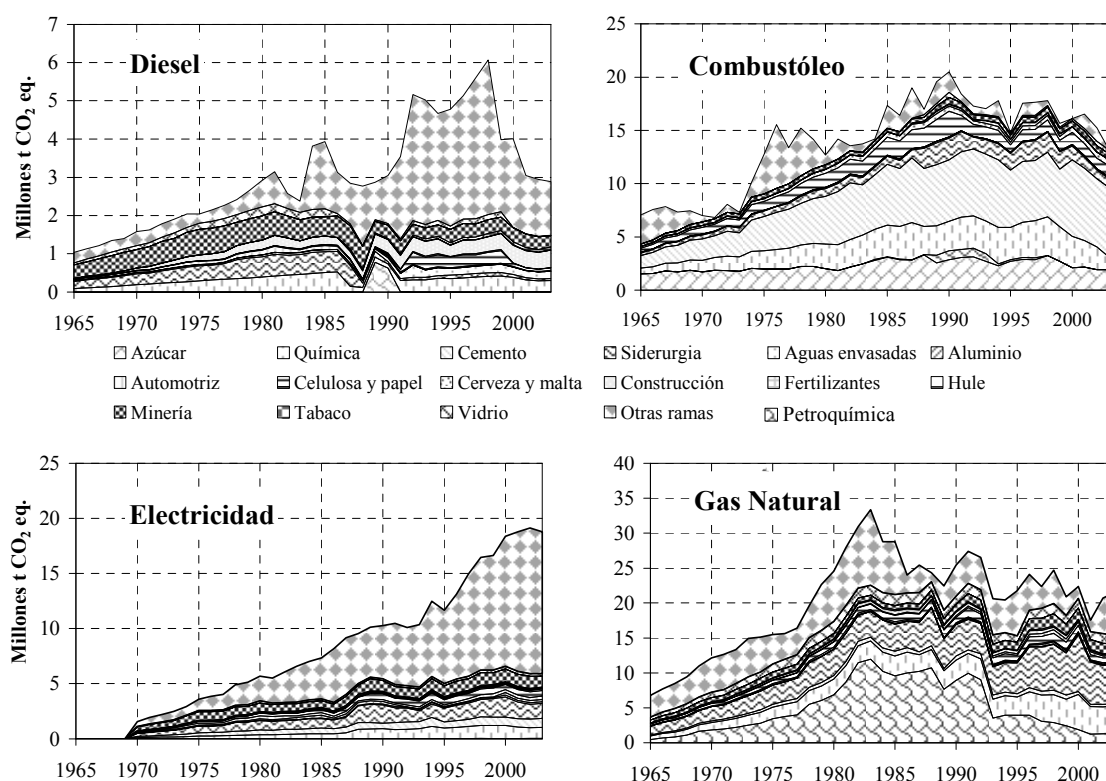
La composición de la mezcla de combustibles de uso final utilizada en el SIM dio como resultado que las emisiones de CO<sub>2</sub> para el año 2003 se concentraran principalmente en el consumo de gas natural, electricidad y combustóleo, representando el 33.1%, 29.3% y 14.8 % respectivamente. Las ramas industriales con un uso intensivo de gas natural fueron siderurgia, química, petroquímica, minería y vidrio, y sus emisiones asociadas de CO<sub>2</sub> fueron del orden de 26.2%, 18.5%, 6.2%, 5.9% y 5.5 % respectivamente. En lo que se refiere al consumo de electricidad, sobresalen las industrias de siderurgia (7.3%), química (5.4%), minería (5.1%) y cemento (4.2%) como las actividades industriales emisoras de CO<sub>2</sub> más significativas. En cuanto al consumo de combustóleo, las principales industrias emisoras fueron cemento (49.4%), azúcar (14.7%), química (8.8%), celulosa y papel (7.5%) y siderurgia (6.3%).

La estructura de demanda del consumo de energía final del SIM por tipo de combustibles por rama de actividad económica industrial se muestra en la tabla 3.2; y la evolución de las emisiones de CO<sub>2</sub> de acuerdo al tipo de combustible consumido por rama de actividad económica se muestra en la figura 3.4.

---

<sup>107</sup> El menor uso de combustóleo, tanto en el sector eléctrico como en el industrial, es uno de los factores que explican la disminución del consumo total de petrolíferos desde el 2000. De esta manera, en 2002 se presentó una disminución de 4.7%, pese al comportamiento de la economía nacional (SENER, 2003).

<sup>108</sup> Prospectiva de petrolíferos, varios años. Secretaría de Energía, México.



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.

Figura 3.4.

Evolución de las emisiones de CO<sub>2</sub> por tipo de combustible y rama de la industria Mexicana, 1965-2003.

El modelado de series de tiempo mediante la selección de modelos ARIMA para la obtención de proyecciones a largo plazo de series económicas y energéticas, no son empleadas ampliamente dentro de los estudios realizados a nivel nacional<sup>109</sup>. El uso del modelo LEAP (Long-range Energy Alternatives Planning System) es altamente utilizado en estudios sobre la estimación futura de la demanda de energía, penetración de tecnologías energéticas y planteamiento de escenarios futuros de diversas tecnologías de generación, producción e impacto ambiental. Entre estos estudios prospectivos podemos citar las publicaciones de la Secretaría de Energía (SENER), el Centro de Investigación en Energía (CIE) y el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP).

<sup>109</sup> ARIMA es considerado el método tradicional y más utilizado para el desarrollo de pronósticos de series de tiempo desde la publicación del libro de Box y Jenkins (1970).

a. Actividad económica industrial																			
Mezcla	Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	Total (%)
Gas natural (%)	1965	7.03	----	0.75	2.88	2.29	1.22	2.34	2.40	0.17	0.02	0.38	----	0.21	0.00	0.46	0.05	16.91	37.12
	1982	6.43	----	1.09	4.30	1.19	1.31	2.48	19.88	0.15	0.02	0.45	----	0.23	0.11	0.83	0.03	15.23	53.72
	1994	7.24	----	0.85	4.88	1.95	1.60	1.89	6.77	0.51	0.16	0.17	----	0.19	0.28	0.70	0.02	8.06	35.27
	2003	8.82	----	0.42	6.22	2.01	1.04	1.86	2.09	0.51	0.22	0.14	----	0.28	0.09	0.23	0.02	9.64	33.58
Electricidad (%)	1965	1.41	0.00	0.53	0.43	2.13	0.33	0.21	----	0.06	0.07	0.36	0.02	0.05	0.00	0.07	0.02	1.05	6.75
	1982	1.48	0.00	0.90	0.74	1.27	0.41	0.26	----	0.06	0.08	0.48	0.10	0.06	0.28	0.14	0.01	5.24	11.52
	1994	2.03	0.04	1.34	1.81	1.62	0.96	0.35	----	0.15	0.22	0.32	0.15	0.10	0.10	0.13	0.01	11.27	20.61
	2003	2.15	0.05	1.25	1.60	1.52	0.77	0.33	----	0.22	0.24	0.51	0.12	0.12	0.28	0.06	0.02	20.10	29.33
Combustóleo (%)	1965	0.97	6.12	4.60	2.18	0.87	1.61	0.01	0.00	0.60	0.16	0.02	----	0.03	0.00	0.00	0.01	10.83	28.01
	1982	0.89	2.73	6.73	3.25	0.45	1.72	0.01	0.00	0.52	0.14	0.02	----	0.04	0.00	0.00	0.00	0.59	17.09
	1994	1.86	2.88	7.94	4.30	0.57	1.46	0.14	0.21	0.44	0.14	0.00	----	0.05	0.00	0.39	0.01	1.86	22.26
	2003	0.94	2.20	7.36	1.32	0.56	1.12	0.41	0.00	0.66	0.16	0.10	----	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	14.89
Diesel (%)	1965	0.75	0.00	----	0.39	1.46	0.02	0.24	----	0.01	0.08	0.14	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	1.11	4.27
	1982	0.69	0.00	----	0.58	0.76	0.02	0.26	----	0.01	0.07	0.16	0.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.52	3.39
	1994	0.09	0.00	----	0.46	0.40	0.41	0.15	----	0.03	0.28	0.03	0.51	0.08	0.00	0.01	0.00	3.66	6.11
	2003	0.06	0.00	----	0.35	0.35	0.07	0.01	----	0.01	0.23	0.03	0.54	0.09	0.00	0.01	0.00	1.67	3.41
Gas licuado (%)	1965	0.00	----	----	0.12	0.02	0.00	0.00	----	0.00	0.03	0.05	----	0.00	0.00	----	----	0.63	0.85
	1982	0.00	----	----	0.17	0.01	0.00	0.00	----	0.00	0.03	0.06	----	0.00	0.00	----	----	0.79	1.07
	1994	0.03	----	----	0.06	0.12	0.02	0.01	----	0.00	0.06	0.13	----	0.00	0.01	----	----	1.36	1.80
	2003	0.00	----	----	0.06	0.20	0.02	0.01	----	0.03	0.07	0.02	----	0.00	0.00	----	----	2.80	3.22
Coque (%)	1965	7.18	----	----	----	0.02	----	0.07	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	7.27
	1982	6.28	----	----	----	0.01	----	0.07	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	6.36
	1994	6.36	----	----	----	0.41	----	0.09	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	6.85
	2003	5.58	----	----	----	0.45	----	0.00	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	6.02
Bagazo de caña (%)	1965	----	13.68	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	13.68
	1982	----	6.16	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	6.16
	1994	----	6.99	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	6.99
	2003	----	7.74	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	7.74
Queroseno (%)	1965	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	0.00	----	----	2.04	2.04
	1982	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	0.00	----	----	0.68	0.68
	1994	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	0.00	----	----	0.10	0.10
	2003	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	0.00	----	----	0.01	0.01
Total (%)	1965	17.34	19.80	5.88	6.00	6.79	3.18	2.87	2.40	0.84	0.36	0.95	0.10	0.30	0.00	0.53	0.08	32.57	100.00
	1982	15.77	8.89	8.72	9.04	3.69	3.46	3.08	19.88	0.74	0.33	1.18	0.44	0.33	0.39	0.97	0.04	23.05	100.00
	1994	17.63	9.91	10.14	11.51	5.07	4.45	2.63	6.98	1.14	0.86	0.64	0.66	0.41	0.39	1.23	0.04	26.31	100.00
	2003	17.54	9.99	9.03	9.54	5.10	3.04	2.62	2.09	1.43	0.92	0.80	0.66	0.54	0.37	0.30	0.03	34.21	100.00

Nota: a. Actividad económica industrial: 1. Siderurgia, 2. Azúcar, 3. Cemento, 4. Química, 5. Minería, 6. Celulosa y papel, 7. Vidrio, 8. Petroquímica, 9. Cerveza y malta, 10. Aguas envasadas, 11. Automotriz, 12. Construcción, 13. Hule, 14. Aluminio, 15. Fertilizantes, 16. Tabaco, 17. 'Otras' industrias.

Tabla 3.2.

Tasas medias de crecimiento anual de emisiones de CO<sub>2</sub> por tipo de combustible consumido por el Sector Industrial Mexicano, 1965-2003.

A nivel internacional existen numerosos estudios que utilizan los modelos ARIMA para pronosticar mediante el empleo de series de tiempo de naturaleza energética, entre los cuales se mencionan las investigaciones llevadas a cabo en Turquía por los autores Ediger y Tathdil (2002), Ediger et al. (2006), Ediger y Akar (2007) y Erdogdu (2007) los cuales utilizan modelos ARIMA para pronosticar, modelar

e interpretar las posibles implicaciones de la demanda de energía eléctrica y combustibles de origen fósil, además de presentar un compendio bibliográfico abundante en cuanto a los modelos de pronósticos empleados en su país; Cervero (1985) pronostica el consumo de gasolina en los Estados Unidos; Abdel-Aal y Al-Garni (1997) pronostican el consumo de energía eléctrica en el este de Arabia Saudita; Chavez et al. (1999) pronostica la producción y consumo de energía en el norte de España; Saab et al. (2001) pronostica la demanda de energía eléctrica en el Líbano, entre otros.<sup>110</sup>

### 3.4.2 Metodología.

Las proyecciones hacia el 2030 se realizan definiendo el modelo ARIMA adecuado conforme a la metodología de Box-Jenkins, descrita anteriormente en este capítulo y se aplica a setenta y nueve series de tiempo correspondientes a la mezcla de combustibles de uso final de las diecisiete ramas de actividad económica industrial que conforman la demanda total de energía para el periodo de 1965 a 2003 del SIM. La demanda de energía final del SIM comprende los combustibles: gas natural, electricidad, combustóleo, diesel, coque, gas licuado, bagazo de caña y queroseno. Después de obtener los pronósticos de la demanda futura de energía final de cada serie de tiempo, se emplea un factor de emisión de carbón de acuerdo al tipo de combustible consumido<sup>111</sup>. Las emisiones de CO<sub>2</sub> producidas por el consumo de bagazo de caña no se consideran dentro de la suma total de emisiones de bióxido de carbono del SIM al considerarse como emisiones biogénicas<sup>112</sup>.

El software SPSS (Statistical Package for Social Science) se emplea para determinar las funciones de autocorrelación (*f<sub>ac</sub>*) y función de autocorrelación parcial (*f<sub>ap</sub>*) de cada serie de tiempo y estimar los parámetros de los modelos ARIMA propuestos. El máximo número de *lags* o *retrasos* se determina dividiendo el total de observaciones entre 4, como lo detalla la metodología de Box-Jenkins para una serie de tiempo con menos de 240 observaciones. En este estudio el número de observaciones es de 39 y por lo tanto el número de *retrasos* se estima en 10. Las gráficas de las funciones de autocorrelación y autocorrelación parcial proporcionadas por el software SPSS se utilizan para estimar el orden de los modelos AR y MA respectivamente. El pronóstico ARIMA adoptado presenta tres diferentes resultados denominados como límite superior, límite inferior y valor pronosticado. El valor pronosticado es el presentado en la sección de resultados. Estos valores son obtenidos a un nivel de confianza del 95%. La exactitud de los modelos se comprueba con el error medio cuadrático, donde valores menores de error medio cuadrático significan un mejor ajuste del modelo; también se emplea el estadístico de Ljung-Box, conocido con el nombre de estadístico de Box-Pierce, el cual nos indica si el modelo elegido fue correctamente especificado.

<sup>110</sup> Gooijer y Hyndman (2006) ofrecen una recapitulación bibliográfica que cubre los últimos 25 años en cuanto al uso de pronósticos de series de tiempo.

<sup>111</sup> Los factores de emisión de carbono se obtienen de acuerdo a las guías para inventarios de gases efecto invernadero del IPCC.

<sup>112</sup> El CO<sub>2</sub> puede originarse de manera biogénica, cuando la combustión es de biomasa, lo que corresponde a emisiones de carbono neutral, como parte del ciclo natural del carbono.

### **3.4.3 Análisis.**

#### **3.4.3.1 Antecedentes.**

El conocimiento de la situación actual y de las tendencias futuras en la demanda de energía fósil, asociadas directamente con las emisiones de bióxido de carbono debidas al crecimiento industrial de México, será determinante en materia de política pública, económica, financiera, fiscal y hacendaria por parte del gobierno mexicano conducentes a la planeación energética y ambiental sustentable del país.

México aparece en Latinoamérica como el principal emisor de bióxido de Carbono con emisiones estimadas mayores a 438.5 millones de toneladas métricas en el año 2003, de acuerdo a lo publicado por la División de Estadísticas de las Naciones Unidas (UNSD) con datos del Centro de Análisis de la Información sobre Dióxido de Carbono (CDIAC, Carbon Dioxide Information Analysis Center), tales emisiones equivalieron al 30% de las emisiones totales de Latinoamérica y el Caribe. El 15% (65 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>) de estas emisiones totales, correspondieron al SIM y en las cuales incidieron fuertemente las ramas industriales de la siderurgia (21.2%), cemento (11.6%), química (10.0%) y minería (5.6%). También, un punto crítico a considerar, es lo publicado por la Agencia Internacional de Energía (AIE), organismo dependiente de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), la cual indica que antes de 2030, México<sup>113</sup> pasará de ser el octavo exportador mundial de petróleo a importador neto, pues sus reservas (calculadas en 23 mil 700 millones de barriles) a los actuales niveles de producción sólo alcanzarán para 21 años<sup>114</sup>.

Los indicadores del uso de energía muestran que no ha existido un cambio en la composición en la mezcla de combustibles en el SIM desde la década de los sesentas. Esta demanda de energía de uso final se ha incrementado gradualmente debido al uso creciente de productos derivados del petróleo y gas, en virtud de que México es productor y exportador de petróleo. El efecto Cantarell evolucionó rápidamente, de producir 749 mil barriles diarios durante los setentas, el promedio de producción diaria del país creció hasta alcanzar 2.5 millones de barriles en la década de los ochentas, 2.8 millones en los noventas y 3.1 millones en el periodo 2000-2010<sup>115</sup>. Así también, el incremento de la demanda de productos por el aumento poblacional, desarrollo de la industrialización en México orientada a actividades económicas de uso intensivo de energía y de gran aporte al Producto Interno Bruto Nacional (PIB) y una política de gobierno encaminada a satisfacer las necesidades del mercado domestico, fueron factores en el incremento de la demanda energética y consecuentemente en un incremento de las emisiones contaminantes al medioambiente.

---

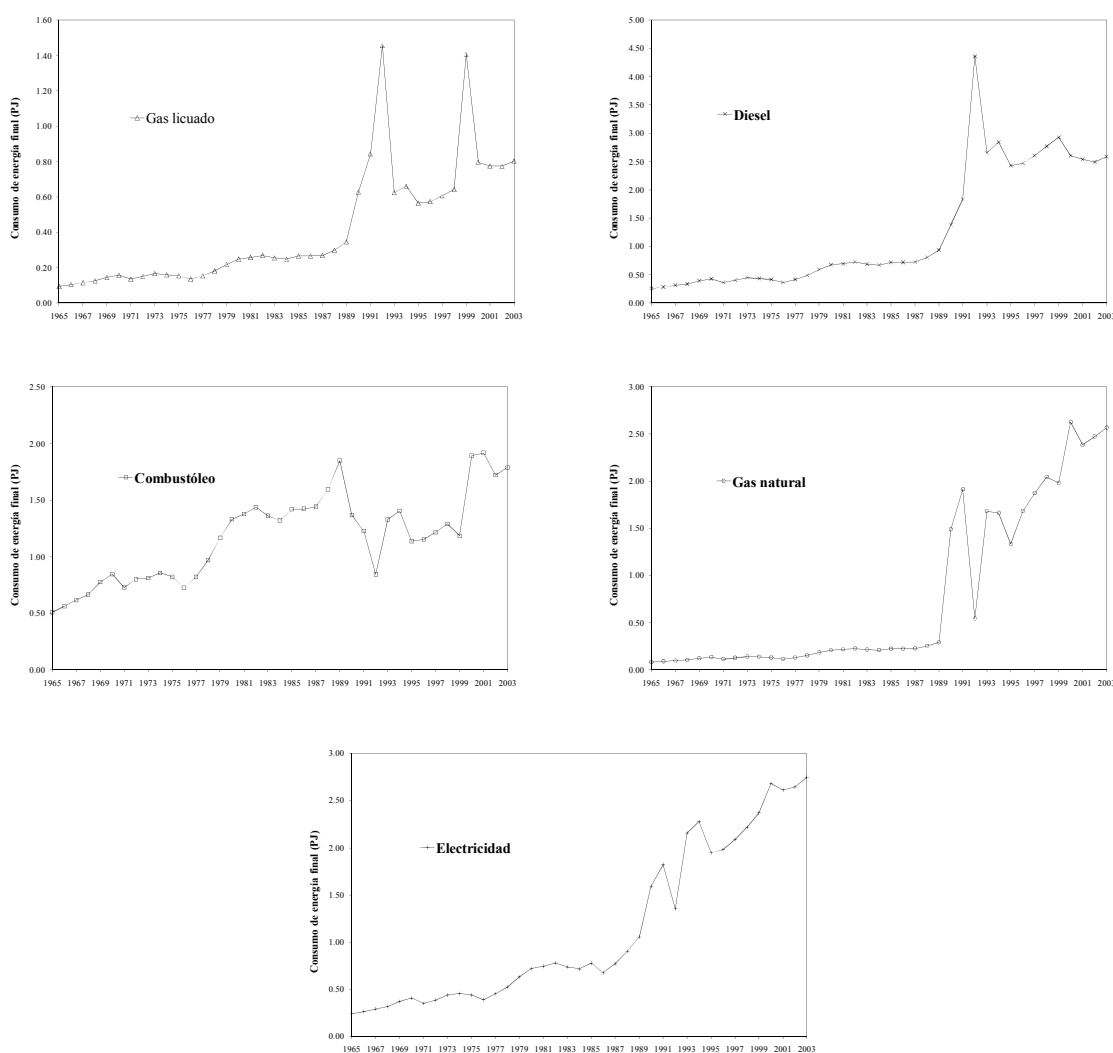
<sup>113</sup> México es una de las principales economías no-OPEC productora y exportadora de petróleo: de 2002 a 2005, paso de 97.9 a 102.8 millones de barriles de crudo exportados a economías APEC, predominantemente a los E.U.

<sup>114</sup> Reportes de Pemex establecen la relación R/P en 38 años, mientras que el BP Statistical Review of World Energy 2006 la calcula en 10 años.

<sup>115</sup> Petróleos Mexicanos, 2011. Cantarell representó el 36.8 por ciento de la producción total de petróleo de los ochentas, el 40.8 por ciento de los noventas y el 50.4 por ciento en el periodo 2000-2010.

### 3.4.3.2 Selección del modelo ARIMA.

Las series de tiempo del consumo de energía de uso final del sector industrial Mexicano son de carácter anual, por lo que carecen de estacionalidad. El análisis para encontrar el ajuste del modelo ARIMA adecuado se llevo a cabo en las 69 series de tiempo que corresponden a la mezcla de combustibles de energía de uso final para cada una de las 17 ramas de actividad económica industrial de la industria Mexicana en el período de 1965 a 2003. Debido a lo extenso del número de series de tiempo, se proporcionará como ejemplo el análisis llevado a cabo a la rama industrial de aguas envasadas, cuyas series de tiempo en cuanto a la mezcla de combustible de consumo de energía de uso final se muestran en la figura 3.5.



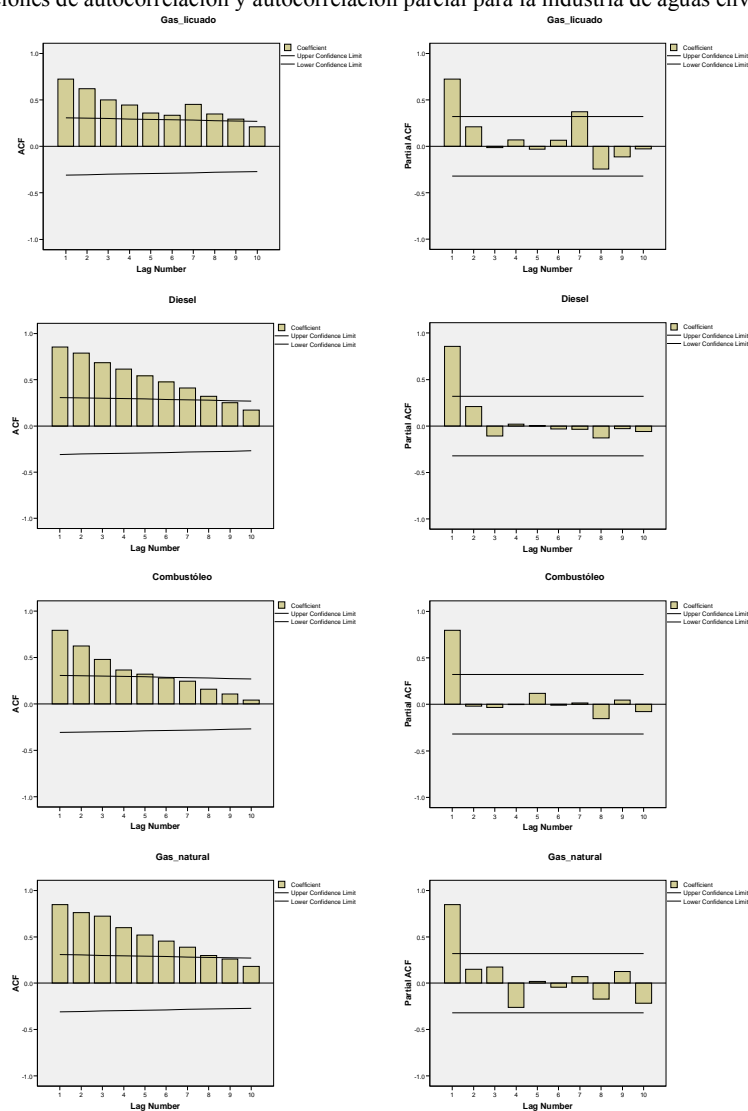
Fuente: Elaboración propia con datos de la Secretaría de Energía, Dirección General de Formulación de Balances y Anuarios y del Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática, Sistema de Cuentas Nacionales de México.

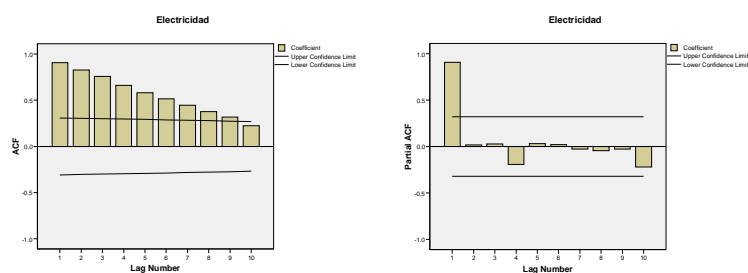
Figura 3.5.

Series de tiempo del consumo de energía de uso final de la industria de aguas envasadas.

De acuerdo a la metodología de Box-Jenkins, el primer paso es comprobar la estacionariedad de la serie de tiempo, y en caso de no ser así, se utilizará la diferenciación para obtenerlo. Para identificar la estacionariedad de la serie de tiempo se grafican los correlogramas de la función de autocorrelación (fac) y de autocorrelación parcial (fap). Si la serie de tiempo decrece lentamente se dice que no hay estacionariedad, si el decrecimiento es rápido la serie de tiempo es estacionaria. Los correlogramas de las series de tiempo correspondientes a la mezcla de combustibles de uso final de la industria de aguas envasadas se muestran en la figura 3.6.

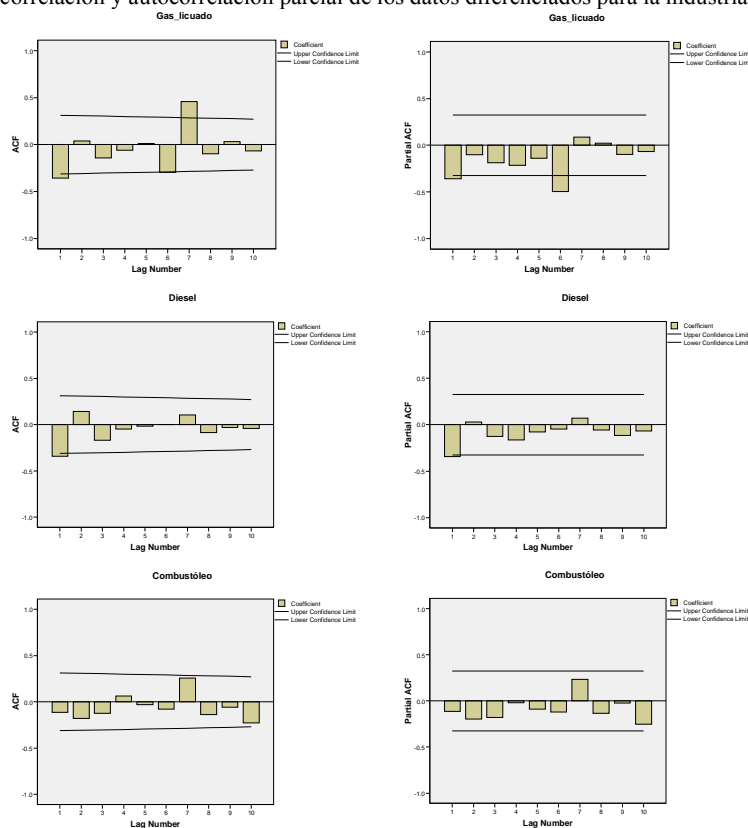
Figura 3.6.  
Funciones de autocorrelación y autocorrelación parcial para la industria de aguas envasadas.



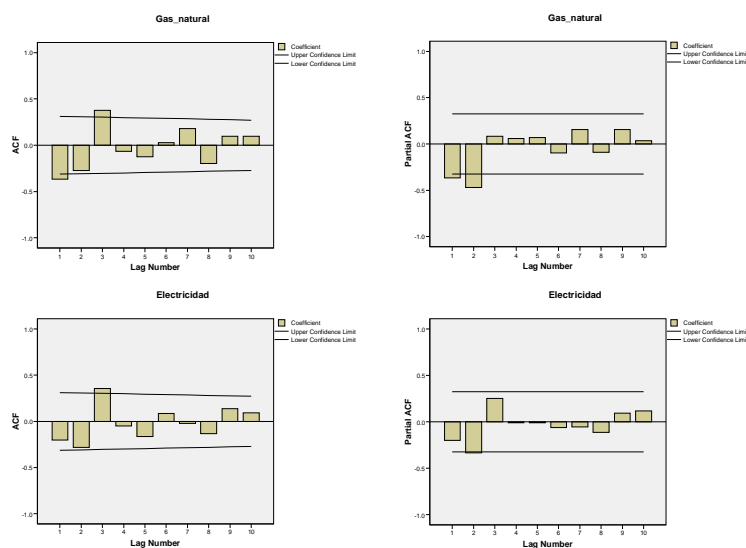


Los correlogramas mostrados en la figura 3.6 nos indican que cada una de las series de tiempo de la mezcla de combustibles correspondiente a la industria de aguas envasadas son no estacionarias. Las fac decrecen lentamente y la primer fap en cada serie de tiempo es dominante y cercana a 1, lo que indica que las series de tiempo son no estacionarias. Por lo tanto, se realiza una diferenciación no estacional de los datos y se analizan una vez más. La figura 3.7 muestra la diferenciación de los datos de la serie de tiempo original para la mezcla de combustibles de uso final de la industria de aguas envasadas.

Figura 3.7. Funciones de autocorrelación y autocorrelación parcial de los datos diferenciados para la industria de aguas envasadas.

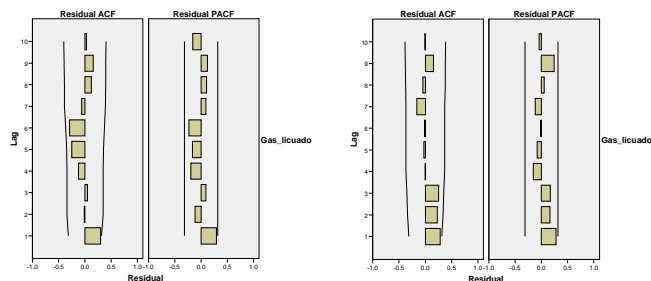






La figura 3.7 muestra los correlogramas estimados con una diferenciación no estacional y no aparece el decrecimiento. Los valores que se salen fuera de las bandas son significativamente distintos de cero, pero simplemente por azar un 5% se sale fuera. Los intervalos de confianza se establecen para el 95% de confiabilidad. De esta forma, la estimación de los parámetros autorregresivos y de media móvil, del posible modelo ARIMA, ya puede realizarse. En general, los procesos AR se reconocen por una fac infinita y una fap que desaparece tras el primer retardo, mientras que los procesos MA se reconocen por una fap infinita y una fac que desaparece tras el primer retardo.

*Gas licuado:* Los correlogramas de la serie de tiempo correspondiente a gas licuado mostrados en la figura 3.7, muestran a la fac con un comportamiento irregular en los retardos, sobresaliendo los picos en los retardos 1, 6 y 7. La fap muestra un decrecimiento atenuado e irregular, no cero. Por lo que, el modelo estimado para esta serie de tiempo podría ser un ARIMA (0, 1, 1). Sin embargo, considerando los correlogramas de la fac y fap de la figura 3.6 y que no se encuentra establecido cuán lentamente ha de ser el decrecimiento de los coeficientes de autocorrelación parcial para que el proceso sea estacionario también pudiera ser estimado un modelo ARIMA (1, 0, 0), ya que se observa un decaimiento atenuado en la fac y un pico en el retraso 1 de la fap. El modelo adecuado para pronosticar deberá pasar por la prueba de los residuos y estos deberán ser ruido blanco<sup>116</sup>.



<sup>116</sup> Una diferenciación innecesaria sólo sirve para alterar el esquema de autocorrelación evidente en una serie estacionaria y complicarlo innecesariamente. Pérez L., C. *Técnicas estadísticas con SPSS*, 2001.

Figura 3.8.

Funciones fac y fap de los residuos de los modelos propuestos a la serie de tiempo de gas licuado para la industria de aguas envasadas.

En la figura 3.8, los modelos estimados indican ruido blanco, las funciones fac y fap de los residuales no presentan picos significativos dentro de los límites de valores críticos. Además, el estadístico de Ljung-Box con 17 grados de libertad (gl), nos indica que la probabilidad de obtener una distribución ji-cuadrada ( $\chi^2$ ) igual o mayor que 25.3 o 17.7 respectivamente para los modelos ARIMA (0, 1, 1) y (1, 0, 0), se encuentra por debajo de 0.005, por lo que se concluye que los datos evaluados son ruido blanco. Así también, los estadísticos de ajuste como R cuadrado estacionario, R cuadrado ( $R^2$ ), error medio cuadrático (RMSE), error absoluto promedio (MAE) y criterio de información bayesiano (BIC) de los modelos estimados se especifican de la forma siguiente:

Modelo	R <sup>2</sup> estacionario	R <sup>2</sup>	RMSE	MAE	BIC
ARIMA (0, 1, 1)	0.996	0.998	0.018	0.012	-6.946
ARIMA (1, 0, 0)	0.989	0.989	0.039	0.025	-5.841

Por último, una vez aceptado el modelo ARIMA, en este caso particular de la industria de aguas envasadas, se selecciona el modelo ARIMA (0, 1, 1), y se lleva a cabo el pronóstico. La figura 3.9 muestra el pronóstico para la serie de tiempo de gas licuado correspondiente a la rama industrial de aguas envasadas.

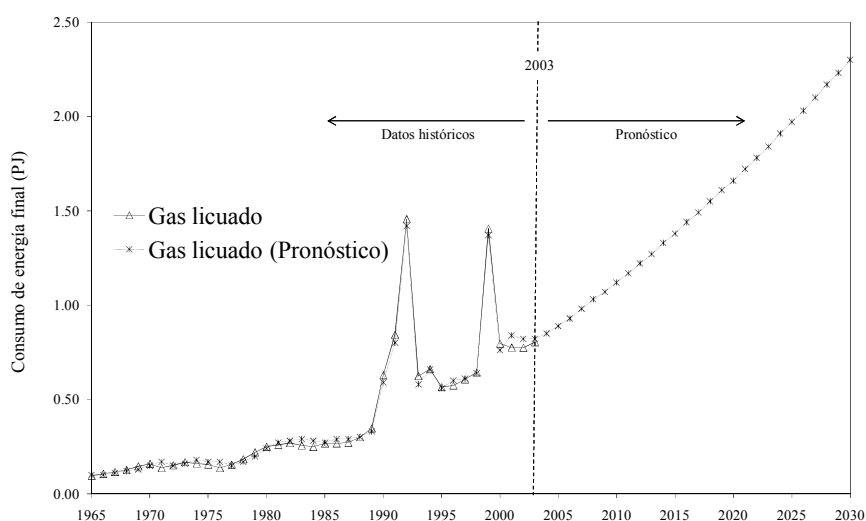


Figura 3.9.

Pronóstico del consumo de gas licuado de la industria de aguas envasadas.

Así, de la misma forma en que se llevo a cabo la estimación del modelo ARIMA y su pronóstico para el consumo de gas natural de la industria de aguas envasadas, se realiza el mismo procedimiento para los consumos de diesel, combustóleo, gas natural y electricidad en la misma rama industrial, obteniendo los valores de la forma siguiente:

Diesel:

Modelo	R <sup>2</sup> estacionario	R <sup>2</sup>	RMSE	MAE	BIC	Ljung-Box
ARIMA (1, 1, 0)	0.783	0.980	0.159	0.081	-3.292	13.442

Combustóleo:

Modelo	R <sup>2</sup> estacionario	R <sup>2</sup>	RMSE	MAE	BIC	Ljung-Box
ARIMA (1, 0, 0)	0.952	0.952	0.094	0.065	-3.977	18.090

Gas natural:

Modelo	R <sup>2</sup> estacionario	R <sup>2</sup>	RMSE	MAE	BIC	Ljung-Box
ARIMA (0, 1, 0)	0.933	0.975	0.152	0.066	-3.294	13.821

Electricidad:

Modelo	R <sup>2</sup> estacionario	R <sup>2</sup>	RMSE	MAE	BIC	Ljung-Box
ARIMA (1, 1, 0)	0.963	0.998	0.044	0.029	-5.172	19.788

Los pronósticos del consumo de diesel, combustóleo, gas natural y electricidad de la rama industrial de aguas envasadas se muestran en la figura 3.10.

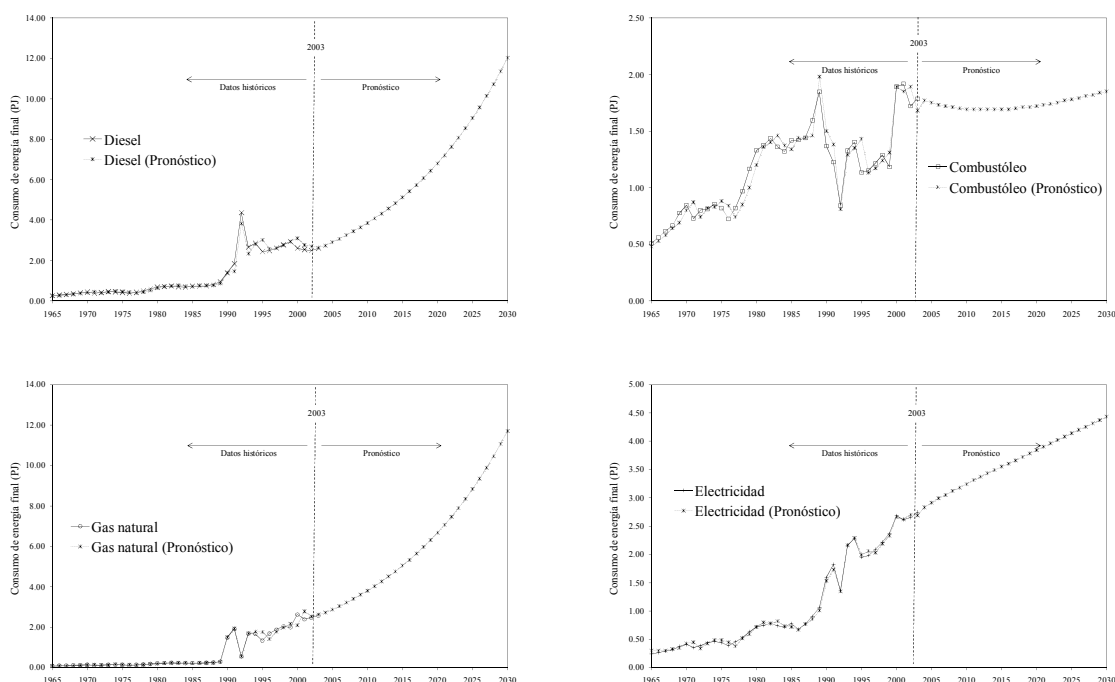


Figura 3.10. Pronóstico del consumo de diesel, combustóleo, gas natural y electricidad de la industria de aguas envasadas.

### 3.4.3.3 Pronóstico de demanda de energía de uso final en la industria Mexicana.

La evolución de la demanda de energía de uso final en el sector industrial Mexicano, en el período 1965-2003, fue descrita ampliamente en el capítulo 2. El procedimiento previamente expuesto, en el caso particular de la industria de aguas envasadas, fue extendido a las 16 ramas de actividad económica de importancia de la industria Mexicana con la finalidad de obtener un pronóstico de la demanda de energía de uso final hacia el 2030.

Los pronósticos de la demanda de energía de uso final en el SIM, indicaron que la demanda se incrementará 63.2% en 2030, respecto del consumo observado en 2003. Siendo, la rama de actividad económica ‘otras’ industrias la que demandará el 52% de todo el consumo energético final del sector, así también, se significará la importancia de las industrias de siderurgia (12.0%), química (7.2%) y azúcar (7.8%)<sup>117</sup>. Los pronósticos obtenidos de 2003 a 2010 difieren, respecto de los valores publicados en el balance nacional de energía de la Secretaría de Energía, en 8.1% (valor promedio debajo de los valores oficiales), observándose que la mayor desviación sucede en el 2008 con un 13.1% por debajo del valor oficial de la demanda de energía del sector industrial. La tabla 3.3 muestra los valores oficiales y pronosticados en el lapso de tiempo 2004-2010 y la proyección de la demanda energética final del SIM, por rama de actividad económica se visualiza en la figura 3.11.

Año	Pronóstico (PJ)	Oficial (PJ)	Desviación (%)
2004	1183.86	1262.73	-6.25
2005	1174.32	1268.08	-7.39
2006	1190.02	1291.07	-7.83
2007	1210.99	1362.89	-11.15
2008	1231.32	1417.21	-13.12
2009	1253.20	1306.83	-4.10
2010	1275.21	1368.74	-6.83

Tabla 3.3.  
Pronósticos y valores oficiales de la demanda energética final de la industria Mexicana.

<sup>117</sup> Incluye el pronóstico de la energía correspondiente a bagazo de caña en la industria azucarera. En el pronóstico de emisiones de CO<sub>2</sub> por rama industrial, y en el total del sector, emisiones producto del consumo de bagazo de caña no son incluidas en el análisis.

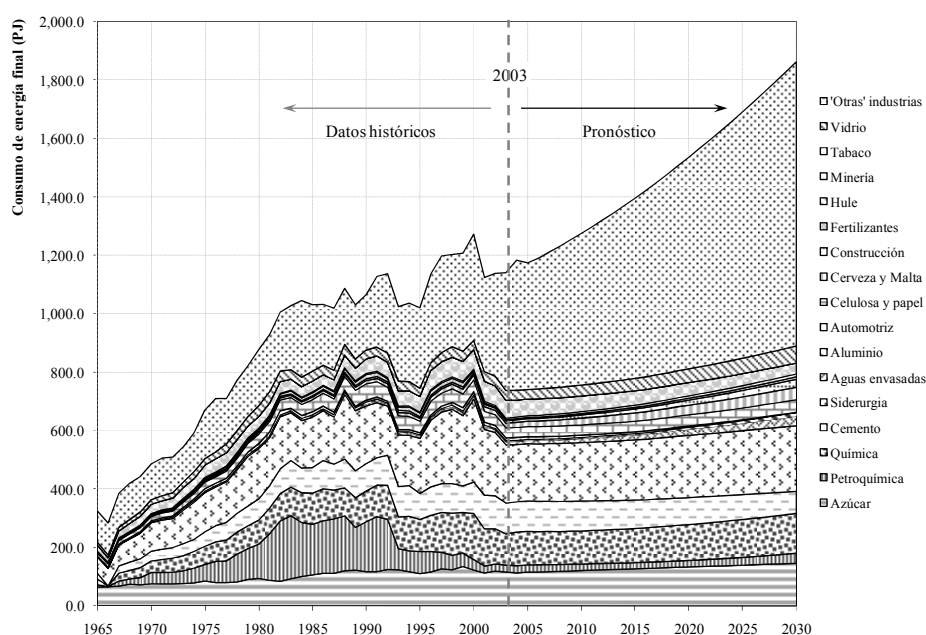


Figura 3.11.  
Pronóstico del consumo de energía de uso final en la industria Mexicana.

#### 3.4.3.4 Pronóstico de emisiones de CO<sub>2</sub>

Una vez que los pronósticos de la demanda de energía del SIM fueron estimados para cada rama de actividad industrial de importancia, se utilizan los factores de emisión de carbono del IPCC para cuantificar las emisiones de CO<sub>2</sub> en cada industria del sector industrial. Los valores pronosticados indican que para el año 2030 el SIM emitirá más de 112 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> como consecuencia del consumo de electricidad (51%), gas natural (22%), combustóleo (10%), coque (8%), diesel (6%) y gas licuado (3%). El crecimiento anual promedio (tmca) de las emisiones de CO<sub>2</sub> por tipo de combustible consumido, en el periodo de 2003 a 2030, en el sector industrial Mexicano se presentan en la tabla 3.4.

Electricidad																		
Periodo	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	SIM
2003-2015	-1.0	----	3.9	1.6	2.6	2.2	0.5	3.7	2.3	4.8	3.1	2.2	2.1	1.5	1.5	5.0	6.0	5.1
2015-2030	-1.1	----	2.7	0.8	1.9	1.5	5.3	2.5	1.8	2.9	2.2	2.7	1.7	1.3	1.2	5.0	3.8	3.5
2003-2030	-1.1	----	3.2	1.1	2.2	1.8	3.2	3.1	2.0	3.7	2.6	2.5	1.9	1.4	1.3	5.0	4.8	4.2
Gas natural																		
2003-2015	----	-1.6	0.8	-15.7	1.9	5.8	6.8	8.0	-4.2	6.3	----	0.1	1.8	-7.4	2.3	2.2	-2.1	0.0
2015-2030	----	3.4	0.5	0.0	1.5	5.8	6.8	1.1	-4.2	3.4	----	0.8	1.5	0.0	0.5	1.3	0.0	1.1
2003-2030	----	1.2	0.6	-7.3	1.7	5.8	6.7	4.1	-4.2	4.7	----	0.5	1.7	-7.2	1.3	1.7	-0.9	0.6
Combustóleo																		
2003-2015	0.5	----	-12.2	-0.1	-21.0	-0.5	----	----	2.1	2.4	----	----	1.2	2.3	-5.2	2.8	----	-0.5
2015-2030	0.5	5.3	-18.4	-1.8	0.0	0.6	----	----	1.7	1.9	----	----	1.4	0.9	0.0	2.6	0.0	-0.2
2003-2030	0.5	----	-15.7	-1.0	-10.0	0.1	----	----	1.9	2.1	----	----	1.3	1.5	-2.3	2.7	----	-0.3
Diesel																		
2003-2015	----	----	2.6	----	2.2	5.9	----	1.8	4.5	3.9	5.1	1.1	4.9	2.0	0.0	9.8	2.5	3.3
2015-2030	----	----	1.5	----	2.6	5.9	----	1.8	5.7	1.5	5.3	0.6	2.6	1.6	----	-11.6	1.7	3.1
2003-2030	----	----	2.0	----	2.4	5.9	----	1.8	5.2	2.6	5.2	0.8	3.6	1.8	0.0	-2.7	2.1	3.2
Coque																		
2003-2015	----	----	----	----	0.9	----	----	----	----	----	----	----	----	1.3	----	24.2	----	1.0
2015-2030	----	----	----	----	1.3	----	----	----	----	----	----	----	----	0.2	----	5.2	----	1.3
2003-2030	----	----	----	----	1.1	----	----	----	----	----	----	----	----	0.7	----	13.6	----	1.1
Gas licuado																		
2003-2015	----	----	4.9	----	40.7	4.6	1.1	2.3	-0.4	10.0	----	----	5.9	0.0	----	2.3	2.0	1.8
2015-2030	----	----	2.0	----	5.8	3.5	2.7	1.8	0.0	4.2	----	----	0.0	0.0	----	1.0	1.1	1.3
2003-2030	----	----	3.3	----	20.1	4.0	2.0	2.0	-0.2	6.7	----	----	2.6	0.0	----	1.6	1.5	1.5

Nota: Sub-sectores: S1: Azúcar, S2: Petroquímica, S3: Química, S4: Cemento, S5: Siderurgia, S6: Aguas envasadas, S7: Aluminio, S8: Automotriz, S9: Celulosa y papel, S10: Cerveza y malta, S11: Construcción, S12: Fertilizantes, S13: Hule, S14: Minería, S15: Tabaco, S16: Vidrio, S17: 'Otras' industrias, SIM: Sector industrial Mexicano. 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.

Tabla 3.4.

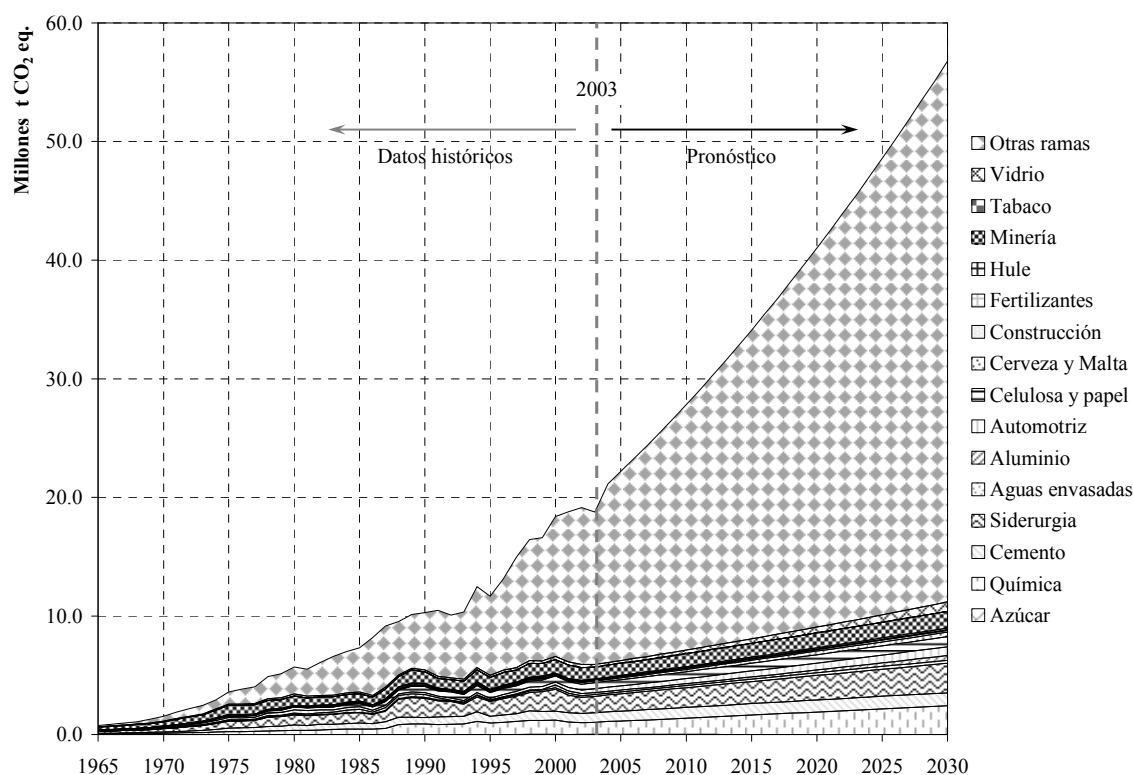
Proyección de crecimiento anual de las emisiones de bióxido de carbono en la industria Mexicana, 2003-2030.

#### 3.4.3.4.1 Electricidad.

La industrialización de México en las décadas de los sesenta y setenta condujo a un crecimiento exponencial de la demanda de energía eléctrica. Esto obligó al gobierno a destinar crecientes recursos al sector eléctrico, provocando fuertes presiones para las finanzas públicas. Las industrias exportadoras contribuyeron cada vez más al crecimiento económico de México; por ello el consumo de energía eléctrica consolidó la industrialización y la inserción de los productos mexicanos en los mercados internacionales. En países como Brasil, México, Argentina, Venezuela y Chile, que presentan estructuras diferentes se destaca que en todos ellos el sector industrial es el consumidor más importante de electricidad, seguido por el residencial, excepto en Venezuela. Esto permite inferir que el crecimiento del suministro eléctrico en esas economías ha estado enfocado a satisfacer básicamente los requerimientos del sector industrial y por lo tanto, los avances en la industrialización de esos países jugarán un papel importante en el crecimiento futuro de la demanda eléctrica. En la prospectiva del sector eléctrico Mexicano 2005-2013 se proyectó que la demanda de energía eléctrica crecerá a razón de 6.0% tmca durante dicho periodo, mientras que, en la prospectiva 2010-2025, el consumo de energía eléctrica se estima en 4.6% tmca para tal período<sup>118, 119</sup>.

<sup>118</sup> Prospectiva del sector eléctrico Mexicano, varios años. Secretaría de Energía.

El sector industrial Mexicano es el principal consumidor de energía eléctrica como consecuencia de un alto grado de sistemas de producción que requieren del suministro intensivo de electricidad. El modelo de pronóstico, basado en modelos ARIMA, propuesto en este trabajo, indica que las emisiones de CO<sub>2</sub> producidas por el consumo de electricidad en el SIM aumentaran a razón de 4.2 % tmc durante el período 2003-2030. A nivel de actividad económica, el consumo de energía eléctrica como combustible de uso final, será influenciado fuertemente por el desempeño de la actividad económica denominada como ‘otras’ industrias, conformada por 41 ramas de actividad industrial y en su mayoría conocidas como pequeñas y medianas empresas (PyMEs), industrias maquiladoras y de manufactura. En 2030, ‘otras’ industrias constituirán el 80% de las emisiones totales de CO<sub>2</sub> debidas al uso de electricidad en el SIM. Las industrias de siderurgia, química, minería y celulosa y papel serán responsables del 4.4%, 4.3%, 2.5% y 1.5% respectivamente. Los pronósticos de las emisiones totales de CO<sub>2</sub> debidas al consumo de electricidad como energético de uso final por rama de actividad económica industrial se muestran en la figura 3.12.



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.

Figura 3.12.

Escenario base de emisiones de CO<sub>2</sub> debidas al consumo de electricidad en la industria Mexicana, 2003-2030.

La estimación futura de las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas al consumo de electricidad, pone de manifiesto la importancia de las pequeñas y medianas empresas que, debido a su diversidad, hacen uso intensivo

<sup>119</sup> Para la APEC, la demanda de energía eléctrica en el sector industrial crecerá a una tasa media anual del 3.8% hacia el 2030. Energy Demand and Supply Outlook 2006.

de energía eléctrica. Así también, debido a que la industria Mexicana, sobre todo de maquila y manufactura son grandes contribuyentes al desarrollo de la economía nacional, se tendrá que implementar en el mediano y largo plazo estrategias tendientes a mejorar la eficiencia de los procesos productivos y uso de combustibles alternativos y renovables con menor contenido de carbón, los cuales permitan minimizar su impacto ambiental y a la vez, continúen favoreciendo el crecimiento nacional<sup>120</sup>.

#### **3.4.3.4.2 Gas natural.**

El consumo de gas natural en el sector industrial presenta una tendencia de crecimiento indefinida desde 1999. La volatilidad del precio del hidrocarburo en los últimos años, aunado a la insuficiencia de inversiones en el sector ha deprimido el consumo de aquellas industrias intensivas en el uso del gas natural. El crecimiento del consumo de gas natural a lo largo del periodo 1995-2005 se debió a cuestiones ambientales y económicas. El gas natural ofrece mayor eficiencia en su combustión y menores emisiones contaminantes a los presentados por el consumo de combustóleo. Este último ha estado siendo desplazado en razón de regulaciones ambientales cada vez más estrictas, las cuales han ido prohibiendo el uso de combustibles formulados con alto contenido de azufre en algunas zonas del país densamente pobladas y llamadas críticas en términos ambientales. Así, muchos industriales han ido cambiando sus tecnologías para el empleo de gas natural y en menor cantidad diesel, desincentivando el consumo de combustóleo. De acuerdo a la prospectiva de gas natural publicada por la Secretaría de Energía, la demanda de gas natural del sector industrial en México creció 1.6% tmca de 1995 a 2005, estimándose un crecimiento a razón de 3.6% tmca para el periodo 2005-2015 y 2.6% tmca para el periodo 2010-2025<sup>121</sup>.

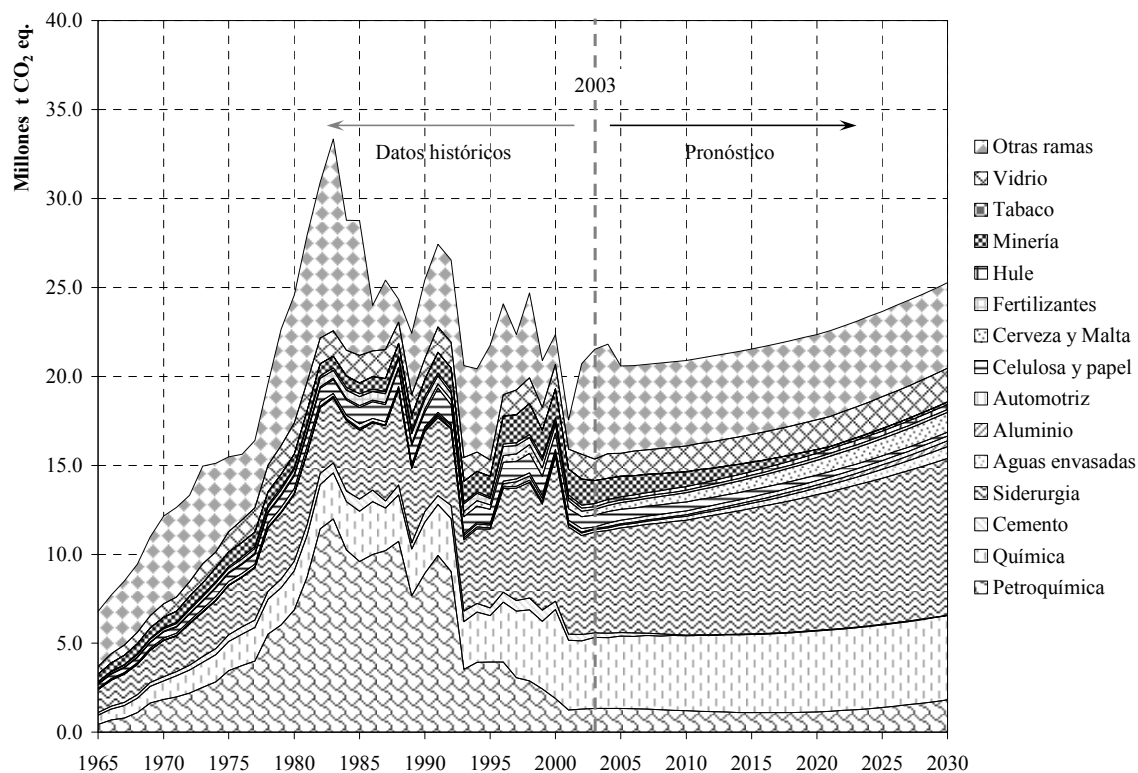
El pronóstico estimado en el presente trabajo obtuvo que las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas al consumo de gas natural crecerán a razón de 0.6% tmca en el periodo 2003-2030. Tal crecimiento futuro en las emisiones situará al consumo de gas natural como el segundo emisor de CO<sub>2</sub> en la industria Mexicana, detrás de las generadas como consecuencia del consumo de electricidad. En esta tendencia, se destacará el desempeño de las industrias de siderurgia (34.9%), química (18.7%), vidrio (7.5%), petroquímica (7.2%), cerveza y malta (4.4%) y 'otras' industrias (19%). En relación a estos pronósticos, se podría decir que, el modesto crecimiento anual futuro de las emisiones de CO<sub>2</sub> relacionadas al consumo de gas natural obedeció a un decremento tendencial de las actividades productivas iniciado a principios del 2000. La volatilidad de los precios del combustible a principios de la década causó incertidumbre a los industriales del país, sobre todo en industrias consideradas como intensivas en el uso de gas natural como la industria manufacturera, siderurgia, química, vidrio, papel, etc., asimismo la baja en las actividades petroquímicas influyeron en el comportamiento futuro de las emisiones en el sector en cuanto al consumo de gas natural. Los pronósticos de las emisiones totales de CO<sub>2</sub> debidas al

<sup>120</sup> En 2009, el 56.3% de las ventas internas de electricidad recayeron en pequeños y medianos usuarios. Así también, una disminución del consumo de electricidad en el sector industrial en 4.6%, coincidió con un decrecimiento del PIB manufacturero en 10.2% al cierre de 2009. Prospectiva de petrolíferos 2010-2025, Secretaría de Energía.

<sup>121</sup> Prospectiva de gas natural, varios años. Secretaría de Energía.



consumo de gas natural por rama de actividad económica industrial en la industria Mexicana se muestran en la figura 3.13.



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.

Figura 3.13.

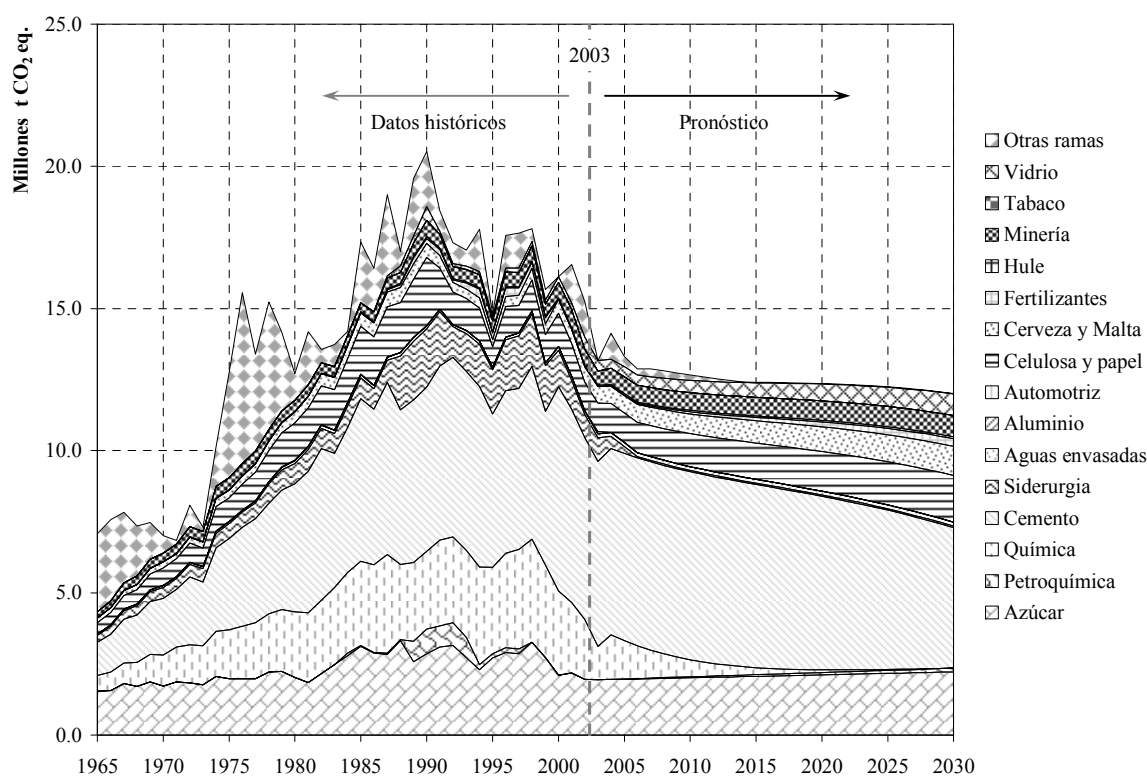
Escenario base de emisiones de CO<sub>2</sub> debidas al consumo de gas natural en la industria Mexicana, 2003-2030.

El sector industrial es uno de los principales consumidores de gas natural en toda actividad industrial y ha aumentado su demanda en función de su mayor eficiencia, menor impacto ambiental y precios relativamente bajos, los cuales pudieran incrementarse con el paso del tiempo. Sin embargo, la implementación de políticas nacionales y/o regionales llevadas a cabo en algunos países con el objetivo de mitigar los efectos de la emisión de bióxido de carbono augura un incremento en el uso de gas natural en el mediano y largo plazo en detrimento del consumo de otros combustibles fósiles. Su combustión genera una menor cantidad de CO<sub>2</sub> en comparación al carbón y los derivados del petróleo. Asimismo, la inversión e implementación de tecnología jugará un rol importante en la disminución de emisiones, por ejemplo, el caso de la industria cementera, la cual ha dejado de consumir gas natural paulatinamente, sustituyéndolo por coque de petróleo y utilizando tecnologías más eficientes y limpias en sus procesos.<sup>122</sup>

<sup>122</sup> Prospectiva de gas natural, varios años. Secretaría de Energía.

### 3.4.3.4.3 Combustóleo.

La prospectiva de petrolíferos (SENER-2006) estimó que durante el período 2005-2015, la tendencia en el consumo de combustóleo será a la baja a un decrecimiento anual a razón de -4.5% tmca. Tal estimación se deriva de las estrategias implementadas en las industrias en busca de mayor eficiencia energética, prevención y control de la contaminación, y como respuesta a la política ambiental cada vez más estricta en cuestiones ambientales. La demanda de combustóleo se concentrará en las industrias siderúrgica, minera, cementera, vidrio, cervecera y papelera principalmente. Actualmente, las actividades industriales que han optado por modificar sus procesos son: cemento, vidrio y siderurgia, las cuales están utilizando, o se encuentran en vías de utilizar, coque de petróleo como fuente de energía. Cabe mencionar que, que en el caso particular de una cementera, sus plantas tiene la capacidad de operar con al menos cuatro tipos diferentes de energéticos, incluyendo combustóleo, coque de petróleo, combustibles alternos y gas natural. Por ello, para los próximos diez años, la tendencia será utilizar en menor medida el combustóleo e incrementar el uso del gas natural, y el coque de petróleo, para dar cumplimiento a las normas ambientales y por sus precios más bajos<sup>123</sup>.



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.

Figura 3.14.

Escenario base de emisiones de CO<sub>2</sub> debidas al consumo de combustóleo en la industria Mexicana, 2003-2030.

<sup>123</sup> Prospectiva de petrolíferos, varios años. Secretaría de Energía.

Los pronósticos ARIMA del presente trabajo indican que las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas al consumo de combustóleo decrecerán a razón de 0.3% tmca en el período 2003-2030 en el SIM. La emisión de CO<sub>2</sub> por el consumo de combustóleo significará el 10.6% de las emisiones totales del sector. En el 2030, la composición de las emisiones de CO<sub>2</sub> de la industria mexicana asociadas al consumo de combustóleo estará constituida por las industrias del cemento (41%), azúcar (18.5%), celulosa y papel (13.6), cerveza y malta (8.6%), minería (6.2%), y vidrio (6.2%). En el período de 2003-2030, las ramas industriales con decrementos significativos en sus emisiones serán química (-15,7% tmca), cemento (-1.0% tmca) y siderurgia (-10% tmca). Como puede observarse, los pronósticos indican que las grandes industrias intensivas en el uso de energía (química, cemento, siderurgia, etc.) disminuirán su influencia en el total de las emisiones de CO<sub>2</sub> en el sector industrial, como consecuencia de su mayor poder económico y su alto contenido exportador. Así mismo, las industrias con un menor volumen de consumo de energía, también de carácter exportador como celulosa y papel, vidrio, cerveza y malta, etc., ganarán importancia en el sector y aumentarán sus emisiones de carbono considerablemente. Los pronósticos de las emisiones totales de CO<sub>2</sub> debidas al consumo de combustóleo por rama de actividad económica industrial de la industria Mexicana se muestran en la figura 3.14.

Las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas al consumo de combustóleo en la industria Mexicana indudablemente se reducirán en los próximos años. La política de reducción de uso de combustibles pesados, bajo contenido de azufre y la implementación de nuevos esquemas de producción de petrolíferos dentro del sistema nacional de refinación (SNR) así lo hace ver. Sin embargo, para conservar esta tendencia en la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> se tendrá que implementar programas de inversión, transferencia y desarrollo de tecnología con el fin de eficientar los procesos de producción, mediante la sustitución de materiales y combustibles por alternativas menos perjudiciales al ambiente<sup>124</sup>.

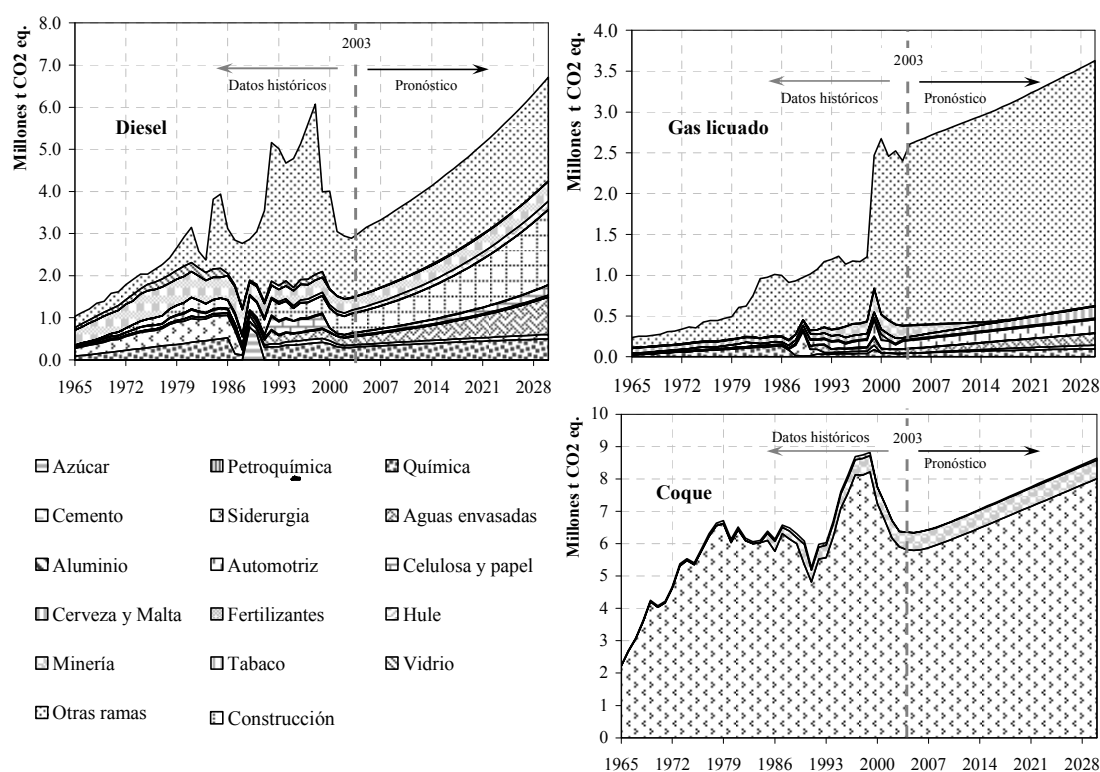
#### **3.4.3.4.4 Gas licuado, diesel y coque.**

La prospectiva de petrolíferos estima que el consumo de diesel se incrementará en 4.5% tmca, el gas licuado en 1.9% tmca, y el coque en 3.7% tmca en el período 2006-2011. En el caso del diesel, se espera que con el incremento de la producción se comience a ser autosuficiente para satisfacer la demanda interna a partir de 2012. La producción de diesel ha mantenido una línea de mejora continua en la calidad, procurando elaborar un combustible con buenas condiciones para el ambiente. El progreso en la calidad de producción de diesel ha sido necesario para responder a las exigencias de los desarrollos tecnológicos en la industria automotriz y en los procesos industriales. En lo que respecta al consumo de gas licuado, se prevé que la demanda de combustibles aumentará a causa de cambios estructurales en la composición de la producción industrial, preferentemente en actividades industriales de menor intensidad energética donde la recurrencia al gas LP suele ser mayor. En relación a la demanda de coque, desde 1993 el consumo en México ha crecido en un promedio anual de 28.9%, este elevado incremento en la demanda es explicado, en mayor parte, por la importancia que ha cobrado este petrolífero como combustible alternativo en la industria del cemento. La modernización de los hornos empleados para la producción de clínker ha permitido a la industria cementera de México el uso

<sup>124</sup> En algunos períodos de la evolución de la industria Mexicana, la sustitución y reducción del consumo de combustóleo obedeció al diferencial de precios con otros combustibles (gas natural preferentemente), más que por cuestiones ambientales y política pública.

de combustibles alternativos y altamente competitivos en poder calorífico y precio. Éste es el caso de coque de petróleo, que junto con llantas de desecho, aceites quemados y otros residuos sólidos, paulatinamente han sustituido el combustóleo y al gas natural en este apartado de la industria. Estas nuevas tecnologías de hornos y quemadores han facilitado el uso de coque de petróleo. Incluso en zonas con restricciones ambientales, ya que las emisiones de elementos contaminantes se reducen significativamente con las nuevas tecnologías.<sup>125</sup>

Los pronósticos ARIMA, muestran que las emisiones de CO<sub>2</sub> por el consumo de diesel, coque y gas licuado representaran el 5.9%, 7.6% y 3.2% respectivamente en 2030. Las emisiones de carbón asociadas al consumo de gas licuado crecerán a razón de 1.5% tmca, de diesel a 3.3% tmca, y de coque a 1.1% tmca, durante el período 2003-2030. La rama industrial de ‘otras’ industrias será responsable del 82.7% de las emisiones de CO<sub>2</sub> debidas al consumo de gas licuado. Respecto al consumo de diesel, las emisiones serán emitidas preferentemente por las industrias de construcción (26.5%), aguas envasadas (13.4%), química (7.4%), minería (7.0%) y ‘otras’ industrias (36.7%). Tocante al consumo de coque, la industria de siderurgia responderá por el 92.4% de las emisiones de CO<sub>2</sub> relativas al uso de este combustible. Los pronósticos de las emisiones totales de CO<sub>2</sub> debidas al consumo de gas licuado, diesel y coque por rama de actividad económica industrial en el sector industrial Mexicano se muestran en la figura 3.15.



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.

Figura 3.15.

Escenario base de emisiones de CO<sub>2</sub> debidas al consumo de gas licuado, diesel y coque en la industria Mexicana, 2003-2030.

<sup>125</sup> Prospectiva de petrolíferos, y Prospectiva de gas licuado de petróleo, varios años. Secretaría de Energía.

Los pronósticos de las emisiones de CO<sub>2</sub> mencionados en este apartado indican que estas serán incrementadas hacia el 2030. Se considera que la emisión de CO<sub>2</sub> provenientes del consumo de gas licuado se deberá a la disponibilidad de éste con respecto a otros combustibles, así como de su precio e infraestructura de distribución. El gas licuado sirve como insumo en una amplia gama de procesos y servicios industriales, entre cuyas aplicaciones más comunes se citan el calentamiento directo de hornos cerámicos; el tratamiento de textiles y de papel, el secado de pintura, el teñido del algodón, la metalurgia, la elaboración de alfarería, de cristal y la fabricación de ladrillos. En referencia a las emisiones asociadas al consumo de diesel, éstas estarán básicamente ligadas al desarrollo que presente la industria de la construcción, la cual se ve muy afectada en períodos de recesión económica. Por último, en cuanto a las emisiones asociadas al consumo de coque, la tendencia dependerá de la inversión que se realice en las ramas industriales de cemento y siderurgia, debido a que resulta atractivo como sustituto del gas natural y del combustóleo debido a su aporte en la reducción de costos de producción y ahorros generados.

### 3.5 Resultados.

Los modelos ARIMA han sido utilizados en gran número de situaciones en los que se desea un pronóstico lo suficientemente robusto y sobre todo fácil de implementar y de entender. El modelo desarrollado para pronosticar la demanda de energía de uso final en el sector industrial Mexicano, manifiesta valores que oscilan alrededor del -8% promedio, abajo de los valores oficiales, en un lapso de 6 años (2004-2010). Cabe señalar que, en los últimos años la contabilidad de las cuentas nacionales de México ha presentado algunos cambios. El sistema de cuentas nacionales de México de 1993 (SCNM-1993) fue remplazado por el Sistema de Cuentas Industriales de América del norte (SCIAN). Este cambio ha causado que las series de tiempo, utilizadas en el presente trabajo, no coincidan con las publicadas actualmente. Los balances de energía de México, aunque mantienen su contabilidad de acuerdo al SCNM-1993 realizan ciertos ajustes en cuanto al monto de demanda total de energía por tipo de combustible y actividad económica industrial, lo cual provoca que los totales publicados actualmente no coincidan con los del presente trabajo.

El pronóstico de series de tiempo de demanda de energía de uso final asociada a las emisiones de bióxido de carbono demuestra ser una herramienta confiable y de suma importancia en la actualidad para inferir un probable futuro, desprender posibles implicaciones en el deterioro ambiental y reflexionar acerca de problemas estructurales, situaciones y desarrollos futuros en el mediano y largo plazos. El modelo de pronóstico presentado indica que si las tendencias históricas se mantienen a mediano y largo plazos, las emisiones de CO<sub>2</sub> en el 2030 alcanzarán más de 112 millones de toneladas, siendo la participación de las industrias de uso intensivo de energía como siderurgia, química, cemento y minería altamente significativos. Además, la actividad industrial de 'otras' industrias, integrada por 41 ramas de actividad industrial le corresponderá la emisión de más de la mitad del CO<sub>2</sub> emitido por el SIM en 2030.

Por lo anterior, se percibe que, el crecimiento de los precios de los hidrocarburos, así como la necesidad de reforzar la seguridad energética y la mitigación de emisiones de gases efecto invernadero, serán factores vitales que obligaran a las industrias de uso intensivo de energía a la búsqueda e

implementación de programas de ahorro de energía y/o sustitución de energéticos de origen fósil para ayudar a reducir las tasas de crecimiento de las emisiones de bióxido de carbono. Además, el uso de pronósticos, en todo caso, deberá servir como herramienta de ayuda para sensibilizar a otros ante este tipo de procesos y problemas futuros y deberá evitarse abusar de los resultados de estos pronósticos para convencer o persuadir a terceros de posibles afirmaciones acertadas sobre un futuro desarrollo posible.

# Capítulo

# 4

## Escenarios alternativos.

---

### 4.1 Introducción.

Aunque el uso eficiente de la energía debiera ser un asunto prioritario para todo sector productivo, el punto focal se encuentra en el sector industrial, el cual mantiene un alta demanda de energía, y a la vez, ofrece un alto potencial para el ahorro y conservación energética a través de la implementación de estrategias económicas y técnicas. Estas medidas, aunque con costosas inversiones iniciales, pudieran ser retornables al corto plazo en función de la reducción proyectada en la demanda de energía. Implementar la eficiencia energética implica una modificación de los procesos industriales, forjando una industria cada vez más fuerte, entre las ventajas se mencionan: una producción más eficiente, menor costo y menor consumo de energía, toma de decisiones con base en indicadores de desempeño energético, conocimiento de la cultura organizacional de la empresa que permitan identificar las variaciones en los patrones de comportamiento organizacional, entre otros. Además, si las empresas reducen sus consumos de energía, disminuyen sus pérdidas de energía y/o utilizan energías renovables en sus procesos productivos éstas estarán en camino hacia una producción sustentable. El presente capítulo muestra posibles escenarios alternativos en el sector industrial Mexicano y en relación a las 16 ramas de actividad económica industrial de importancia dentro del sector. Se consideran tres escenarios con perspectiva hacia el 2030: el primero contempla la introducción de energía renovable, el segundo considera la eficiencia energética, y el tercero que concentra los efectos de los dos primeros escenarios. El escenario de contraste o de referencia para los tres escenarios alternativos, es el presentado y descrito en el capítulo 2.

#### 4.1.1 Ahorro de energía y eficiencia energética industrial.

Desde el inicio de la revolución industrial en el siglo XVIII se ha debatido mucho acerca del ahorro de energía. Uno de los primeros autores en hacerlo fue William Stanley Jevons (1865), en su libro titulado *The Coal Question* enunció la *Paradoja de Jevons*, que dice: “aumentar la eficiencia disminuye el consumo instantáneo, pero incrementa el uso del modelo, lo que provoca un incremento del consumo global”. La paradoja de Jevons implica que la introducción de tecnologías con mayor eficiencia energética pueden, a la postre, aumentar el consumo total de energía; la eficiencia disminuye el consumo instantáneo pero incrementa el uso del modelo provocando un incremento del consumo global. Asimismo, desde un punto de vista económico John M. Keynes (1930) propuso una paradoja análoga conocida como la *paradoja del ahorro*, la cual expone que si una sociedad procura ahorrar más, su gasto agregado disminuirá, haciendo que el equilibrio y la producción reales disminuyan también. La paradoja del ahorro (económico) explica que si todo el mundo trata de ahorrar durante una recesión, la demanda agregada caerá y los ahorros totales de la población serán más bajos.

En economías de mercado<sup>126</sup>, la eficiencia energética es ante todo un asunto de comportamiento propio, y refleja la base lógica del comportamiento de los consumidores de energía. Evitar el consumo innecesario de energía o elegir el equipo más adecuado para reducir el costo de la energía contribuye a disminuir el consumo particular de energía sin disminuir el bienestar respectivo; también contribuye a aumentar la eficiencia total de la economía nacional. Para evaluar la eficiencia energética de un país en cuanto al uso final, la intensidad energética final es el indicador más adecuado, éste corresponde a la energía consumida por los consumidores finales para fines energéticos por unidad de valor agregado o PIB, excluyendo el consumo y las pérdidas en la conversión energética (centrales energéticas, refinerías, etc.) y usos no energéticos. Así, el mejoramiento de la eficiencia energética podría conducir hacia la consecución de tres logros en materia de política energética: seguridad de suministro, protección ambiental y crecimiento económico.

Las intensidades energéticas totales, ya sea que se trate de energía primaria o final<sup>127</sup>, captan todos los factores que contribuyen a los cambios en la cantidad de energía requerida para producir una unidad de PIB, incluyendo factores técnicos, administrativos y económicos. En este sentido, los cambios en la estructura económica contribuyen a las variaciones en las intensidades energéticas totales, aunque este fenómeno no es generalmente el resultado de políticas de eficiencia energética. Por ejemplo, si todas las cosas siguieran iguales, la terciarización de la economía disminuiría las intensidades energéticas totales. Ciertamente, en todo el mundo, la intensidad energética de la industria es siete veces más elevada que la del sector de servicios. En otras palabras, requiere siete veces la cantidad de energía utilizada para producir una unidad de actividad en la industria en comparación con el sector de servicios. En los países de la OCDE, dependiendo de la región, la diferencia en estas intensidades es de alrededor de 4 a 6.5. En los países fuera de la OCDE es aún mayor, superando un factor de 10. El efecto de los cambios estructurales es especialmente importante en países con un rápido crecimiento económico. La participación de la industria en el PIB varía del 25% en Europa Occidental y América

---

<sup>126</sup> La economía de mercado es aquella en la que las relaciones entre productores y consumidores se rige por las leyes de la oferta y la demanda.

<sup>127</sup> La intensidad energética de la industria a nivel mundial fue de 2.7% tmca, creciendo el doble de rápido que la totalidad de la economía (Consejo Mundial de Energía, 2004)



del Norte, a 30% para el promedio mundial y a alrededor del 50% en China. La participación de los servicios se encuentra en el rango del 30% en China, y de 60-70% en los países de la OCDE, con un promedio mundial de alrededor del 50%<sup>128</sup>.

En México, los programas para impulsar la eficiencia energética son limitados, inexistentes en algunas áreas, y lo más importante: carecen de mecanismos de financiamiento para instrumentar mejoras en las plantas industriales. Ésto, a pesar de existir un gran potencial de ahorro de combustible como evidenció el plan piloto de eficiencia energética en sistemas de generación y distribución de vapor desarrollado en 2005 por la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE) con el apoyo de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID, por su siglas en inglés). Tal estudio estimó que en términos generales la planta industrial mexicana podría ahorrar 15% de su consumo energético y en algunos casos llegar hasta 30%. Un estudio iniciado por la Secretaría de Energía (SENER) y la Comunidad Económica Europea, actualizado por la Cámara Nacional de la Industria de la Transformación (CANACINTRA) y el Programa Universitario de Energía identifica las mayores oportunidades por sector productivo en las áreas de química, petroquímica y papel (de 20 a 25%), siderurgia (10 a 14%) y cemento (4 a 8%)<sup>129</sup>. Cerca de un tercio de la demanda global de energía y sus respectivas emisiones de CO<sub>2</sub> son atribuibles a la manufactura, especialmente a las industrias de materiales primarios tales como química y petroquímica, siderurgia, cemento, papel y aluminio<sup>130</sup>, por lo que es crucial, conocer como es utilizado esta energía, sus tendencias nacionales e internacionales, así como el potencial de eficiencia.

#### **4.1.2 Programas de ahorro de energía.**

##### **4.1.2.1 En México.**

Entre los instrumentos de gestión ambiental existentes en México relativos a las actividades industriales se tienen los siguientes:

- a) *Estudios de riesgo*, se requieren en aquellas actividades que manejan materiales y operan procesos peligrosos, con objeto de identificar el potencial de afectación a la población, a las propiedades y al ambiente.
- b) *Normas oficiales mexicanas*, que son un instrumento muy poderoso, no sólo por su capacidad de controlar los procesos productivos, sino particularmente por su capacidad de inducir cambios de conducta e internalizar costos ambientales. Debe señalarse que la mayoría de las normas generadas hasta ahora aplica a actividades industriales.
- c) *Regulación directa de materiales y residuos peligrosos y riesgo*, establece un sistema de permisos, autorizaciones y manifiestos que se diseñan específicamente para cada caso particular debido a la gran diversidad de actividades industriales y de servicios que generan residuos peligrosos.

<sup>128</sup> Eficiencia Energética: Estudio Mundial, Indicadores, Políticas, Evaluación. Informe del Consejo Mundial de la Energía en colaboración con ADEME. Julio 2004.

<sup>129</sup> Moncada, G., 2008. Industria: Eficiencia energética, CNNExpansion.com

<sup>130</sup> El análisis estima los ahorros de energía y emisiones asociadas de CO<sub>2</sub> en las industrias intensivas mundiales. Se estima que el potencial de reducción de emisiones a nivel mundial es del margen del 7 al 12% de las emisiones registradas actuales. (IEA/OCDE, 2007).

- d) *Regulación directa de las actividades industriales*, operan a través de licencias de funcionamiento contempladas en los reglamentos correspondientes, estableciendo condiciones particulares de operación industrial para regular y minimizar las emisiones a la atmósfera y recabar información para la construcción de inventarios.
- e) *Autorregulación*, a partir de normas voluntarias como la ISO14000, por medio de iniciativas y programas concertados con la autoridad de protección ambiental en empresas o ramas industriales, por medio de compromisos en materia de nuevos métodos de control, sustitución de insumos, modernización tecnológica, eficiencia energética, reciclaje y calidad ambiental total.
- f) *Auditorías ambientales*, consisten en la revisión exhaustiva de las instalaciones, procesos, almacenamientos, transporte, seguridad y riesgo, entre otros aspectos, que permitan definir planes de acción que definan con plazos determinados, las obras, reparaciones, correcciones, adquisiciones y acciones necesarias emanadas del dictamen de la auditoría, estén o no normadas.
- g) *Instrumentos económicos*, promueven la internalización de costos ambientales con el propósito de que los agentes reciban señales adecuadas desde el sistema de precios e incorporen entre sus objetivos o funciones de bienestar, motivaciones permanentes para hacer un manejo sustentable de los recursos y para reducir la generación de contaminantes y residuos y con ello, los efectos ambientales negativos inherentes.
- h) *Criterios ecológicos*, plantean metas u orientaciones generales a seguir en ciertos procesos o actividades en términos de la política ambiental del país.
- i) *Instancias de verificación, control y vigilancia*, de las cuales depende el éxito de los instrumentos regulatorios.

### ***Plan Nacional de Desarrollo 2007- 2012.***

#### *Estrategias sobre eficiencia energética en la industria:*

- Promover el uso eficiente de la energía para que el país se desarrolle de manera sustentable, a través de la adopción de tecnologías que ofrezcan mayor eficiencia energética y ahorros a los consumidores.
- Intensificar los programas de ahorro de energía, incluyendo el aprovechamiento de capacidades de cogeneración.
- Promover el uso eficiente de energía en el ámbito doméstico, industrial, agrícola y de transporte.

#### *Estrategias sobre Energía Renovables*

- Revisar la política de producción agropecuaria para la elaboración de bioenergéticos, aprovechando sustentablemente nuestra rica biodiversidad cuidando que no se pierdan bosques y selvas en la producción de bioenergéticos.

- Fomentar el aprovechamiento de fuentes renovables de energía y biocombustibles, generando un marco jurídico que establezca las facultades del Estado para orientar sus vertientes y promoviendo inversiones que impulsen el potencial que tiene el país en la materia.
- Ampliar la cobertura del servicio eléctrico en comunidades remotas utilizando energías renovables en aquellos casos en que no sea técnica o económicamente factible la conexión a la red eléctrica.
- Diversificar las fuentes primarias de generación eléctrica.
- Fomentar la recuperación de energía a partir de residuos.
- Aprovechar las actividades de investigación del sector energético, fortaleciendo a los institutos de investigación del sector, orientando sus programas, entre otros, hacia el desarrollo de las fuentes renovables y eficiencia energética.
- Fortalecer las atribuciones de instituciones de regulación del sector energético.
- Impulsar la eficiencia y tecnologías limpias (incluyendo la energía renovable) para la generación de energía.

### **CONAE.**

La Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE) sirve de apoyo a PEMEX en la identificación de su potencial de ahorro de gas natural. En el período 1999-2002, la empresa logró ahorros de 88, 287, 500 millones de metros cúbicos. Además mediante los convenios de colaboración con corporativos, cámaras industriales y empresas integrantes de los 16 sectores con mayor consumo de energía, se alcanzaron ahorros equivalentes de 3, 390, 240 millones de metros cúbicos de gas natural y se identificaron potenciales de ahorro de energía de 1.2 MBPCE hasta el 2002 (CONAE 2003a)<sup>131</sup>.

### *Cogeneración*

La cogeneración, definida como la producción conjunta de energía eléctrica y de energía térmica, a partir de una misma fuente de energía primaria, es una alternativa de conservación de ésta para la industria. Cuenta con veintisiete proyectos en operación, con una generación total de 5,690 GWh/año y una capacidad total de 1,135 MW. Además, operan 107 proyectos de autoabastecimiento: 74 de la iniciativa privada y 33 de PEMEX. En la siguiente figura se muestra como ha evolucionado la capacidad de cogeneración en México, a partir de las modificaciones a la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica y a su reglamento, que permitieron la participación de la iniciativa privada en la generación de energía eléctrica, bajo esta modalidad (CONAE 2003b)<sup>132</sup>.

---

<sup>131</sup> [www.conae.gob.mx/wb/distribuidor.jsp?seccion=287](http://www.conae.gob.mx/wb/distribuidor.jsp?seccion=287)

<sup>132</sup> [www.conae.gob.mx/wb/distribuidor.jsp?seccion=25](http://www.conae.gob.mx/wb/distribuidor.jsp?seccion=25)

*Normas de eficiencia energética mexicanas*

Normas Oficiales Mexicanas (NOM)	
<i>NOM-001-ENER-2000.</i>	Eficiencia energética de bombas verticales tipo turbina con motor externo eléctrico vertical. Límites y método de prueba.
<i>NOM-001-SEDE-1999.</i>	Instalaciones eléctricas (utilización).
<i>NOM-006-ENER-1995.</i>	Eficiencia energética electromecánica en sistemas de bombeo para pozo profundo en operación. Límites y método de prueba.
<i>NOM-008-ENER-2001.</i>	Eficiencia energética en edificaciones, envolvente de edificios no residenciales.
<i>NOM-009-ENER-1995.</i>	Eficiencia energética en aislamientos térmicos industriales.
<i>NOM-010-ENER-2004.</i>	Eficiencia energética del conjunto motor bomba sumergible tipo pozo profundo. Límites y métodos de prueba.
<i>NOM-011-ENER-2002.</i>	Eficiencia energética en acondicionadores de aire tipo central, paquete o dividido. Límite, métodos de prueba y etiquetado.
<i>NOM-014-ENER-2004.</i>	Eficiencia energética de motores eléctricos de corriente alterna, monofásicos, de inducción, tipo jaula de ardilla, enfriados con aire, en potencia nominal de 0,180 kW a 1,500 kW. Límites, métodos de prueba y marcado.
<i>NOM-016-ENER-2002.</i>	Eficiencia energética de motores eléctricos de corriente alterna, trifásicos, de inducción, tipo jaula de ardilla, en potencia nominal de 0,746 a 373 kW. Límites, métodos de prueba y marcado.
<i>NOM-017-ENER-1997.</i>	Eficiencia energética de lámparas fluorescentes compactas. Límites y métodos de prueba.
<i>NOM-018-ENER-1997.</i>	Aislantes térmicos para edificaciones. Características, límites y métodos de prueba.
<i>NOM-025-STPS-1999.</i>	Condiciones de iluminación en los centros de trabajo.

**4.1.2.2 En el mundo.**

La eficiencia energética no es sólo un desafío técnico, en muchos casos la introducción de una correcta gestión de los sistemas energéticos resulta en importantes ahorros de energía. La adopción de la eficiencia energética (EE) ha sido un elemento central de las políticas energéticas y ambientales de los países desarrollados desde hace más de tres décadas.

*Estados Unidos*

El plan estratégico de la oficina de eficiencia energética y energía renovable de los Estados Unidos (2002) establece que el uso eficiente de la energía continúa siendo uno de los principales componentes de la política energética nacional. Se menciona que, el mejoramiento en la intensidad energética desde los 70s ha sido de tal magnitud que si ésta se hubiera mantenido constante, el consumo de energía actual sería de 70 trillones de BTU más, es decir un 74% más de lo que es hoy en día. Algunos ejemplos que dan cuenta de dicho mejoramiento son: nuevos sistemas de iluminación fluorescente que utilizan menos de la mitad de energía que la requerida en los 80; edificios públicos que requieren 20% de energía por pie cuadrado que durante los 80s; entre 1980 y 1999 la energía por unidad de producto en el sector industrial disminuyó en 25%; en la industria química declinó en cerca de 40% en los últimos 25 años; finalmente, de una lista no exhaustiva, la energía requerida para la generación de 1

kWh ha disminuido en 10% desde 1980. En el mismo Plan se prevé que la intensidad energética descenderá a razón de 1.6% por año, merced a los programas y medidas previstas.

### *Alemania*

Para implementar las medidas y objetivos contenidos en el documento denominado Programa de protección climático (*Climate Protection Program*), el Ministerio de Economía y Tecnología Alemán, estableció en el 2000, la agencia alemana de energía (German Energy Agency, DENA). Sus principales objetivos son la implementación de políticas de eficiencia energética, fomento de energía renovable, cambio climático y la promoción del desarrollo sustentable. Así también, incluye en sus actividades el desarrollo de proyectos pilotos en conjunto con la industria. Los programas y medidas incluyen: certificaciones, reglamentos, ordenanzas, acuerdos, sellos y estándares, incentivos fiscales, etc. La reglamentación ya existente y la asistencia gubernamental han sido claves para que el consumo de energía en calefacción de edificios disminuya en 30% en un promedio de 200kWh/m<sup>2</sup> en los edificios de la Alemania del Este. En 1996, la industria alemana se comprometió a reducir en el 2005 las emisiones de CO<sub>2</sub> en 20% (luego se cambió a 25%) respecto de 1990. Para el 2012 han acordado reducir las emisiones de gases efecto invernadero en un 35%. El acuerdo cubre más del 70% del consumo energético de la industria y más del 90% de la generación eléctrica.

### *Reino Unido*

En Inglaterra como en Irlanda y en el país de Gales se han adoptado importantes programas, ordenanzas y diversos incentivos y medidas de eficiencia energética, los que junto al cambio de mezcla de combustibles son los factores que explican la continua disminución de su intensidad energética en la década 1990/2000<sup>133</sup>. Salvo en el caso del transporte en el que ésta se ha mantenido, en la industria manufacturera se constata una disminución en 13% y 10% en el sector residencial, mientras en ambos aumentaba el consumo y la intensidad eléctrica. Si bien en este caso prevalecen las medidas de mercado (impuestos, permisos de emisión, etc.) y programas o acuerdos voluntarios, los programas incluyen más de una treintena de medidas e incluyen fondos, reglamentaciones, acuerdos voluntarios e incentivos diversos. En general, a nivel mundial se puede observar que los programas de eficiencia energética permiten obtener resultados considerables al cabo de 15 ó 20 años. Esto se debe principalmente a que la eficiencia energética tiene asociadas ciertas inercias iniciales en que los primeros años los resultados son considerablemente menores y se aceleran en el tiempo. En las estimaciones realizadas en el Reino Unido se considera un período de 15 años.

### *Japón*

La adopción de una Ley en 1979 y posteriores actualizaciones en los 80s y 90s dan cuenta de la rigurosidad de la vía escogida. Estrictos programas por sectores, seguimientos y evaluaciones

---

<sup>133</sup> Energy Efficiency in the UK, 1990- 2000, AEA, Technology Environment, March 2002; basado en indicadores de EE de ODYSEEY).

periódicas, dan cuenta a su vez del mejoramiento de más un 1/3 de la intensidad energética global en casi dos décadas 1976/97 (*Japan Energy Conservation Handbook*, 1996-1997).

### *Canadá*

El medio ambiente y el uso eficiente de la energía han sido elementos centrales de la política energética canadiense desde la década de los 90<sup>134</sup>. La creación del programa de eficiencia energética y energía alternativa (*Energy Efficiency and Alternative Program*, EAE) ha sido determinante en la obtención de resultados positivos en la disminución de la intensidad energética. Una evaluación realizada a fines de los 90s (*Improving Energy Use in Canada*, 1998) da cuenta de mejoramientos significativos en la eficiencia energética, tanto a nivel global como sectorial, que asociados a otros efectos (estructurales, climáticos, etc.) dan cuenta de disminuciones en energía netas superiores al 10% pese a los bajos precios de la energía prevalecientes.

### *España*

El plan de acción 2005-2007, en el sector industrial, propone las siguientes medidas enfocadas al ahorro y eficiencia energética<sup>135</sup>:

1. Acuerdos voluntarios. Propone la definición y firma de acuerdos voluntarios que comprometan a las asociaciones empresariales y a la administración en la consecución de objetivos energéticos.
2. Auditorías energéticas. Pretende el establecimiento de líneas de ayudas para la cofinanciación del coste de las auditorías energéticas, que se realizarán, de manera prioritaria en los sectores de alimentación, químico, bebidas y tabaco, siderurgia y fundición; y de minerales no metálicos.
3. Programa de ayudas públicas. Pretende definir las líneas de apoyo y aprobar las partidas presupuestarias precisas para la financiación de proyectos de ahorro y eficiencia energética en el sector industrial.

## **4.2 Energía renovable en México.**

En México, las energías renovables son fuentes con gran disponibilidad y diversidad. Las energías renovables como la energía solar manifestada a través de celdas solares fotovoltaicas o de colectores solares de concentración de energía; la energía eólica, la cual utiliza el viento como recurso principal para producir energía; la biomasa, basada en el uso de materia orgánica formada por vía biológica o de productos derivados de ésta; la energía geotérmica, que tiene su origen en el poder calorífico de las reacciones químicas naturales que ocurren en el interior de la tierra y la energía hidráulica proveniente

<sup>134</sup> Energy Policy in OECD Countries, Canada, 2000 Review.

<sup>135</sup> Estrategia de ahorro y eficiencia energética en España 2004-2012. Plan de acción 2005-2007. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE, 2005).

de las centrales hidráulicas, que aprovechando la fuerza cinética del agua han evolucionado notablemente en los últimos años son fuentes de energía renovable características del potencial energético de México.

Ya sea como energía térmica, mecánica o eléctrica, las energías renovables pueden ser útiles para muchos propósitos. Las aplicaciones de las energías renovables, técnica y económicamente posibles, en la industria en la actualidad son:

1. Generar electricidad para usos múltiples (mini-hidráulica, eólica, foto-celdas).
2. Pre calentamiento de agua y de otros fluidos (colectores solares planos y de concentración).
3. Procesamiento de alimentos (colectores solares planos y de concentración).

Las formas finales de energía útil corresponden a energía lumínica, térmica, mecánica y eléctrica. Esta última es la más versátil de todas ellas ya que constituye la forma más adecuada y flexible de obtener energía mecánica, lumínica y otras modalidades de energía eléctrica, así como de energía térmica (hornos de microonda, hornos de inducción, hornos eléctricos de arco, etc.). La energía solar, la geotermia y la biomasa son adecuadas a la producción de calor, en tanto que todas son adecuadas a la generación eléctrica. La energía eólica e hidráulica por conversión directa de energía mecánica a eléctrica en un generador convencional. La solar a través de procesos fotovoltaicos directamente o por intermediación de procesos térmicos para obtener energía mecánica (maquinas de vapor o turbinas). Los combustibles derivados de la biomasa para generar vapor o accionar directamente motores de turbina o de combustión interna.

#### ***4.2.1 Opciones y potencial de Energía Renovable.***

La ubicación geográfica y orográfica de México permite disponer de un significativo potencial de generación eléctrica con energía renovable (ER). El aprovechamiento de este tipo de energía posibilita el ahorro de combustibles de origen fósil e impacta el mejoramiento del medio ambiente. La ER considerada como madura en cuanto a su tecnología y generación de energía son la hidroelectricidad y la geotermia, las cuales representaron el 25.4% de la capacidad total del sistema eléctrico nacional en 2002. El potencial de la energía solar en la sustitución de combustibles fósiles, radica básicamente en combustóleo, diesel, y gas LP para calentar agua o generar vapor en procesos industriales. La participación porcentual de la ER en la demanda nacional energética de México se muestra en la tabla 4.1.

##### *Energía Solar.*

Tecnología: El aprovechamiento de la energía solar se realiza principalmente mediante la utilización de dos tipos de tecnologías:

- Fotovoltaicas que convierten la energía solar en energía eléctrica con celdas fotoeléctricas, hechas principalmente de silicio que reacciona con la luz.

- Termosolares que usan la energía del sol para el calentamiento de fluidos mediante colectores solares que alcanzan temperaturas de 40 a 100°C (planos), o *concentradores* con los que se obtienen temperaturas de hasta 500°C.

Estado actual: De 1993 a 2003, la capacidad instalada de sistemas fotovoltaicos se incrementó de 7 a 15 MW, generando más de 8,000 MWh/año para electrificación rural, bombeo de agua y refrigeración. Para sistemas termosolares, al 2003 se tenían instalados más de 570 mil metros cuadrados de calentadores solares planos, con una radiación promedio de 18,841 kJ/m<sup>2</sup> y día, generando más de 270 GJ para calentar agua (BNE, ANES-2005).

Potencial: Con una insolación media de 5 kWh/m<sup>2</sup>, el potencial en México es de los más altos del mundo. Se espera tener instalados 25 MW con tecnología fotovoltaica para 2013, y generar 14 GWh/año. Además se espera contar para 2009 con un sistema híbrido de ciclo combinado acoplado a un campo solar de 25 MW (Agua Prieta II, Sonora).

Opción Energética	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Hidroenergía	283.9	322.3	271.2	253.0	336.1	344.2	291.8	259.1	205.0	254.4
Leña	243.6	245.3	246.1	243.9	249.5	253.9	255.8	255.1	256.7	258.4
Bagazo de caña	87.9	87.2	96.0	99.3	92.0	88.0	93.0	88.6	89.4	92.1
Geoenergía	58.4	58.7	56.1	58.1	57.8	61.4	57.1	56.2	61.7	66.7
Energía Eólica	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Solar	---	---	---	1.4	1.5	1.9	2.2	2.4	2.8	3.1
Total Renovable	673.9	713.6	669.3	655.7	737.0	749.5	700.0	661.5	615.7	674.7
Producción total energía	8,156.0	8,938.0	9,354.6	9,515.5	9,314.5	9,661.3	9,734.5	9,624.9	10,064.3	10,330.8
% Participación	8.3	8.0	7.2	6.9	7.9	7.8	7.2	6.9	6.1	6.5

Unidades: Petajoules.

Tabla 4.1.  
Participación porcentual de las energías renovables en la demanda de energía de México.

### *Energía Eólica.*

Tecnología: En 1997 la turbina promedio era de 600 a 750 kW. Para el 2005 ya existen en el mercado a nivel comercial turbinas con capacidades entre 2 y 3 MW, así como prototipos de hasta 6 MW. El diámetro llegaba a 80 metros en 2000, hoy llega a los 120 metros. Estado actual: En el 2004 se tenían instalados 3 MW; 2 MW en la zona sur-sureste y 1 MW en la zona noreste, con los que se generaron 6 GWh de electricidad.

Potencial: Los estudios del NREL y diversas instituciones mexicanas (ANES, AMDEE, IEE) han cuantificado un potencial superior a los 40,000 MW, siendo las regiones con mayor potencial, el Istmo de Tehuantepec y las penínsulas de Yucatán y Baja California. Las condiciones eólicas en el Istmo de Tehuantepec son de las mejores a nivel mundial. En Oaxaca hay zonas con velocidades del viento medidas a 50m de altura superiores a 8.5 m/s, con un potencial de 6,250 MW, y otras con velocidades entre 7.7 y 8.5 m/s, con un potencial de 8,800 MW. En Baja California, las mejores zonas están en las sierras de La Rumorosa y San Pedro Mártir (274 MW). Yucatán (352 MW) y la Riviera Maya (157 MW) tienen suficiente potencial para sustituir plantas que operan con combustóleo, diesel y generadoras de turbogas.



### *Energía Hidráulica.*

Tecnología: Las centrales mini hidráulicas (<5 MW) se clasifican, según la caída de agua que aprovechan, en baja carga (caída de 5 a 20m), media carga (caída de 20 a 100m) y alta carga (caída mayor a 100m). Además de la carga, se clasifican en función del embalse y del tipo de turbina que utilizan.

Estado actual: Actualmente están operando en los estados de Veracruz y Jalisco tres centrales mini-hidráulicas con una capacidad instalada de 16 MW, que generan un total de 67 GWh/año. Adicionalmente están en operación tres centrales híbridas (mini-hidráulicas-gas natural) en los estados de Veracruz y Durango.

Potencial: La CONAE estimó en 2005 el potencial hidroeléctrico nacional en 53,000 MW, de los cuales, para centrales con capacidades menores a los 10 MW, el potencial es de 3,250 MW. Se prevé que para finales del 2006 se tengan instalados 142 MW adicionales. La cartera del Sector Energía contempla la ampliación de seis grandes hidroeléctricas por una capacidad de 1,528 MW y una generación de 1,079 GWh/año.

### *Bioenergía.*

Tecnología: Utiliza materia orgánica como energético, por combustión directa o mediante su conversión en combustibles gaseosos como el biogás o líquidos como bioetanol o biodiesel.

Estado actual: Actualmente, la bioenergía representa el 8% del consumo de energía primaria en México. Los principales bioenergéticos empleados son el bagazo de caña (usado para la generación eléctrica y/o térmica en la industria azucarero) y la leña (fundamentalmente usada para calefacción y cocción de alimentos). En 2004 se consumieron 92 PJ de bagazo de caña y 250 de leña. México produce al año en la industria cañera, 45 millones de litros de bioetanol que actualmente no se usan como combustible sino en la industria química.

Al 2005 la Comisión Reguladora de Energía autorizó 19 MW para generar 120 GWh/año con biogás, 70 MW para generar 105 GWh/año con bagazo de caña y 224 MW para generar 391 GWh/año con sistemas híbridos (combustóleo-bagazo de caña).

Potencial: El potencial técnico de la bioenergía en México se estima entre 2,635 y 3,771 PJ al año, sin embargo, su uso actual es 10 veces menor. Del potencial estimado, un 40% proviene de los combustibles de madera, 26% de los agro-combustibles y 0.6% de los subproductos de origen municipal. Se estiman además 73 millones de toneladas de residuos agrícolas y forestales con potencial energético, y aprovechando los residuos sólidos municipales de las 10 principales ciudades para la generación de electricidad a partir de su transformación térmica, se podría instalar una capacidad de 803 MW y generar 4,507 MWh/año. Además, se cuenta con un área agrícola significativa, potencialmente apta para la producción de bioetanol y biodiesel.

### *Energía Geotérmica.*

Tecnología: Los recursos de alta temperatura ( $T > 200^{\circ}\text{C}$ ) pueden utilizarse para generar energía eléctrica, los de temperatura baja ( $T < 200^{\circ}\text{C}$ ) para aplicaciones térmicas.

Estado actual: México ocupa el tercer lugar mundial en capacidad de generación de energía geotérmica, con 960 MW instalados, con los que se generan más de 6,500 GWh/ año.

Potencial: La CFE estima que el potencial geotérmico permitiría instalar otros 2,400 MW, si bien su viabilidad depende del desarrollo de tecnología para su aprovechamiento. Estas cifras no incluyen el aprovechamiento geotérmico de baja entalpía a través de bombas de calor.

#### **4.2.2 Barreras en el desarrollo de las energías renovables.**

*Institucionales:* La planeación energética del país está basada en metodologías que evalúan el costo económico de corto plazo de la generación de energía. La falta de valoración de los beneficios que las energías renovables aportan a la economía nacional, tales como la estabilidad de precios de la energía en largo plazo y la reducción de riesgos en el abasto energético, aunado al hecho de contar con importantes recursos energéticos fósiles nacionales hace que las políticas y prospectivas energéticas nacionales sigan basándose en combustibles fósiles.

*Legales y regulatorios:* Existen limitaciones constitucionales y legales a la participación privada en el sector Energía. Para el caso específico de la generación de energía eléctrica, La Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica (LSPEE) solamente permite la generación a particulares a través de permisos para casos específicos (capítulo 5, artículo 36, y artículo 72 del reglamento) que podrán incluir transmisión, transformación y entrega de la energía eléctrica a los respectivos beneficiarios (artículo 73 del reglamento). Si bien, estas modalidades permiten la participación de particulares en la generación y transmisión de energía eléctrica, obliga a las empresas públicas de electricidad a adquirirla al menor costo económico de corto plazo. Bajo este enfoque, la generación eléctrica a través de ER resulta más costosa comparado con fuentes fósiles convencionales, por lo que se requieren mecanismos que permitan fomentarlas en similitud a los que se han implementado en los países donde su participación ya es relevante, así como establecer incentivos económicos y fiscales para incrementar y valorar el aporte de capacidad que las fuentes renovables (en particular las de carácter intermitente) otorgan al Sistema Eléctrico Nacional. En este sentido, la iniciativa de Ley para el Aprovechamiento de las Fuentes Renovables de Energía (LAFRE) cuenta con un abanico de instrumentos de este tipo que, en caso de aprobarse, contribuirán al desarrollo de las ER.

*Económicos/Financieros:* Dado que la planeación energética está basada en la evaluación tecnológica de generación de menor costo económico de corto plazo y que la CFE está obligada por ley a adquirir la electricidad de terceros a ese costo, es necesario establecer mecanismos financieros que permitan a las ER ser competitivas frente a las fuentes convencionales. Los esquemas de financiamiento en México han sido insuficientes para el fomento de las energías renovables, por lo que es necesario impulsar este tipo de mecanismos. La iniciativa de la LAFRE tiene como uno de sus instrumentos más poderosos, la creación de un Fideicomiso que otorgaría incentivos temporales a proyectos que generen, mediante fuentes renovables, electricidad para el servicio público. Asimismo, cabe mencionar que de

manera paralela, la SENER, el GEF y el Banco Mundial desarrollan conjuntamente un esquema para implementar un Fondo Verde que dará a partir del 2006 incentivos a productores independientes de energía que la entreguen a la CFE para el servicio público.

*Técnicos:* A pesar de que se han hecho esfuerzos importantes para estimar el potencial de las ER en México, como los estudios para evaluar el recurso geotérmico de CFE, y los mapas eólicos y solares elaborados por el IIE, Gobiernos Estatales y Organismos Internacionales, estos esfuerzos, en ocasiones no abarcan todo el territorio nacional, o bien, no se cuantifican otros recursos, como el mareomotriz, la geotermia de baja entalpía, el biogás de residuos urbanos y agronómicos y la biomasa de plantaciones energéticas.

### **4.3 Tecnologías emergentes de eficiencia energética en la industria.**

El Consejo Mundial de Energía (World Energy Council, WEC, 2004) examina el potencial de las tecnologías energéticas de uso final para los próximos 20-50 años. Globalmente, se indica la necesidad de potenciar un abanico de tecnologías energéticas eficientes, así como una fuerte política de investigación, desarrollo y demostración con las que se pueden alcanzar ahorros del 25% en 2020 y del 40% en 2050. Los gobiernos, en colaboración con la industria, deben establecer políticas y mecanismos de promoción para que las tecnologías pasen del nivel de laboratorio a mercado.

En la industria, hay enormes posibilidades de reducir la demanda energética y las emisiones de CO<sub>2</sub> mediante mayor eficiencia de los motores, bombas, calderas y sistemas de calefacción; el aumento de la recuperación de energía en los procesos de producción; el incremento del reciclaje; la adopción de materiales y procesos nuevos y más avanzados; y el mejor uso de materiales. Las fuentes más importantes de emisiones de CO<sub>2</sub> industriales son la industria del hierro y del acero (26%), la producción de otros minerales como el cemento, el vidrio y la cerámica (25%), y los productos químicos y petroquímicos (18%). Las nuevas tecnologías industriales de última generación con posibilidades sustanciales de ahorrar energía y reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> son, entre otras, las siguientes: las membranas avanzadas que pueden reemplazar a la destilación en algunos procesos petroquímicos; la “colada directa” de hierro y acero; y el uso de materias primas bioenergéticas en la industria petroquímica como sustitutos del petróleo y del gas natural.<sup>136</sup>

En el sector paplero pueden darse mejoras en el uso de la materia prima forestal y de productos químicos, mediante la integración de procesos, la incorporación de nuevos procesos sin azufre, el desarrollo de tecnologías de gasificación de licor negro y de biomasa en general, el diseño de nuevos sistemas de cogeneración, así como un amplio uso de energías renovables, etc. para producir de forma más eficiente. En otros sectores como el acero las tendencias para incrementar la eficiencia vendrán de la reducción de los consumos de materias primas en los procesos de fabricación. Y en la producción de aluminio existen posibilidades de mejorar la eficiencia energética en los procesos. En la industria cementera es posible incorporar nuevas tecnologías para la preparación de materias primas y en la fabricación de clínker. En el sector químico se pueden mejorar los procesos y las tecnologías de

---

<sup>136</sup> IEA-OCDE, 2006. Perspectivas sobre tecnología energética. En apoyo al plan de acción del G8. Resumen e implicaciones políticas.

separación. Se prevé que pueda existir un desarrollo de tecnologías muy eficientes de desalinización para uso doméstico e industrial. Los países en vías de desarrollo, sin embargo, deberían incorporar todos estos nuevos sistemas de desarrollo tecnológico y no partir de cero. En el anexo 5 se muestra un resumen de las tecnologías que mejoran la eficiencia energética empleadas en la industria.

## 4.4 Consideraciones generales en la conformación de los escenarios alternativos.

### 4.4.1 Ahorro posible de energía en el sector Industrial.

Las modalidades de uso de energía en las industrias energético-intensivas cubren 4 rubros básicos<sup>137</sup>:

- Uso directo de combustibles. Este se presenta en una gran variedad de hornos, destacando los altos hornos de clinquerización, regenerativos, de hogar abierto, etc. Las temperaturas manejadas en estos procesos son por lo general superiores a los 500°C.
- Combustibles para generar vapor. Este concepto se detalla según la finalidad con la que se emplea el vapor: vapor para unidades productivas y para generación eléctrica, vapor de alimentación directa con temperaturas de 100 a 300°C. y el vapor para tracción utilizado en turbinas de vapor, cuyo vapor de salida de las turbinas se emplea en los procesos (menores a 100°C).
- Combustibles utilizados en generación eléctrica por combustión interna, fundamentalmente en grupos motores generadores y en pequeñas plantas diesel.
- La electricidad comprada a la red, que junto con la autogenerada por la industria se emplea en más de un 95% para impulsar motores eléctricos y en los hornos de las acerías.

Para estimar los ahorros posibles del sector industrial y de cada industria que lo integra, primero se calcula el consumo específico de energía (*cee*) de cada una de las ramas del estudio con el objetivo de conocer: (a) como se emplea eficientemente la energía por cada unidad manufacturada, (b) como la eficiencia cambia con el tiempo y (c) como puede ser comparada entre diferentes períodos o años. Por lo anterior, se calcula la relación consumo de energía / unidad de producción, a la cual se denomina como *cee*<sup>138</sup>:

$$cee = \frac{E_t}{P_t} \quad (25)$$

Donde  $E_t$  = consumo total de energía en el período  $t$  y  $P_t$  = producción en el período  $t$ . Al conocer el *cee*, la energía mínima requerida para operar las industrias eficientemente puede ser pronosticada. Una

<sup>137</sup> Guzmán E. Uso de Energía en la Industria.

<sup>138</sup> Ramachandra T.V., Subramanian D.K., 1997. Industrial Energy utilization in Karnataka and Potential Savings. Energy Conversion.

forma de interpretar este parámetro es asumiendo que el mínimo  $cee$  implica una mejor eficiencia, es decir, menor consumo de energía por la misma cantidad de producción. El posible ahorro en cada una de las ramas económicas del sector industrial se encuentra dado como:

$$\% \text{ Ahorro Posible} = \frac{(cee_{avg} - cee_{min}) \times 100}{cee_{avg}} \quad (26)$$

Donde  $cee_{avg}$  = Consumo específico de energía promedio y  $cee_{min}$  = Consumo específico de energía mínimo. El valor de los ahorros posibles de cada rama industrial se obtuvo tomando en cuenta el período de 1994 a 2003.

#### **4.4.2 Uso de energía renovable en el sector industrial.**

Las energías renovables pueden ser útiles para muchos propósitos como: generar electricidad para usos múltiples (mini-hidráulica, eólica, fotoceldas); precalentamiento de agua y de otros fluidos (colectores solares planos y de concentración); procesamiento de alimentos (colectores solares planos y de concentración). La energía solar, la geotermia y la biomasa son adecuadas a la producción de calor, en tanto que todas son adecuadas a la generación de electricidad. La eólica e hidráulica por conversión directa de energía mecánica a eléctrica en un generador convencional. La solar a través de procesos fotovoltaicos directamente o por intermediación de procesos térmicos para obtener energía mecánica (maquinas de vapor o turbinas). Los combustibles derivados de la biomasa para generar vapor o accionar directamente motores de turbina o de combustión interna. En estudios realizados en España por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE)<sup>139</sup>, se realizan planteamientos en cuanto a procesos industriales que proyectan demandas de calor de hasta 200°C como los siguientes:

- Alrededor del 50% de la demanda de calor industrial se realiza a temperaturas en la gama baja (<60°C), media (60°C-150°C) y media-alta (150°C-250°C).
- El porcentaje de la demanda energética en forma de calor en la gama de temperaturas media y media-alta es especialmente elevado en las industrias alimentaria, papelera, textil y química. Estas industrias, durante más del 50 por ciento del proceso total necesitan temperaturas de hasta 200°C.
- La mayor demanda de calor se produce en las industrias papelera y alimentaria (incluyendo el tabaco). Existe también una demanda considerable de calor en las industrias textil y química.
- En el rango entre 100 y 200 °C la mayor parte del calor para procesos se utiliza en las industrias alimentaria, textil y química para aplicaciones tan diversas como el secado, la cocción, la limpieza, la extracción y muchos otros.

<sup>139</sup> Calor solar para procesos industriales, IDAE-2001

En los 80s y 90s varios estudios fueron llevados a cabo para conocer la demanda de calor industrial a diferentes niveles temperatura en varios países industriales. Se ha estimado que los sistemas solares industriales de baja y media temperatura pueden llegar a cubrir una parte considerable de la demanda industrial de calor. En los países del sur de Europa, ésta constituye aproximadamente un tercio de la demanda total de energía, mientras que el consumo de calor de proceso en la industria a temperaturas inferiores a 250°C supone alrededor del 7%. En España en conjunto, la demanda de baja y media temperatura asciende al 23% de la demanda total de calor por la industria (IDAE, 2001).

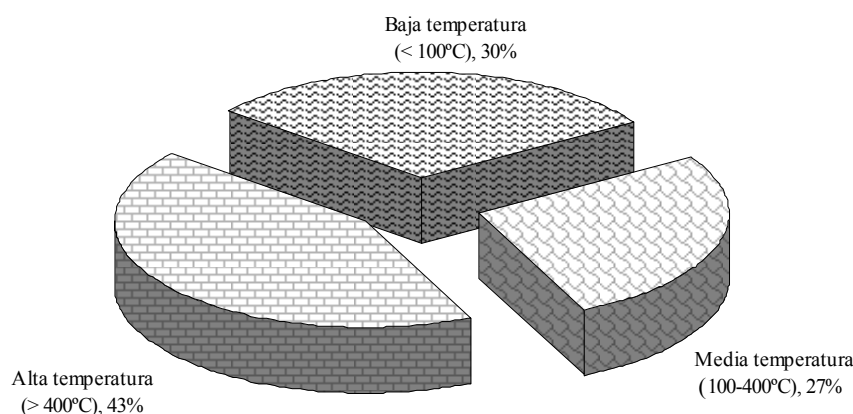


Figura 4.1 Participación porcentual de la demanda de calor en el sector industrial por nivel de temperatura<sup>140</sup>. Fuente: ECOHEATCOOL (IEE ALTENER Project).

En estudio reciente realizado por ECOHEATCOOL<sup>141</sup> reporta que cerca del 30% de la demanda de calor industrial requerido es a temperaturas menores a 100°C y el 57% a temperaturas abajo del 400°C. Además, en varios sectores como el alimentario, vinos y bebidas, maquinaria, textiles, celulosa y papel, el porcentaje de demanda de calor a baja y media temperatura es cercano al 60%. Los resultados se muestran en la figura 4.1.

Las tasas de crecimiento medio de penetración de las energías renovables a nivel industrial se muestran en la tabla 4.2, las cuales fueron tomadas de estudios previos para cuantificar el potencial de mitigación de energías renovables en el sector eléctrico principalmente.

Energía Renovable	Tasa de penetración (tmca)
Solar Fototérmica	17%
Solar Fotovoltaica	24%
Biomasa	39%
Geoenergía	5%
Eólica	39%
Hidroenergía	5%

Tabla 4.2. Tasas de penetración de Energía Renovable en el sector industrial. Fuente: Manzini y Martínez, 2001.

<sup>140</sup> Tomado de Potential for Solar Heat in Industrial Processes, 2008. Publicado por CIEMAT. Datos para el 2003, 32 países: EU25 Unión Europea + Bulgaria, Rumania, Turquía, Croacia, Islandia, Noruega y Suiza.

<sup>141</sup> ECOHEATCOOL (IEE ALTENER Project). [www.ecoheatcool.org](http://www.ecoheatcool.org)

Las tasas de penetración de ER consideradas en la tabla 4.2, pueden ser meditaciones como bastante optimistas, como lo marca el documento publicado por la SENER<sup>142</sup>, pero se justifican de acuerdo a las posibilidades de desarrollo, innovación e implementación de tecnología en la actualidad, así como en los próximos años, las cuales son descritas en cada rama de actividad económica industrial en particular en la siguiente sección de la tesis. Por otro lado, se considera que las aplicaciones de calor solar de procesos industriales (Schweiger et al., 2001) típicamente están en el rango medio, con excepción de la química solar de alta temperatura, que algunos autores (Norton 2001) consideran dentro de esta categoría y que requiere hornos solares de muy alta concentración. También se clasifica a veces en esta última categoría la fotocatalisis solar, la cual requiere preferentemente sistemas de baja concentración<sup>143</sup>. También de acuerdo con la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica, el uso de la hidroenergía en pequeña escala es posible tanto para el auto abasto industrial como para actividades productivas en el medio rural, ya que la potencia que requiere una industria mediana ó grande es del orden de 2 a 5 MW, permitiendo la ley que un autoabastecedor instale una central de potencia no mayor a 30 MW<sup>144</sup>.

En la publicación de SENER (2005), el escenario de referencia formulado muestra que, en cuanto al sector industrial, las energías renovables (no utilizadas para generar electricidad) contribuyen con un 10% (hecho importante que muestra el potencial de estas energías para producir calor de proceso), mientras que en otros sectores, probablemente debido al uso de la biomasa no-comercial, es una cuarta parte del total de la mezcla. Para México, se observa, que en cuanto a energías renovables, todas crecen, incluyendo la hidroenergía con porcentajes de tmca relativamente altos (hidroenergía al 2.3%, la biomasa y desechos al 3.7% y otras renovables al 4.1%), aunque su participación en el total es relativamente pequeña (~13% incluyendo la hidroenergía; en 2002 este valor era de 9.6%).

## 4.5 Escenarios energéticos alternativos.

### 4.5.1 Sector Industrial Mexicano.

El escenario base (EB) del sector industrial Mexicano, como ya se expuso en el Capitulo 3, muestra que las emisiones de CO<sub>2</sub> se incrementan desde 65.0 millones de toneladas en el año 2003 hasta 112.0 millones de toneladas en el año 2030. Estas emisiones crecerán a razón de de 2.0% tmca En 2003, cinco ramas industriales integraran el 51.9% del total de las emisiones de CO<sub>2</sub> del sector, estas son: siderurgia, cemento, química, minería y celulosa y papel. En el 2030, las mismas ramas representaran el 35.2% de tales emisiones.

En el escenario de eficiencia energética (EE), las emisiones de CO<sub>2</sub> se incrementaran a una tasa media anual de 1.0%, siendo las industrias del cemento, minería, azúcar y química, las ramas industriales que

---

<sup>142</sup> Prospectiva sobre la utilización de las Energías Renovables en México. Una visión al año 2030. Véase: <http://200.23.166.141/wb/SenerNva/ibEnr1>

<sup>143</sup> Prospectiva sobre la utilización de las Energías Renovables en México. Una visión al año 2030. Anexo 6. Véase: <http://200.23.166.141/wb/SenerNva/ibEnr1>

<sup>144</sup> Prospectiva sobre la utilización de las Energías Renovables en México. Una visión al año 2030. Anexo 8. Véase: <http://200.23.166.141/wb/SenerNva/ibEnr1>

presentaran tasas de decrecimiento en -1.37%, -1.16%, -0.70% y -0.08% tmc respectivamente. Por el lado contrario, las industrias de la construcción (4.59%), aguas envasadas (3.50%), fertilizantes (3.14%) y aluminio (2.99%) son las industrias que mostraran un crecimiento medio anual en el período 2003-2030. Así, las emisiones de CO<sub>2</sub> se reducirán en 23.9% con referencia al escenario base, por lo que las emisiones totales al 2030 se ubicaran en 85.1 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente.

En el escenario de Energía Renovable (ER), las emisiones se incrementarían a una tasa media anual de 1.5%, siendo las industrias de la minería, cemento, y celulosa y papel, las ramas industriales que presentaran tasas de crecimiento negativas en -1.59, -1.16 y -0.81% respectivamente. Por el lado contrario, las industrias de la construcción (4.43%), aluminio (3.41%), aguas envasadas (3.21%) y fertilizantes (3.08%) serán las industrias que mostraran un crecimiento medio anual elevado del 2003 al 2030. De acuerdo a lo anterior, las emisiones de CO<sub>2</sub> se reducirán en 11.5% con referencia al escenario base, por lo que las emisiones totales al 2030 se ubican en 99.1 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente.

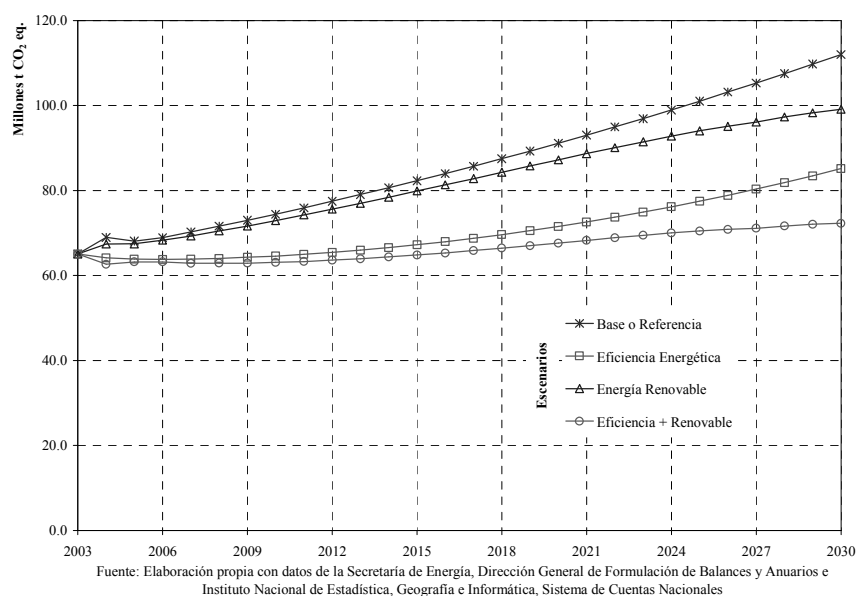


Figura 4.2.  
Escenarios alternativos de la industria Mexicana, 2003-2030.

El escenario de Eficiencia Energética más Energía Alternativa muestra que los efectos conjuntos reducen las emisiones de CO<sub>2</sub> en 35.4% situándolas en 71.2 millones de toneladas en el año 2030 creciendo a una razón media anual de 0.39%. Los escenarios alternativos para el sector industrial Mexicano se muestran en la figura 4.2 y en la tabla 4.3.



Actividad económica industrial	Escenario base (EB)			Escenarios alternativos al 2030					
	2003	2030	Cambio % 2003-2030	Eficiencia Energética (EE)	% EB-EE	Energía Renovable (ER)	% EB-ER	EE + ER	% EB-(EE+ER)
Siderurgia	13,814,209.50	19,498,771.61	41.15	15,564,667.20	-20.18	18,783,755.34	-3.81	14,849,650.93	-23.84
Cemento	7,576,911.92	6,051,007.27	-20.14	5,213,823.94	-13.84	5,525,230.57	-9.52	4,688,047.25	-22.52
Química	6,513,366.49	7,749,250.91	18.97	6,376,137.38	-17.72	7,564,800.42	-2.44	6,191,686.89	-20.10
Minería	3,678,136.92	3,204,509.96	-12.88	2,682,476.59	-16.29	2,384,170.61	-34.41	1,862,137.24	-41.89
Celulosa y Papel	2,235,567.74	2,950,817.34	31.99	2,297,843.61	-22.13	2,465,489.65	-19.68	1,812,515.92	-38.58
Azúcar	1,976,028.39	2,242,260.51	13.47	1,636,317.89	-27.02	1,585,443.30	-41.43	979,500.68	-56.32
Vidrio	1,783,773.24	3,492,862.81	95.81	2,840,775.76	-18.67	2,868,261.82	-21.78	2,216,174.77	-36.55
Petroquímica	1,338,433.80	1,958,062.33	46.30	1,763,007.06	-9.96	1,770,590.86	-10.59	1,575,535.59	-19.54
Cerveza y Malta	1,081,037.79	2,681,590.61	148.06	1,821,793.72	-32.06	2,321,161.07	-15.53	1,461,364.18	-45.50
Aguas Envasadas	678,102.58	2,082,880.98	207.16	1,714,933.62	-17.67	1,591,680.66	-30.86	1,223,733.30	-41.25
Automotriz	542,632.92	1,040,338.85	91.72	848,397.55	-18.45	763,881.19	-36.19	571,939.88	-45.02
Construcción	533,800.29	1,933,476.06	262.21	1,795,442.66	-7.14	1,718,818.50	-12.49	1,580,785.09	-18.24
Hule	374,269.78	665,717.52	77.87	567,448.42	-14.76	536,193.93	-24.16	437,924.83	-34.22
Aluminio	237,108.44	750,463.75	216.51	525,393.09	-29.99	585,779.67	-28.11	360,709.02	-51.94
Fertilizantes	191,104.80	516,627.63	170.34	440,499.38	-14.74	433,429.55	-19.20	357,301.31	-30.84
Tabaco	22,636.73	13,607.33	-39.89	27,727.10	103.77	26,033.55	47.73	40,153.32	195.09
Otras ramas	22,482,080.58	55,187,085.62	145.47	39,034,649.51	-29.27	48,198,004.72	-14.50	32,045,568.61	-41.93
Industria Mexicana	65,059,201.92	112,019,331.11	72.18	85,151,334.49	-23.99	99,122,725.42	-13.01	71,219,287.37	-36.42

Unidad: Millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente. 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.

Tabla 4.3.

Escenarios por rama de actividad industrial del sector industrial Mexicano, 2003-2030.

## 4.5.2 Ramas de actividad económica industrial.

### 4.5.2.1 Siderurgia.

La industria siderúrgica nacional se encuentra en un período de madurez y dónde desempeña un papel clave en la actividad económica Mexicana, esta industria representa el 1.4% del PIB nacional, primer consumidor de electricidad (10.1%), segundo consumidor de gas natural (31.5%), y segundo productor en Latinoamérica después de Brasil<sup>145</sup>.

La industria siderúrgica a nivel mundial emplea alrededor del 19% del uso final de energía y representa cerca de una cuarta parte de las emisiones de CO<sub>2</sub> del sector industrial<sup>146</sup>. La eficiencia de una planta siderúrgica se encuentra estrechamente relacionada con varios elementos incluyendo la tecnología, el tamaño de la planta y la calidad de la materia prima. Esto explica, en parte, el porque la eficiencia promedio de las industrias siderúrgicas en países como China, India, Ucrania, y la Federación Rusa son más bajas que las mostradas en países pertenecientes a la OCDE. Los 4 países mencionados anteriormente representan cerca de la mitad de la producción mundial de hierro y acero. Tecnologías anticuadas tales como los hornos de hogar abierto son utilizadas en Ucrania y Rusia. En la India, la tecnología empleada se encuentra más actualizada pero es ineficiente debido a la producción de hierro

<sup>145</sup> CANACERO, 2004.

<sup>146</sup> Tracking Industrial Energy Efficiency and CO<sub>2</sub> Emissions, OECD/IEA, 2007.

basada en el uso de carbón. En China, la baja eficiencia energética es debida principalmente al alto porcentaje del uso de altos hornos a pequeña escala, ineficiente uso de gases residuales y baja calidad del mineral empleado.

La recuperación de energía en la industria de acero tiende a ser más frecuente en los países que observan altos costos de energía, en donde el calor residual del proceso se utiliza para generar energía. Esto incluye opciones tecnológicas tales como el uso apagado de coque seco y turbinas de alta presión. El potencial identificado de los ahorros de energía primaria es cerca de 2.3 a 2.9 EJ por año mediante mejoras del rendimiento energético. La tabla 4.4 resume los ahorros potenciales teóricos y tecnológicos estimados para la industria siderúrgica. Estos toman en cuenta las tecnologías que son empleadas en cualquier parte del mundo así como la mejor tecnología disponible al día de hoy y que puede ser utilizada a los niveles de producción requeridos en la actualidad. Los factores de viabilidad económica, tasas de transición, factores reguladores y sociales no se incluyen en los ahorros estimados.

	EJ/año	Mt CO <sub>2</sub> / año
Coke making: apply coke dry quenching	0.2-0.3	25
Coke making: coke oven gas recovery	0.2-0.3	25
Blast Furnace improvements	1.2-1.5	115-140
Enhanced efficiency of Blast furnace gas use	n/d	n/d
Increased blast furnace slag/steel slag use for cement making	n/d	n/d
Increased basic oxygen furnace gas recovery	0.25	25
Electric and furnace: Reduce average electricity use to 350 kWh/t	0.25	15
Steel finishing improvements	0.3-0.4	20-40
<b>Total</b>	<b>2.3-2.9</b>	<b>220-270</b>

Nota: Los potenciales de eficiencia energética son en términos de energía primaria equivalente. Fuente: Tracking Industrial Energy Efficiency and CO<sub>2</sub> Emissions, OECD/IEA, 2007.

Tabla 4.4.

Eficiencia energética técnica y reducciones potenciales de emisiones de CO<sub>2</sub> en la industria Siderúrgica.

En un estudio realizado por el Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley (Lawrence Berkeley National Laboratory, LBNL), se analizó más de 45 tecnologías específicas de eficiencia energética aplicables a los altos hornos y a las acerías. La evaluación calculó ahorros de energía, ahorros de CO<sub>2</sub>, costos de inversión, y costos de funcionamiento y mantenimiento para cada medida. El resultado fue una reducción total favorable para el hierro y la fabricación de acero de los EE.UU., de 3,8 GJ/tonelada, equivalente a lograr ahorros de energía del 18% del uso de energía para hierro y acero de 1994 y 19% de las emisiones de CO<sub>2</sub> proveniente del hierro y el carbón en 1994. Se considera que este cálculo es conservador, ya que no incluye todas las posibles medidas de eficiencia o las sinergias de los menores costos al invertir en múltiples mejoras tecnológicas. La fabricación directa de acero mediante la combinación de microondas, arco eléctrico y calentamiento exotérmico produce acero fundido directamente desde un conglomerado transportable que consiste en óxido de hierro finamente molido, carbón pulverizado, y fluidificantes tales como piedra caliza molida. Se proyecta que esta tecnología eliminará muchos de los actuales pasos en la fabricación de acero tales como la coquización, la sinterización, la fabricación de hierro en altos hornos, y la fabricación de acero en horno de oxígeno básico. Se espera que la tecnología<sup>147</sup>:

- Ahorre hasta 25% de la energía consumida en la fabricación convencional de acero, reemplazando los altos hornos y los hornos de oxígeno básico por tecnologías más eficientes;

<sup>147</sup> Tecnologías de uso final de la energía para el siglo XXI. Informe del Consejo Mundial de la Energía, 2004.

- Reduzca las emisiones de SO<sub>x</sub> y NO<sub>x</sub>;
- Reduzca substancialmente los costos de control de los desechos y las emisiones;
- Disminuya en gran parte el costo de capital;
- Reduzca considerablemente los costos de producción.

Una barrera para la introducción de nueva tecnología en una acería existente son las inversiones ya realizadas en los altos hornos y los hornos de oxígeno básico que siguen siendo competitivos. El mismo tipo de limitación no sería tan importante al construir nuevas fábricas siempre que el desarrollo técnico del proceso sea exitoso. Desde la perspectiva de los países en desarrollo, un aspecto son las economías de escala conectadas con la nueva tecnología que tienen sentido para las mini-acerías.

#### Escenarios.

El *escenario base* muestra que en el 2030 las emisiones de CO<sub>2</sub> se incrementarían en 5.6 millones de toneladas respecto del 2003<sup>148</sup> representando un incremento del 41% a razón de un crecimiento anual de 1.2% tmca. Estas emisiones serán causadas principalmente por el consumo de gas natural y de coque en 54.3 y 29.3% respectivamente.

El *escenario de eficiencia energética* toma en cuenta la tendencia en los ahorros en el consumo de energía. Los ahorros potenciales de energía se estiman con base en la ecuación 26, para cada tipo de combustible consumido en la rama, los resultados obtenidos en términos porcentuales son:

Ahorro (%)	Siderurgia	Coque	Gas licuado	Diesel	Combustóleo	Gas natural	Electricidad
	20.61	25.97	98.52	38.11	48.00	12.29	16.97

Así, considerando los ahorros potenciales de energía por tipo de combustible demandado por la actividad económica industrial, se obtiene que las emisiones de CO<sub>2</sub> hacia el 2030<sup>149</sup> se mitigarán en 20.1% respecto del *escenario base* situándolas en 15.5 millones de toneladas. Las emisiones serán causadas principalmente por el consumo de gas natural (48%) y de coque (37.7%).

En cuanto al *escenario de energía renovable* se considera que el consumo de gas licuado, diesel y combustóleo puede ser reemplazado por una opción energética renovable ya que éstos energéticos son empleados para el transporte de materia prima y distribución y en algunas operaciones básicas como es el caso de combustóleo. Los resultados obtenidos para el *escenario de energía renovable* muestran una reducción del 3.7% de las emisiones de CO<sub>2</sub> en el 2030 colocándolas 18.8 millones de toneladas.

En lo que corresponde al *escenario de eficiencia energética más energía alterna* se muestra una reducción del 23.9%, lo que se traduce en una disminución de 4.7 millones de toneladas en el 2030 respecto del *escenario base*. El crecimiento promedio anual de éstas emisiones es de 0.27% para el período de 2003 a 2030. Los escenarios alternativos para la industria siderúrgica se muestran en la figura 4.3.

<sup>148</sup> En el 2003 se considera una emisión de 13.8 millones de CO<sub>2</sub> emitidas por la industria siderúrgica nacional.

<sup>149</sup> En el 2030, considerando el *escenario base*, la industria siderúrgica emitirá 19.5 millones de CO<sub>2</sub>.

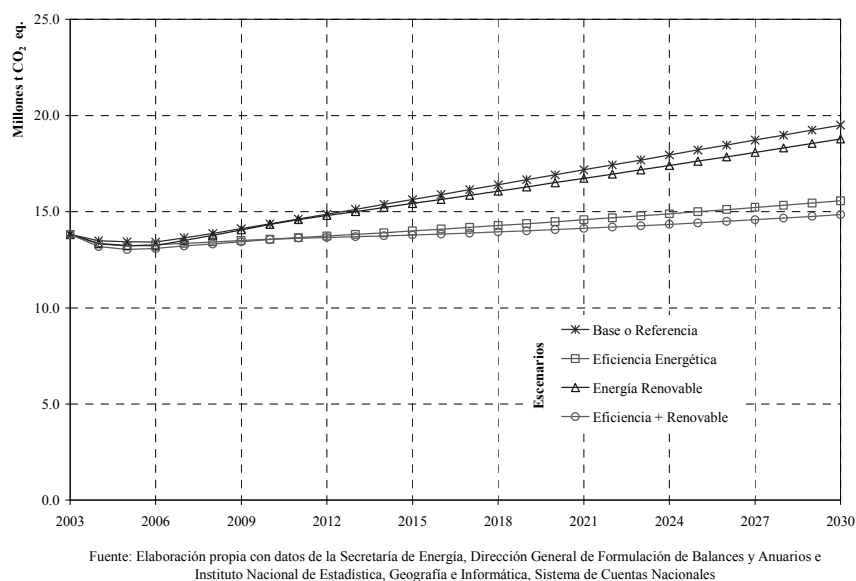


Figura 4.3.  
Escenarios alternativos de la industria Mexicana de siderurgia, 2003-2030.

#### 4.5.2.2 Química.

La industria química juega un papel fundamental en las economías modernas, esta se caracteriza por ser el sector en el que se dan inicio las operaciones para la elaboración de materias primas básicas. Estas operaciones concluyen con la fabricación de productos que generalmente son utilizados como materias primas para otras industrias e incluso para consumo final. Es una industria clave, pues esta presente en todas las áreas de la vida, tales como alimentación, vestido, vivienda, comunicaciones, transporte, recreación, educación, productos caseros y más. La industria química se puede dividir en tres grandes grupos: elaboración de productos con composición química específica; elaboración primaria, transformación o tratamiento de productos básicos crudos y elaboración de productos con procesos químicos y mecánicos.

El sector químico Mexicano vivió sus mejores momentos a mediados de la década de los 90s cuando aportaba 5.2% al producto interno bruto nacional, y era el motor del desarrollo económico de México; no obstante, sufrió un deterioro importante durante la segunda mitad de esa década y hoy sólo aporta el 2.5%. Esta situación, al ser una industria primaria, incide fuertemente en muchas de las cadenas productivas en México; por ejemplo, por cada dólar que produce, el sector secundario produce 8, el manufacturero 14 y el sector terminal más de 20<sup>150</sup>. De acuerdo a la Ley publicada el 17 de agosto de 1992, se decretó una nueva clasificación de productos petroquímicos, quedando, en la industria petroquímica básica, 8 productos: etano, propano, butano, pentano, hexano, heptano, naftas y materia prima para negro de humo, y 13 petroquímicos secundarios que requieren permiso de la Secretaría de Energía para su producción: acetileno, amoníaco, benceno, butadieno, butilenos, etileno, metanol, n-parafinas, o-xileno, p-xileno propileno, tolueno, mezcla de xilenos. Los productos que no se

<sup>150</sup> La industria química en México, 2003.

incluyeron en los anteriores 21 productos, actualmente pueden ser elaborados por los sectores privado, social o público, requiriendo únicamente su registro ante la Secretaría de Energía.

La industria química se encuentra entre las industrias que requieren mayor intensidad de energía, y hay muchas oportunidades para aplicar nuevas tecnologías para reducir los costos de capital y los costos operativos de la energía para mejorar el rendimiento económico y ambiental. Muchas de las tecnologías emergentes consisten en procesos mejorados que funcionan a menores temperaturas para reducir los requisitos de energía, o hacer un uso más efectivo de los catalizadores. Un ejemplo de los catalizadores mejorados es el desarrollo de substratos a nanoescala basados en carburos de molibdeno y carburos de tungsteno. Estos catalizadores se basan en un substrato de nanotubos de carbono. Ellos mantienen la estabilidad térmica y alta superficie total, incluso bajo condiciones de funcionamiento severas. Estos nuevos catalizadores ofrecen el rendimiento del platino sin su elevado costo. Los ahorros de energía proyectados en los Estados Unidos son de 45 PJ por año hacia el 2020. Ejemplos de tecnologías eficientes con beneficio al medio ambiente:

Tecnología	Beneficios ambientales
Gas membrane technologies-chemicals	Decreases CO <sub>2</sub> emissions by 0.1325 tons/ton product per year
Levulinic acid from biomass (biofine)	Reduces landfill waste and uses a renewable feedstock
Liquid membrane technologies chemicals	Decreases CO <sub>2</sub> emissions and other combustion related Emissions
Autothermal reforming-Ammonia	50% reduction in NO <sub>x</sub> emissions
Plastics recovery	Reduced land filling of plastics from automobile shredder residue

Fuente: Emerging Energy-Efficient Industrial Technologies, LBNL, 2000.

### Escenarios.

El *escenario base* muestra que, para el período 2003-2030, las emisiones de CO<sub>2</sub> producidas por la industria química se incrementarían en 18.9% colocándose en 7.7 millones de toneladas<sup>151</sup>. Estas emisiones serán causadas por el consumo preferente de gas natural y de electricidad representando en conjunto el 93.3% de la demanda total de energéticos de la rama. Las emisiones crecerán a razón de 0.64% tmca.

En el *escenario de eficiencia energética*, los ahorros energéticos posibles calculados en la demanda de energía de uso final en esta industria son:

Ahorro (%)	Química	Gas licuado	Diesel	Combustóleo	Gas natural	Electricidad
	18.73	12.94	20.69	61.86	20.62	11.42

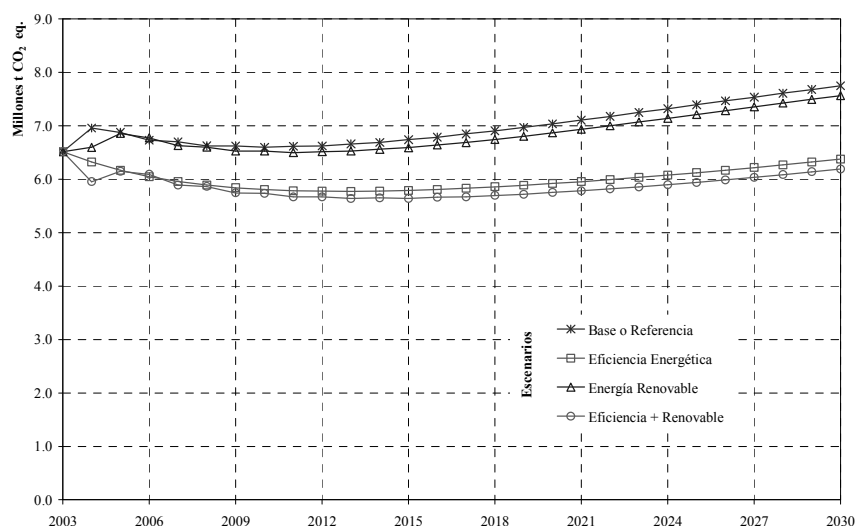
Tales ahorros energéticos, podrían inducir una reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> hacia el 2030 de 17.7% en la industria química. Las emisiones serán emitidas principalmente por el consumo de gas natural y electricidad en 48.3 y 27.6% respectivamente, además mostrando una reducción de 17% en la demanda final de estos combustibles de energía final.

En lo que corresponde al *escenario de energía alterna*, alrededor del 50% de la demanda de calor industrial se realiza a temperaturas en la gama baja (<60°C), media (60–150°C) y media alta (150–250°C). El porcentaje de la demanda energética en forma de calor en la gama de temperaturas media y media alta es especialmente elevada en las industrias alimentaria, papelera, textil y química. Estas

<sup>151</sup> Las emisiones para el año 2003 en el escenario base de la industria Química ascienden a 6.5 millones de toneladas.

industrias, durante más del 50% del proceso total necesitan temperaturas de hasta 200 °C. Tomando en cuenta lo anterior, se estima que las emisiones de CO<sub>2</sub> se reducirán en 2.3% en 2030 a través del uso de energéticos del tipo renovable<sup>152</sup>.

El escenario de *eficiencia energética más energía renovable* alcanzará una disminución de las emisiones de CO<sub>2</sub> en 20.0% hacia el 2030. Los escenarios alternativos para la industria Química se muestran en la figura 4.4.



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

Figura 4.4.  
Escenarios alternativos de la industria Mexicana de química, 2003-2030.

#### 4.5.2.3 Cemento.

La industria del cemento constituye uno de los sectores básicos para el crecimiento económico de un país. Su importancia radica entre otras situaciones a la gran aportación al PIB nacional, y de su uso intensivo de energía y emisiones asociadas, además de que, es uno de los principales insumos para la creación de infraestructura en la industria de la construcción. México ha venido incrementando su demanda en los últimos años para convertirse en uno de los 15 países con mayor producción de cemento en el mundo, mostrando un desarrollo superior al crecimiento mundial y al de los países desarrollados como Estados Unidos, Alemania, Italia, Japón, etc. Cabe señalar que el crecimiento del consumo en los países en desarrollo ha venido creciendo más que el consumo en los países desarrollados<sup>153</sup>.

La industria del cemento en México consciente de su compromiso con el desarrollo sustentable ha adoptado acciones para reducir el consumo de combustibles fósiles no renovables. Dentro de estas acciones destacan la adopción de tecnología de punta que reduce el consumo de energía y emiten

<sup>152</sup> Energía solar térmica y aplicaciones industriales, IDAE.

<sup>153</sup> Cámara Nacional del Cemento, CANACEM. [www.canacem.org.mx](http://www.canacem.org.mx)

menos contaminantes. Una de las prácticas que se emplean en la industria cementera mexicana a partir de 1990, es la llamada actividad de co-procesamiento en la cual se utilizan llantas de desecho como combustible en hornos cementeros. Este procedimiento evita el impacto que ocasiona el manejo inadecuado de este tipo de desechos y ayuda a preservar el medioambiente. Hasta la fecha este tipo de tecnología ha logrado solo el 2% de la sustitución del total de sus combustibles<sup>154</sup>. Los procesos conocidos como húmedos han sido sustituidos paulatinamente a partir de 1980, donde el proceso seco represento el 92.7 % de la producción nacional<sup>155</sup>. Las altas temperaturas necesarias para la elaboración del cemento, de hasta 1450°C en la zona de clínquerización del horno, son causa principal del alto consumo de energía. Se asume que a nivel internacional que la producción de una tonelada de clínker requiere de 125 kg de combustóleo o su equivalente<sup>156</sup>.

La intensidad energética primaria para la producción de cemento a nivel mundial se encuentra comprendida entre los 3.4 GJ/t y los 5.3 GJ/t. La eficiencia en la producción de cemento es relativamente baja en países con capitales sociales basados en hornos comunes y en países que tienen un significativo porcentaje de hornos verticales a escala reducida. En términos de energía primaria, los rangos potenciales de ahorro se encuentran entre 2.5 y 3 EJ por año, lo cual equivale al 28 al 33.8% de la energía total utilizada en el sector industrial. Además la producción de cemento es fuente importante de emisiones de CO<sub>2</sub>, la mitad de estas emisiones son debidas a la reacción química de la escoria en la producción de cemento. El promedio global de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> en la producción de cemento decreció en 1% anual en el período de 1994 a 2003<sup>157</sup>.

En el informe del LBNL en 1999, se clasificaron 30 tecnologías en cuanto a su eficiencia en relación al costo. Alrededor de trece de ellas eran económicas con un tiempo de retorno del beneficio de la inversión simple de tres años o menos. Los ahorros acumulados para estas medidas fueron de alrededor de 0,7 GJ/tonelada u 11% del uso de la energía primaria en la industria del cemento para 1994. El potencial técnico para los ahorros para la totalidad de las 30 tecnologías era de alrededor de 180 PJ o 40% del uso de la energía en la industria primaria del Cemento en 1994.<sup>158</sup> La Tabla 4.5 muestra los potenciales estimados de ahorro de energía y de emisiones de CO<sub>2</sub> en la industria del Cemento a nivel mundial.

	Potencial de incremento de la Eficiencia Energética	Potencial de reducción de Emisiones de CO <sub>2</sub>
Europa del Oeste	17%	8%
Estados Unidos	33%	17%
Antigua Unión Soviética	< 55%	28%
Latinoamérica	28%	14%
China	< 35%	18%

Fuente: Price L., Worrel E., 2006. Global Energy Use, CO<sub>2</sub> Emissions and the Potential for Reduction in the Cement Industry. Cement Energy Efficiency Workshop.

Tabla 4.5.

Potenciales técnicos de ahorro de energía y reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> en la industria del cemento.

<sup>154</sup> *Ibidem*.

<sup>155</sup> Uso eficiente y conservación de la Energía en México. Guzmán, Óscar, M.; Yúnez-Naude, Antonio; Wionczek, Miguel S. El colegio de México, 1985.

<sup>156</sup> Consumo de energía en la industria. Secretaria de energía, minas e industria Paraestatal. Comisión de las comunidades europeas. Junio de 1988.

<sup>157</sup> Tracking Industrial Energy Efficiency and CO<sub>2</sub> Emissions, OECD/IEA, 2007.

<sup>158</sup> Tecnologías de uso final de la energía para el siglo XXI. Informe del Consejo Mundial de la Energía, 2004.

### Escenarios.

Los resultados para el *escenario base* muestran que en el 2003, las emisiones de CO<sub>2</sub> ascendieron a 7.5 millones de toneladas, mientras que en el 2030 se obtendrán 6.0 millones de toneladas a un decrecimiento promedio anual de -0.83% tmca. Estas emisiones serán causadas principalmente por el consumo de combustóleo (81.5%).

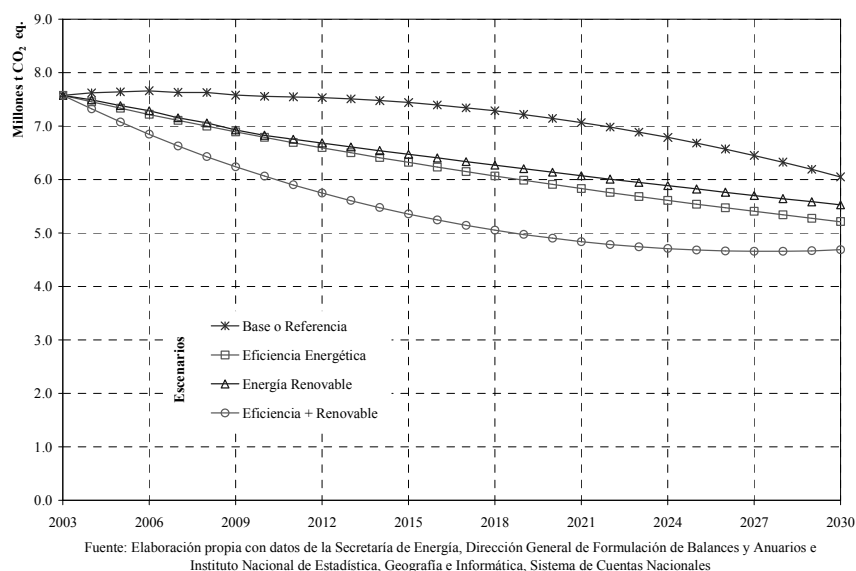


Figura 4.5.  
Escenarios alternativos de la industria Mexicana del cemento, 2003-2030.

En el *escenario de eficiencia energética*, los resultados muestran que las emisiones de CO<sub>2</sub> disminuirán en 13.8% respecto del *escenario base* en el 2030, lo que representará un decremento de 2.3 millones de toneladas<sup>159</sup>. La producción de CO<sub>2</sub> se deberá principalmente al uso de combustóleo (80.1%) y de electricidad (19.2%). Los ahorros energéticos posibles calculados para esta rama industrial son:

Ahorro (%)	Cemento	Combustóleo	Gas natural	Electricidad
	9.7	14.6	48.5	9.4

En lo que corresponde al *escenario de energía alterna*, se considera que el 90% de la energía térmica consumida es utilizada en la etapa de clinquerización; mientras que el 40% de la electricidad se emplea en la molienda de cemento, por esta razón las principales medidas para reducir el consumo de energía y las emisiones de carbono se enfocan a estas etapas<sup>160</sup>. Un número de combustibles alternativos tales como llantas usadas, lubricantes y aceites pueden ser sustitutos de combustibles comerciales como los mencionados previamente. El uso de combustibles alternativos en México se aplica desde 1992, los desechos combustibles empleados en los hornos son llantas, aceites y lubricantes usados. De acuerdo a

<sup>159</sup> Las emisiones de CO<sub>2</sub> producidas por la industria del Cemento en 2030, considerando el escenario base se ubican en 6.0 millones de toneladas.

<sup>160</sup> Ozawa L., 2000.



la experiencia en México, las llantas pueden sustituir hasta un 15% de los combustibles utilizados<sup>161</sup> y 40% puede ser reemplazado por combustible derivado de aceites usados<sup>162</sup>. Tomando en cuenta lo anterior se obtiene que las emisiones de CO<sub>2</sub> se reduzcan en 8.6% respecto del valor base en 2030.

El *escenario de eficiencia energética más energía renovable* alcanzará una disminución de las emisiones de CO<sub>2</sub> en 22.5% hacia el 2030. Los escenarios alternativos para la industria del cemento se muestran en la figura 4.5.

#### 4.5.2.4 Vidrio.

Más de la mitad del consumo de energía en el proceso de producción de vidrio es consumida por el proceso de fundido. Con excepción de algunos cristales especiales, el uso de hornos de tanque es comúnmente utilizado para la fundición del vidrio. Los métodos comunes de calentamiento se realizan mediante quemadores de oxígeno o aire, y por calentamiento eléctrico (Joule heating), así como la combinación de ambos *electric boosting*. Este último método requiere del 10 al 30% de la energía total requerida por el proceso de fabricación de vidrio.

En la actualidad, la mayoría de los hornos para la manufactura de vidrio son calentados con gas natural o combustóleo. Para incrementar la eficiencia en el uso de este tipo de combustibles y reducir las emisiones de óxido nítrico, el oxígeno es empleado en sustitución de aire durante la combustión. Los hornos que utilizan aire, generalmente recuperan calor a través de los gases residuales recuperados mediante un sistema de regeneración para calentar el aire antes de entrar al sistema y de esta forma mejorar la eficiencia del proceso y alcanzar temperaturas más altas. Cerca de 0.5 a 0.8 EJ de energía es utilizada para la fabricación de vidrio a nivel mundial. La mitad de esta energía es proporcionada por gas natural y la otra mitad por combustóleo. Globalmente, la energía utilizada en la producción de contenedores de vidrio y vidrio plano resultan en emisiones alrededor de los 50 a 60 Mt CO<sub>2</sub> por año. Las emisiones de la descarbonización de la ceniza de la soda puede contribuir hasta en 200 kg CO<sub>2</sub>/t de producto, dependiendo de la composición específica del vidrio y de la cantidad de *cullet* (cristal reciclado o cristal de desecho del proceso de fabricación) empleado.

Las principales oportunidades para mejorar la eficiencia de fabricación de vidrio son: el uso de hasta el 100% de *cullet*, incrementar el tamaño de los hornos, el uso de calor por regeneración y tecnología basada en oxígeno. Estas mejoras podrían alcanzar ahorros del 30 al 40%. Las investigaciones recientes están encaminadas al desarrollo de hornos más eficientes que separen las reacciones químicas de la fundición con el objetivo de reducir aún más el consumo de energía. También, las emisiones de CO<sub>2</sub> pueden ser reducidas por la sustitución de gas natural en lugar de combustóleo y mediante la captura de CO<sub>2</sub> en los grandes hornos basados en oxígeno. El reciclaje es una forma de reducir el consumo de energía debido a que las reacciones químicas necesitan menos energía.

<sup>161</sup> Cortés F., 1995. Sesión de llantas usadas. Taller sobre minimización de residuos y producción más limpia en América Latina y el Caribe, INE, México.

<sup>162</sup> Meza L., 1995. Estudio de la problemática del manejo de los aceites usados generados por diferentes medios de transporte. CENAPRED, México.

### Escenarios.

El *escenario base* muestra que en el 2030, las emisiones de CO<sub>2</sub> producidas por la industria del vidrio ascenderán a 3.4 millones de toneladas, lo que significa un aumento del 95.8% respecto del 2003<sup>163</sup>. Los consumos de gas natural (57.7%), electricidad (24.2%) y combustóleo (16.7%) serán los responsables del crecimiento de la emisión de CO<sub>2</sub> en 2030.

El *escenario de eficiencia energética* indica que las emisiones de bióxido de carbono se reducirán en 18.7% en el 2030, lo que significa una disminución de 0.65 millones de toneladas. Los consumos de gas natural, electricidad y combustóleo se contraen respecto del año base, pero mantienen la misma estructura en cuanto a las emisiones totales causadas por esta rama industrial totalizando el 98%. Los ahorros posibles calculados para esta rama industrial son:

Ahorro (%)	Vidrio	Coque	Gas licuado	Diesel	Combustóleo	Gas natural	Electricidad
	10.32	3.25	17.74	90.64	33.23	15.51	12.82

En cuanto al *escenario de energía alterna*, se considera que el 1.0% de la energía térmica en 2003 requerida por la industria, podría ser suministrada por energía renovable solar fototérmica y fotovoltaica. Los resultados dejan ver que las emisiones de CO<sub>2</sub> se reducen en 17.8% respecto del *escenario base*. Los consumos de combustóleo y gas natural se reducirían en 19% y 25% respectivamente.

El *escenario de eficiencia energética más energía renovable* alcanzaría una disminución de las emisiones de CO<sub>2</sub> en 36.5% hacia el 2030. Los escenarios descritos previamente se observan en la figura 4.6.

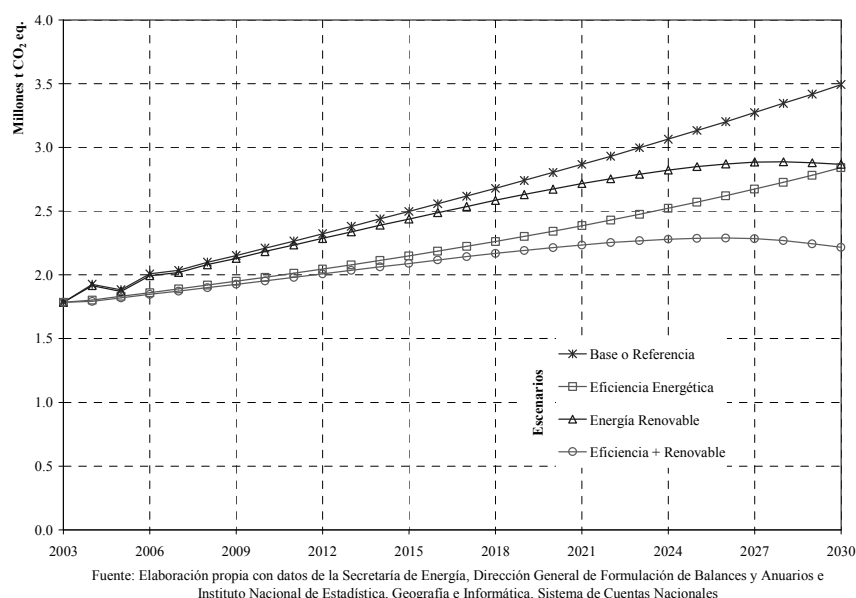


Figura 4.6.  
Escenarios alternativos de la industria Mexicana del vidrio, 2003-030.

<sup>163</sup> Las emisiones de CO<sub>2</sub> producidas por la industria del Vidrio en 2003 son 1.7 millones de toneladas.

#### 4.5.2.5 Minería.

La minería es una de las actividades económicas de mayor tradición en México, ha estado presente en el desarrollo del país como un factor importante de modernización y avance, al suministrar insumos a prácticamente todas las industrias, entre las que destacan las de la construcción, la metalúrgica, la siderúrgica, la química y la electrónica, así también al formar parte de la fabricación de artículos de uso cotidiano, que van desde lápices, relojes, joyas, televisores, computadoras, automóviles y camiones, la construcción de casas, edificios y carreteras, hasta la manufactura de una gran variedad de maquinaria y equipo. La industria mexicana de la minería es una de las industrias con mayor potencial de desarrollo en nuestro país. De acuerdo con cifras proporcionadas por Latinominería y el Instituto de Estudios Fraser, el índice de potencial minero y acceso al proceso de exploración y explotación, ubican a México entre las diez primeras regiones del mundo para la atracción de capital extranjero<sup>164</sup>. México, en la actualidad, ocupa el *tercer lugar* a nivel mundial en la producción de plata, el *quinto* en plomo, así como el *sexto* en molibdeno y zinc. Para el caso de los minerales no metálicos, México ocupa el *segundo lugar* en la producción de fluorita y el *quinto* en barita y grafito<sup>165</sup>. Las 32 entidades federativas de la República Mexicana cuentan con yacimientos mineros. A nivel nacional destaca la producción de 10 minerales: oro, plata, plomo, cobre, zinc, fierro, coque, azufre, barita y fluorita, seleccionados por su importancia económica y su contribución a la producción nacional.

#### Escenarios.

El *escenario base* muestra que, en el 2030, las emisiones de CO<sub>2</sub> producidas por la industria de la minería se verán reducidas en 12.8% respecto del 2003, es decir, se dejarán de emitir 0.47 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>. El consumo de electricidad como energético de uso final será responsable del 53.0% de las emisiones producidas por esta industria. La tasa de decrecimiento media anual en el período de 2003 a 2030 será de -0.50% tmca<sup>166</sup>.

El *escenario de eficiencia energética* indica que las emisiones de bióxido de carbono se reducirán en 16.2% en el 2030, lo que significa una disminución de 0.52 millones de toneladas respecto del *escenario base*. Los consumos de electricidad, combustóleo y coque reunirán el 85% de las emisiones de esta rama industrial en 2030. Los ahorros energéticos posibles calculados para esta rama industrial son:

Ahorro (%)	Minería	Coque	Gas licuado	Diesel	Combustóleo	Gas natural	Electricidad
	17.02	11.01	46.96	22.29	13.95	18.61	17.84

En cuanto al *escenario de energía alterna*, se considera que el 1.0% de la energía térmica en 2003 requerida por la industria minera puede ser suministrada por energía renovable. Los resultados muestran que las emisiones de CO<sub>2</sub> se reducirán en 25% respecto del *escenario base* en el 2030. Los

<sup>164</sup> PricewaterhouseCoopers, 2002. Industria de la Minería.

<sup>165</sup> INEGI, 2004. Anuario Estadístico del Comercio Exterior de los Estados Unidos Mexicanos.

<sup>166</sup> Para el escenario base de la industria minera se tiene que en el 2003 las emisiones de CO<sub>2</sub> ascenderán a 3.6 millones de toneladas y para el año 2030 éstas serán de 3.2 millones de toneladas.

consumos de electricidad y combustóleo serán responsables del 58.9 y 16.9% de las emisiones totales al 2030 respectivamente.

El *escenario de eficiencia energética más energía renovable* logra una reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> en 41.8% hacia el 2030. Los escenarios descritos previamente se observan en la figura 4.7

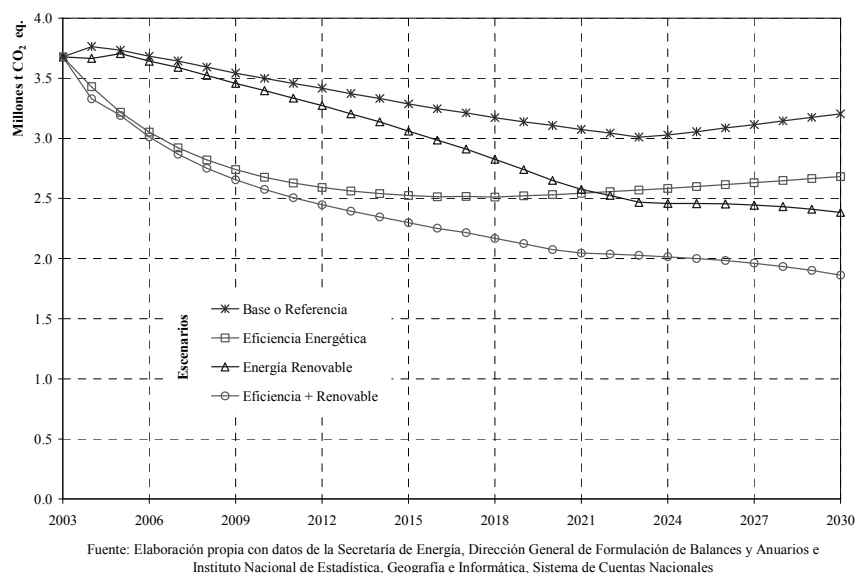


Figura 4.7.  
Escenarios alternativos de la industria Mexicana de minería, 2003-2030.

#### 4.5.2.6 Celulosa y papel.

La producción de celulosa, así como la de papel, alcanzan en México volúmenes por debajo de la capacidad instalada, ya que en el primer caso dicha capacidad es de más de un millón de toneladas al año y la producción en 1992 fue de 520 mil toneladas; en tanto en que el segundo, la capacidad instalada es de cerca de cuatro millones de toneladas anuales y en el mismo año sólo se produjeron alrededor de tres millones de toneladas. Cabe señalar que en 1992 la producción total de papel registró una caída de 2.4% pues la producción nacional se vio desplazada por las crecientes importaciones de papel<sup>167</sup>. De 1996 a 1997, la entrada de productos de celulosa y papel se incrementaron en 39.4 por ciento, mientras que las exportaciones se redujeron en 21.9 por ciento, según cifras de la Cámara Nacional de las Industrias de la Celulosa y del Papel (CNICP). La CNICP tiene la intención de lograr para 2010 que 60 por ciento del papel sea recolectado para su reciclado. La CNICP agrupa a 27 empresas que operan 64 plantas distribuidas en 18 entidades del país, que generan 26 mil 854 empleos directos<sup>168</sup>.

<sup>167</sup> INE. Estudio para evaluar las tecnologías contaminantes en cinco ramas industriales. <http://www.ine.gob.mx/publicaciones/libros/3/estudios.html>

<sup>168</sup> <http://fox.presidencia.gob.mx/buenasnoticias/?contenido=26695&pagina=44>

La producción de pulpa se apoya en dos procesos principales, un proceso químico y un proceso termomecánico (TMP), cada uno con variaciones. El proceso químico alcalino al sulfato o proceso “Kraft” fue el estándar de la industria hasta finales de la década de 1960 en que se desarrolló el TMP. La mayor parte de los países desarrollados han volcado una gran parte de su producción de pulpa al TMP porque produce mucha menos contaminación a un costo más bajo por tonelada de pulpa. El TMP también es más eficiente en el uso de material prima y requiere menor intensidad de capital que el proceso químico. La pulpa Kraft a menudo necesita blanqueado, mientras que la pulpa TMP no lo necesita. Sin embargo, el proceso Kraft es más adecuado para el papel de mayor calidad dado que produce fibras más fuertes y puede utilizar la mayoría de los tipos de madera, mientras que la pulpa TMP produce papel más débil, no puede utilizar cualquier materia prima, y requiere mayor intensidad de energía. Actualmente la pulpa TMP asciende al 30% del total de la producción mundial de pulpa.

La investigación y desarrollo de tecnología en cuanto al uso eficiente de la energía para la industria del papel y de la pulpa, de acuerdo a la Agencia Internacional de Energía (AIE), se centra en áreas de:

- Integración del proceso, incluyendo herramientas para el manejo del agua y la fabricación de papel a un nivel bajo de consumo de agua y el uso de análisis de estricción térmica:
- Tecnologías de gasificación para licor negro y biomásas.
- Eficiencia del proceso de fabricación y recuperación del calor

La industria de la celulosa y papel consume el 5.7% de la energía utilizada a nivel mundial. Cerca de la mitad de los requerimientos energéticos del proceso de fabricación de papel proviene del uso de la biomasa y el uso extensivo de CHP (combined heat and power). La eficiencia en el consumo de calor en el sector de la celulosa y papel a mejorado en 9% de 1994 a 2003. Esta es una notable mejora aunada al potencial de ahorro estimado en 14% al utilizar la mejor tecnología disponible. El consumo de electricidad como energía de uso final no presenta ningún cambio en el proceso de producción aunque desde 1990 al 2003 se ha disminuido en 3% el uso de este energético. El incremento de programas de reciclaje de papel ayudará a reducir aún más el consumo de energía. Las potenciales reducciones de emisiones de CO<sub>2</sub> se encuentran limitadas debido al alto uso de biomasa, sin embargo, el uso más eficiente de este recurso aun tiene sentido en cuanto a las perspectivas energéticas, debido a la escasez de recursos forestales, los cuales proveerían nuevos ahorros. En términos de energía primaria, los ahorros potenciales se encuentran en el rango de 1.3 a 1.5 EJ por año, lo que equivale del 15 al 18% del uso total de la energía en este subsector. Las mas prometedoras tecnologías para lograr un ahorro energético en la industria son la gasificación, avanzadas tecnologías de secado y calderas de recuperación de licor negro de alta presión y temperatura, (Worrel et al., 2001). Una desventaja en cuestiones de ahorro es que las maquinas de fabricación de papel no son susceptibles de ser modificadas con nueva tecnología más eficiente debido al diseño de estas. Los ahorros potenciales estimados van del 14% en cuanto al uso de calor de proceso y del 16% para el uso de electricidad.

#### *Escenarios.*

El *escenario base* muestra que, en el 2030, las emisiones de CO<sub>2</sub> producidas por la industria de la celulosa y papel se incrementarán 0.71 millones de toneladas lo que significará 31.9% más respecto del

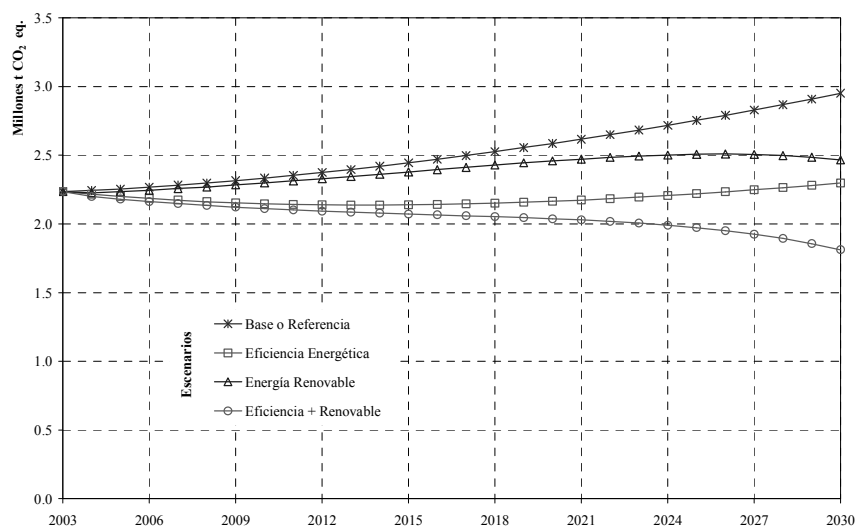
2003. El consumo de combustóleo (48.5%) y electricidad (34.8%) como energético de uso final será responsable del 83.3% de las emisiones producidas por esta industria. La tasa de crecimiento media anual en el período 2003-2030 será de 1.03% tmca<sup>169</sup>.

El *escenario de eficiencia energética* indica que las emisiones de bióxido de carbono se podrían reducir en 22.1% en el 2030, lo que significa una disminución de 0.65 millones de toneladas respecto del *escenario base*. Los consumos de combustóleo y electricidad se reducirán en 10% y 16% respecto de sus consumos en el *escenario base* permitiendo tal disminución de emisiones en 2030. Los ahorros energéticos posibles calculados para esta rama industrial son:

Ahorro (%)	Celulosa y Papel	Gas licuado	Diesel	Combustóleo	Gas natural	Electricidad
	24.65	39.63	74.23	16.74	32.44	14.86

En cuanto al *escenario de energía alterna*, se considera que el 1.0% de la energía térmica en 2003 requerida por la industria de la celulosa y papel puede ser suministrada por energía renovable. Los resultados muestran que las emisiones de CO<sub>2</sub> se podrían reducir en 16.4% respecto del *escenario base* en el 2030. Los consumos de electricidad y combustóleo serán responsables del 82.5% de las emisiones totales al 2030.

El *escenario de eficiencia energética más energía renovable* logra una reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> en 38.5% hacia el 2030, lo cual representa una decremento de 0.42 millones de toneladas. Los escenarios descritos previamente se muestran en la figura 4.8.



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

Figura 4.8.  
Escenarios alternativos de la industria Mexicana de celulosa y papel, 2003-2030.

<sup>169</sup> Para el escenario base de la industria de la celulosa y papel se tiene que en el 2003 las emisiones de CO<sub>2</sub> representan 2.2 millones de toneladas y para el año 2030 éstas son de 2.9 millones de toneladas.

#### 4.5.2.7 Cerveza y Malta.

La industria cervecera Mexicana se caracteriza por estar controlada por un duopolio integrado por dos corporaciones: Grupo Modelo, que es una corporación puramente cervecera, y FEMSA que opera la Cervecería Cuauhtémoc-Moctezuma y se dedica a otras inversiones a través de las subsidiarias FEMSA Coca cola y FEMSA Comercio. El Grupo Modelo, hasta el 31 de diciembre de 2002, tuvo una participación del 62.7% del mercado total mientras que FEMSA abarcó el restante 37.3 % de dicho mercado<sup>170</sup>.

En un estudio realizado por el LNBL<sup>171</sup>, se identificaron las posibles medidas a implementar para la mejora de la eficiencia energética en una industria cervecera. Los principales ahorros energéticos podrían darse en la distribución de calderas, distribución de vapor, refrigeración, climatización y procesos específicos como la trituración, calentamiento, fermentación y empaque. Los ahorros energéticos en específico y su período de recuperación de la inversión se muestran en la tabla 4.6.

Utilities			Process specific		
Measure	Primary Energy		Measure	Primary Energy	
	Payback (Years)	Savings <sup>A</sup> (kBtu/barrel)		Payback (Years)	Savings <sup>A</sup> (kBtu/barrel)
<b>Boilers and Steam distribution<sup>B</sup></b>			<b>Mashing and Lauter Tun</b>		
Maintenance	<1	4	Waste heat recovery	n/a	limited data
Improved process control	<1	3	Use of compression filter	2	19
Flue gas heat recovery	>3	2	<b>Wort boiling and cooling</b>		
Blowdown steam recovery	2.7	2-3	Vapor condensers	<2 to 5	<1 - 22
Steam trap maintenance	<1	3.4	Thermal vapor recompression	>2	16-18
Automatic steam trap monitoring	<1	<1	Mechanical vapor recompression	<sup>D</sup>	23
Leak repair	<1	6	Steineker Merlin system	2	31
Condensate return	>1	19-21	High gravity brewing	<1	13-22
Insulation of steam pipes	1	6-28	Low pressure wort boiling	n/a	32-40
Process integration	<sup>D</sup>	47-84	Wort stripping	n/a	20-42
<b>Motors and Systems Using Motors<sup>C</sup></b>			Wort cooling	3	17
Variable speed drives	2 to 3	6-25	<b>Fermentation</b>		
Downsizing	2	1-2	Immobilized yeast fermenter	n/a	limited data
High efficiency	1 to 2	1-2	Heat recovery	>2	limited data
<b>Refrigeration and cooling<sup>C</sup></b>			New CO <sub>2</sub> recovery systems	>2	limited data
Better matching of cooling capacity and cooling loads	3.6	1-2	<b>Processing</b>		
Improved operation of ammonia cooling system	5.5	<1 - 2	Microfiltration	2 to 4	limited data
Improved operations and maintenance	<1	4	Membranes (alcohol-free)	4	19
System modifications and improved design	≤3	5-8	Heat recovery-pasteurization	n/a	1
Insulation of cooling lines	n/a	Limited data	Flash pasteurization	n/a	6-14
<b>Other utilities</b>			<b>Packaging</b>		
Lighting	<2 to 3	2-6	Heat recovery washing	≤3	6
Reduce space heating demand	n/a	8	Cleaning improvements	3.4	23
Anaerobic waste water treatment	>2	5-9			
Membrane filtration wastewater	≤5	limited data			
Control & monitoring systems	<1 - 5	<1 - 37			
Combined heat and power	3.5	67-100			
Engine driven chiller systems	2 to 4	12			
CHP with absorption cooling	4.5	79			

<sup>A</sup> Primary energy savings account for savings in fuel use, electricity use, and electricity transmission and distribution losses. We use a conversion factor of 3.08 from final to primary electricity use based on average US power plant heat rates. Energy savings are primarily taken from data from case studies in the literature. To convert kBtu/barrel to kWh/hL use the conversion factor 0.25 kWh/hL/kBtu/barrel. To convert kBtu/barrel to GJ/hL, use the conversion factor 0.0009 GJ/hL/kBtu/barrel.

<sup>B</sup> We assume an average US brewery fuel usage of 212 kBtu/barrel (53 kWh/hL), 90 to 100% of the fuel is used in the boilers, and an average boiler conversion efficiency of 85%. We estimate a total plant electricity consumption of 122 kBtu/barrel (30.5 kWh/hL).

<sup>C</sup> We assume motors and systems using them make up 46% and process cooling make up 32% brewery electricity use [33].

<sup>D</sup> Results vary widely depending on plant configuration and size of the brewery  
n/a Paybacks for this measure could not be estimated from available data

Tabla 4.6.  
Ahorros energéticos específicos en la producción de cerveza<sup>172</sup>

<sup>170</sup> Carbajal G., T .J., (2004). Tesis Licenciatura: Una Historia Industrial Exitosa: Producción y Exportación de Cerveza Mexicana. El caso del Grupo Modelo.

<sup>171</sup> Worrel et al., Energy Efficiency Opportunities in the Brewery Industry.

<sup>172</sup> Worrel et al., Energy Efficiency Opportunities in the Brewery Industry.

La industria cervecera también es susceptible de ahorros energéticos por vía de la integración de energía renovable. A escala industrial, se puede implementar la recuperación de calor procedente de otros procesos para su posterior uso en el calentamiento de agua a bajos niveles de temperatura (hasta 60-70°C). La demanda de calor también muestra que se necesita una gran cantidad de energía tanto en el precalentador rápido entre 70°C y 73°C, como en el calentamiento de agua del sistema de limpieza de botellas hasta 90°C. Por lo tanto, resulta muy adecuada la introducción de energía solar en estos procesos. Por otro lado, es necesario tener presente que puede generarse mucha energía a partir del sedimento (salvado o afrecho), que se separa de la cerveza sin fermentar (mosto) en el proceso que tiene lugar en el recipiente de filtrado. Entre las técnicas más actuales, destaca la recuperación de energía de proceso por medio de biomasa como fuente energética<sup>173</sup>.

#### Escenarios.

El *escenario base* muestra que en el 2030, las emisiones de CO<sub>2</sub> producidas por la industria de la cerveza y malta se incrementarían en 1.6 millones de toneladas lo que significará el 148.0% más respecto del 2003. El consumo de gas natural y combustóleo como energético de uso final será responsable del 78.3% de las emisiones producidas por esta industria. La tasa de crecimiento media anual de las emisiones de CO<sub>2</sub> en el período 2003-2030 será de 3.43% tmc<sup>174</sup>.

El *escenario de eficiencia energética* indica que las emisiones de bióxido de carbono se reducirían en 32.0% en el 2030 lo que significa una disminución de 0.74 millones de toneladas respecto del *escenario base*. Los consumos de gas natural y combustóleo se reducirían en 32.6 y 24.0% respecto de sus consumos en el *escenario base*, permitiendo el decremento de las emisiones en esta rama industrial en 2030. Los ahorros energéticos posibles calculados para esta rama industrial son:

Ahorro (%)	Cerveza y Malta	Gas licuado	Diesel	Combustóleo	Gas natural	Electricidad
	18.26	76.32	77.37	24.00	32.64	34.03

En cuanto al *escenario de energía alterna*, se considera que el 1.0% de la energía térmica en 2003 requerida por la industria de la celulosa y papel puede ser suministrada por energía renovable. Los resultados muestran que las emisiones de CO<sub>2</sub> se reducen en 13.4% respecto del *escenario base* en el 2030. Los consumos de gas natural y combustóleo son responsables del 81.5% de las emisiones totales al 2030.

El *escenario de eficiencia energética más energía renovable* logra una reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> en 45.5% hacia el 2030, lo cual representa una decremento de 1.2 millones de toneladas. Los escenarios descritos previamente se observan en la figura 4.9.

<sup>173</sup> IEA-SHC-Tarea 33. Calor Solar para Procesos Industriales, Boletín #3, Enero 2007.

<sup>174</sup> Para el *escenario base* de la industria de la Cerveza y Malta se tiene que en el 2003 las emisiones de CO<sub>2</sub> representan 1.0 millones de toneladas y para el año 2030 éstas son de 2.6 millones de toneladas.



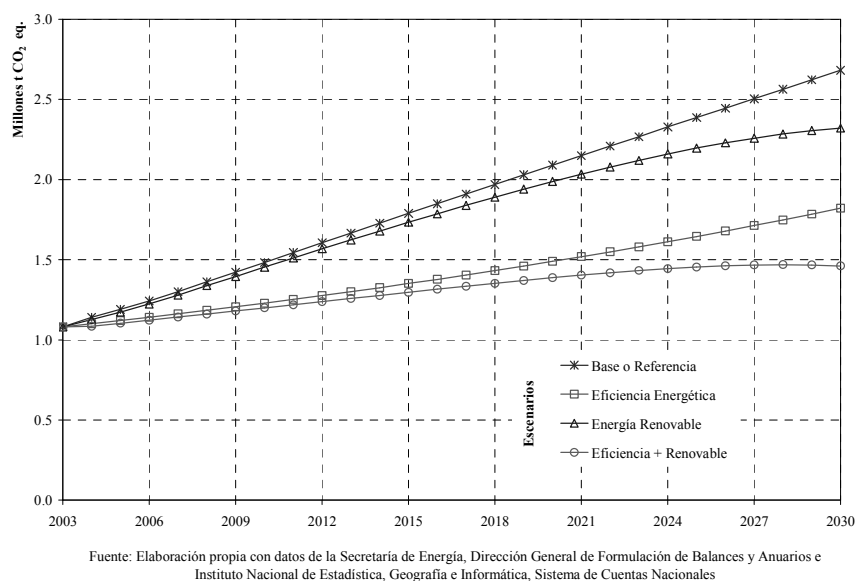


Figura 4.9.  
Escenarios alternativos de la industria Mexicana de la cerveza y malta, 2003-2030.

#### 4.5.2.8 Azúcar.

Para México la industria del Azúcar es muy importante por varias razones, esta industria es una fuente generadora de empleo en especial en el medio rural, y la producción de caña y su procesamiento se extiende en quince estados de la República Mexicana, ocupando el quinto lugar en cuanto a superficie cultivada de los principales productos agrícolas. En el tiempo que el Gobierno Federal administró la mayor parte de los ingenios azucareros (1970-1989) y durante los primeros años de la industria privatizada, se lograron muy pocas mejoras en los principales indicadores de eficiencia que caracterizan a la industria. Por ejemplo, se redujo el tiempo perdido de zafra, pero se incrementaron ligeramente las pérdidas de sacarosa; aumentó el rendimiento en fábrica y se redujo el consumo de petróleo, pero el costo de producción de azúcar se incrementó (García-Spreen, 2000).

Cuando los ingenios fueron privatizados, la agroindustria, tenía más superficie cultivada con caña que cuando el gobierno adquirió los ingenios; sin embargo el crecimiento de la producción de azúcar fue insuficiente para satisfacer el crecimiento del consumo y en la década de los 1980's fue necesario importar azúcar, para satisfacer las necesidades de consumo doméstico. Después, entre 1989 y 1992 se importaron casi 3.6 millones de toneladas de azúcar, como resultado de la eliminación de los permisos previos de importación en 1989 y también del desorden en la comercialización de azúcar que se presentó en el mercado interno. Entre los ingenios vendidos había tres niveles de desarrollo tecnológico, un grupo importante de ingenios (18) con maquinaria y equipo obsoleto y con baja eficiencia productiva; otro con tecnología semi obsoleta (38) y algunos más eran ingenios que contaban con equipos modernos, especialmente aquellos que fueron inaugurados entre 1970 y 1989. Cabe señalar que la mayor parte de los ingenios vendidos eran muy antiguos y tenían operando más de cuarenta años, con pocos cambios tecnológicos. El incremento del factor tecnológico es una parte

fundamental del proceso productivo que se halla íntegramente articulado a los altos rendimientos, pero no se debe perder de vista el impacto ambiental que esto pueda generar<sup>175</sup>.

Los principales cambios que se han observado en la actividad azucarera mundial en las últimas décadas son:

1) Los países desarrollados han reducido su participación en el consumo de azúcar de 43 a 26% del total mundial de 1970 a la fecha, en el mismo periodo éstos países redujeron su participación en las importaciones totales de 55 a 27%, y en caso de exportaciones, éstos países aumentaron su participación de 17 a 37%;

2) El azúcar refinado ha incrementado su participación en el comercio internacional de 12% en 1970 al 50% en 1995;

3) En los últimos diez años se registró un crecimiento de la producción mundial de 17.5 millones de TMVC (toneladas métricas equivalentes a volumen de azúcar crudo), de las cuales el 83.5% corresponden a Asia y el 16.5% a América del Sur, mientras que se registraron reducciones de alrededor de 3.6 millones de TMVC, tanto en Europa Oriental como en América Central y el Caribe<sup>176</sup>.

Así también, en la industria del azúcar sus importantes consumos de calor la hacen atractiva para implementar sistemas de cogeneración y recuperación de calor, que podrían reducir sus consumos en un tercio en el período considerado. El potencial de mejoramiento de eficiencia energética en la industria se estima en 2.7% tmca de acuerdo a los estudios realizados por el Ministerio de Energía de Chile. En cuanto al uso de la energía renovable en el sector azucarero se considera el empleo de bagazo de caña para la generación de energía eléctrica; por cada tonelada de caña molida, se extraen 0.35 toneladas de bagazo apto para la combustión. El potencial estimado por el estudio realizado por el Centro Mario Molina (CMM), considera que en cuanto al uso de esquemas de cogeneración con bagazo de caña como combustible es de 4.90 Millones de toneladas de CO<sub>2</sub> anuales<sup>177</sup>.

#### *Escenarios.*

Para el *escenario base*, en el año 2003, las emisiones de CO<sub>2</sub> del sector azucarero se ubicaron en 1.97 millones de ton, de las cuales el 98% correspondió al empleo de combustóleo. Por otra parte, las emisiones biogénicas para este año ascendieron a poco más de 9.0 millones de ton. En el 2030, las emisiones mantienen en la misma proporción en cuanto al uso de combustóleo (99%, 2.2 millones de ton) pero las emisiones biogénicas exceden las 12.1 millones de ton de CO<sub>2</sub>.

El *escenario de ahorro y eficiencia energética* nos muestra que las emisiones de CO<sub>2</sub> se reducirían en 27.0% en el año 2030, a causa del decremento en el uso de combustóleo y de electricidad. El uso de diesel no es significativo a partir del año 2012 y el uso de bagazo de caña mantiene una tendencia de

<sup>175</sup> La agroindustria Azucarera de México: El impacto del TLCAN. García Chávez, L.R., 2004. Universidad Autónoma Chapingo.

<sup>176</sup> Estudio para evaluar las tecnologías contaminantes en cinco ramas industriales. Instituto Nacional de Ecología. <http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/3/estudios.html>

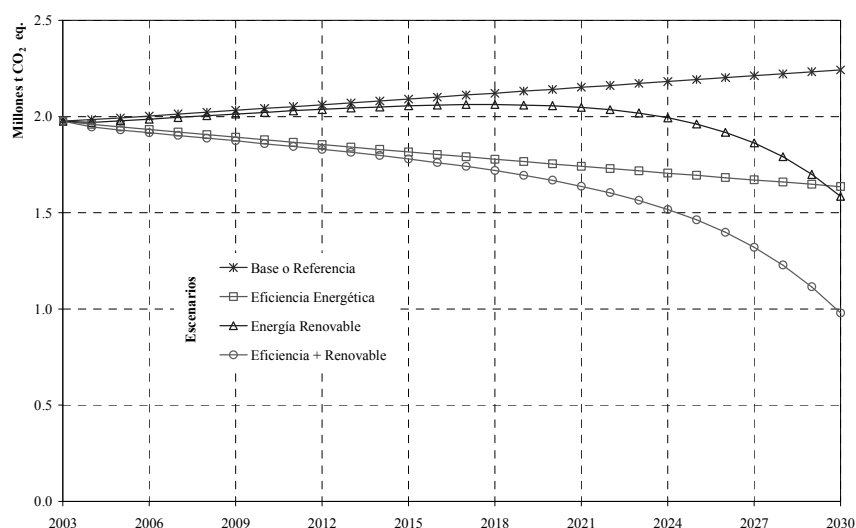
<sup>177</sup> Emisiones de gases de efecto invernadero y oportunidades de Mitigación, Generación y Uso de Energía. CMM, Centro Mario Molina; 2006.

crecimiento estable, a pesar de que la producción de caña de azúcar es influenciada por la inestabilidad climática. Los ahorros energéticos posibles calculados para esta rama industrial son:

Ahorro (%)	Azúcar	Bagazo de caña	Diesel	Combustóleo	Electricidad
	13.78	10.17	36.91	27.28	16.34

En el *escenario de energía renovable*, se muestra un incremento de la participación del uso de bagazo de caña, causa por la cual se ven reducidas las emisiones por el consumo de combustóleo y electricidad. En este escenario el bióxido de carbono producido por la industria del azúcar se reduciría en 29.2%. De acuerdo con la información publicada, se contempla que con las tecnologías existentes es factible y rentable que toda la industria procesadora de caña de azúcar utilice únicamente el bagazo de la caña para autoabastecer sus requerimientos energéticos mediante cogeneración y generar excedentes importantes de electricidad que podrían ser vendidos a la CFE, o a socios y otros particulares<sup>178</sup>.

Al aplicar conjuntamente los efectos de *energía renovable* y *eficiencia energética* se obtiene que las emisiones de CO<sub>2</sub> se reduzcan en 56.3% en el año 2030. El *escenario base* en comparación con los escenarios posibles descritos previamente se muestran en la figura 4.10.



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

Figura 4.10.  
Escenarios alternativos de la industria Mexicana del azúcar, 2003-2030.

#### 4.5.2.9 Petroquímica.

La industria petroquímica es una de las actividades consideradas como estratégica en cualquier esquema de desarrollo industrial. Su importancia es innegable sobre todo a la luz de las rápidas e importantes transformaciones que se han venido implementando en su mayor parte en los países

<sup>178</sup> Ibidem, CMM, 2006.

industrializados y en otros en desarrollo como los del Medio Oriente, India, Rusia y China. La industria petroquímica de PEMEX actualmente se integra con 8 complejos productores los que en conjunto tienen un total de 48 instalaciones, con una capacidad de producción que en 1995 fue de 16.5 millones de toneladas y en 2005 de sólo 12.5 millones de toneladas<sup>179</sup>.

La reestructuración de la industria petroquímica mexicana se inició en el año 1986, cuando el Gobierno inició la desclasificación de la que entonces consideraba como petroquímica básica y dio luz verde a la liberalización comercial de la industria. Cabe destacar que el descenso en la producción petroquímica básica y de fertilizantes, tuvo su origen a partir de la reestructuración del sector en 1986, cuando se redujeron los diferentes mecanismos de apoyo y protección de los que gozaban dichas ramas, así como la eliminación de subsidios que elevaron los costos de producción. Adicionalmente, con la apertura comercial, esta industria enfrentó una creciente e intensa competencia del exterior, incrementándose las importaciones, situación que se agravó con la escasez de inversiones en el ramo desde que se intentó la privatización de la industria; además que dichos cambios coincidieron con una contracción de la industria petroquímica mundial iniciada en los años noventa<sup>180</sup>. La disminución en la oferta bruta de productos petroquímicos producidos por PEMEX, ha provocado una regresión importante de su participación en el mercado mexicano, reflejándose en el volumen de ventas de productos finales, que en 1995 fueron de 8.0 millones de toneladas, mientras que para el presente 2005 se estima serán del orden de 3.8 millones de toneladas<sup>181</sup>. A partir de 1996, los particulares, tanto nacionales como extranjeros, pueden intervenir en hasta el 100% del capital de nuevas empresas petroquímicas no básicas, con plena certidumbre jurídica<sup>182</sup>.

La industria petroquímica posee una alta intensidad energética debido a la fuente de sus materias primas –combustóleo y gas natural- y por la energía utilizada para transformarlos en productos finales mediante procesos químicos. Internacionalmente para la mejora en su eficiencia energética se han implementado rediseños en los procesos y una reducción en los desperdicios químicos, lográndose incrementos en la eficiencia energética del 2,6% anual<sup>183</sup>. Un indicador metodológico que compara el consumo teórico de energía empleando la mejor tecnología disponible con el uso actual de energía sugiere que del 13 al 16% del potencial de mejora de eficiencia energética y de uso de materia prima (excluyendo electricidad). El potencial es más alto en países donde el poder del capital es predominante. Los estudios de benchmarking sugieren que las mejoras en el potencial del rendimiento energético para las olefinas y los compuestos aromáticos se extienden del 10% para el cloruro de polivinilo al 40% para varios tipos de polipropileno. Cerca de 1 Exajoule (EJ) por año (20%) sería ahorrado si la mejor tecnología disponible es aplicada en la producción de amoníaco. En términos finales de la energía, el rango del potencial de los ahorros energéticos se extiende desde el 5 a 11 EJ

<sup>179</sup> Secretaría de energía. [www.sener.gob.mx](http://www.sener.gob.mx)

<sup>180</sup> *Evolución del Sector Manufacturero de México, 1980-2003*. Centro de estudios de las finanzas públicas, Cámara de Diputados, H. Congreso de la Unión. 2005

<sup>181</sup> *La industria de refinación de petróleo e industria petroquímica, Situación actual y perspectivas*. Academia de ingeniería. II congreso nacional mesa redonda. Desarrollo industrial Química, Petroquímica y refinación. Intervención de Ing. Fernando manzanilla Sevilla. Noviembre de 2005.

<sup>182</sup> Centro de Información y Documentación Empresarial sobre Iberoamérica (CIDEIBER).

<sup>183</sup> Estimación del potencial de ahorro de energía, mediante mejoramiento de la eficiencia energética de los distintos sectores del consumo en Chile, 2004.

por año, incluyendo procesos de eficiencia energética, sistemas eléctricos, reciclado, recuperación de energía mediante basura y de CHP<sup>184</sup>.

El proceso que requiere mayor intensidad de energía en la industria petroquímica es el craqueo a vapor de los hidrocarburos para producir etileno, propileno, butadieno, y aromáticos. En 1990 el consumo mundial fue de 1 EJ excluyendo el consumo de materias primas energéticas, y la producción mundial de etileno fue de 50 millones de toneladas. En 1997, la producción mundial había aumentado a 70 millones de toneladas. En los últimos años, la capacidad mundial para la producción de etileno ha crecido más que la demanda de etileno. A pesar de este exceso de capacidad, se espera que la capacidad mundial de producción de etileno crezca de 89 millones de toneladas en 1997 a 103 millones de toneladas en el 2020. El EPRI ha informado sobre promisorias tecnologías para la producción de etileno en el largo plazo. Un ejemplo es el desarrollo del craqueo oxidativo del etano para producir etileno. La producción de etileno requiere una intensidad energética considerable y ahora se la genera del etano en un craqueador a vapor a altas temperaturas. La nueva tecnología elimina la formación de NO<sub>x</sub>, reduce la producción de CO<sub>2</sub> en un factor de 10, y en los Estados Unidos, ella sola tiene el potencial de lograr ahorros de energía de 10–15 PJ por año hacia el 2020. Este enfoque puede tener competencia de la síntesis mediante microondas, que quiebra en forma selectiva las uniones químicas claves en el etano. Esta tecnología ofrece una gran mejora en el rendimiento en comparación con la tecnología convencional, y casi elimina el flujo de derivados tóxicos. Si bien esta tecnología ofrece una importante mejora en el rendimiento, se espera que el craqueo oxidativo sea más familiar para los trabajadores en las plantas químicas y que por lo tanto sea el proceso elegido<sup>185</sup>.

#### *Escenarios.*

Los resultados para el *escenario base* muestran que en el 2003, las emisiones de CO<sub>2</sub> alcanzarán las 1.3 millones de ton, mientras que en el 2030 se tienen 1.9 millones de toneladas, incrementándose a razón de 1.4% tmca. Estas emisiones serán causadas principalmente por el consumo de gas natural en un 93 % y el resto por la demanda de combustóleo.

En el *escenario de eficiencia energética*, tomando en cuenta las observaciones mencionadas anteriormente, para el año 2030, se observa que el bióxido de carbono se reduciría en 9.9% situando las emisiones en 1.7 millones de toneladas. Las emisiones provenientes del consumo de gas natural se reducirían en 15% respecto del nivel de 2003.

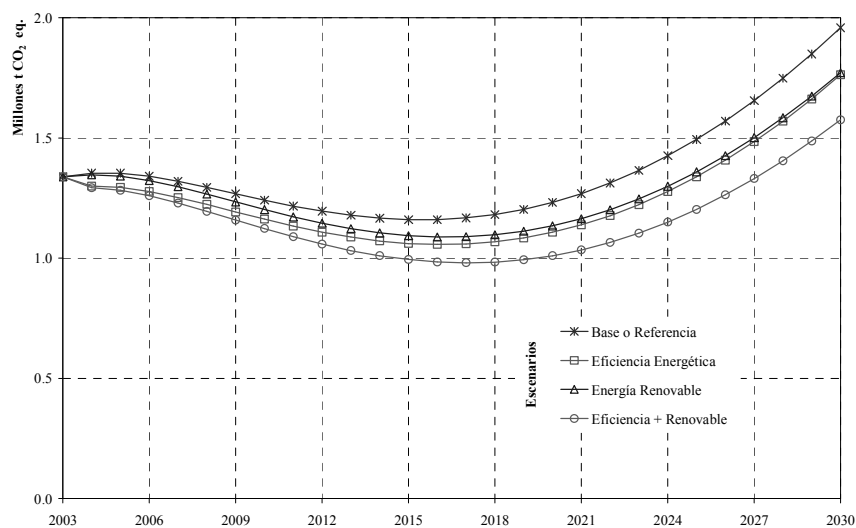
En lo que corresponde al *escenario de energía alterna*, los procesos de refinación de petróleo emplean temperaturas que van desde los 75°F (23.8°C) hasta los 450°F (232.2°C) utilizadas en las operaciones de destilación al vacío, coquización, craqueo catalítico, asfaltado, isomerización, tratamiento de hidrogeno, recuperación de gas, entre otras, para el calentamiento de aire, agua y vapor (Brown et al. (1996)<sup>186</sup>. Por lo que, para este escenario, se obtendría un 9.5% de ahorro de energía por el uso de tecnología y recursos renovables conforme a los requerimientos energéticos demandados por el proceso de refinación de petróleo.

<sup>184</sup> Tracking Industrial Energy Efficiency and CO<sub>2</sub> Emissions, OECD/IEA, 2007.

<sup>185</sup> Ibídem, OECD/IEA, 2007.

<sup>186</sup> Energy analysis of 108 industrial processes.

El *escenario de eficiencia energética más renovable* alcanzaría una disminución de las emisiones de CO<sub>2</sub> en 19.5% hacia el 2030. Los escenarios descritos se observan en la figura 4.2.



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

Figura 4.11.

Escenarios alternativos de industria Mexicana de petroquímica, 2003-2030.

#### 4.5.2.10 Aguas envasadas.

Para México, las ventas de agua embotellada representan el segmento más dinámico del sector alimentos y bebidas. De acuerdo con *Beverage Marketing Corporation*, México se encuentra en segundo lugar, detrás de Italia, en consumo per cápita por país en el 2003<sup>187</sup>. Los mexicanos hoy beben 170 litros de agua embotellada per-cápita al año, mientras que los Italianos consumen 183 litros anuales por persona. El mercado de agua embotellada ha estado creciendo a una tasa de 15% al 20% al año; y en el año 2005, se predijo un aumento de 25 %. Cerca del 83% de las ventas mexicanas provienen de la venta de garrafones, botellas de 20 litros, mientras que el 17 % restante se hace en forma de botellas de porciones personales de 1 a 1.5 litros. Hoy en día, la industria del agua embotellada esta controlada por las compañías de alimentos y bebidas de marca más grandes del mundo. Los cuatro empresas principales son: Nestlé, PepsiCo, Coca-Cola y Danone.

El programa para la promoción de calentadores solares de agua en México (PROCALSOL) calcula que el potencial de mercado para el calentamiento solar de agua y aire en actividades industriales como el tratamiento y/o manejo de bebidas y alimentos, entre otros usos, se encuentra en un 5% lo que se traduce en instalaciones de 90,200 m<sup>2</sup> por año, por lo que en 20 años se podría cubrir toda la demanda de energía de la rama de aguas envasadas en 2005(8.2 PJ)<sup>188</sup>. El calentamiento solar de agua es un

<sup>187</sup> BEVERAGE MARKETING CORPORATION. Global Bottled Water Market, Per Capita Consumption by Leading Countries, 1998 – 2003.

<sup>188</sup> Programa para la promoción de calentadores solares de agua en México (PROCALSOL), 2007-2012. CONAE, SENER, ANES, GTZ y GMBH.

proceso que puede ser más económico que los procedimientos que utilizan combustibles fósiles, además de que sus impactos al medio ambiente son prácticamente nulos.

### Escenarios.

Los resultados para el *escenario base* muestran que en el 2003, las emisiones de CO<sub>2</sub> ascenderán a 0.67 millones de toneladas, mientras que en el 2030 se tendrán 2.0 millones de toneladas, incrementándose a razón de 4.2% tmca. Estas emisiones serán causadas principalmente por el consumo de gas natural en un 36.2% y de diesel en 37.2%.

El *escenario de eficiencia energética* indica que las emisiones de CO<sub>2</sub> se reducirían en 17.6% en el 2030, lo que significa una disminución de 0.36 millones de toneladas respecto del escenario base. Los consumos de gas natural y de diesel serían responsables del 72.3% de las emisiones totales en esta rama industrial en 2030. Los ahorros energéticos posibles calculados para esta rama industrial son:

Ahorro (%)	Aguas Envasadas	Gas licuado	Diesel	Combustóleo	Gas natural	Electricidad
	4.75	13.74	18.24	21.25	21.99	4.38

En cuanto al *escenario de energía alterna*, se considera que el 1.0% de la energía térmica en 2003 requerida por la industria de aguas envasadas puede ser suministrada por energía renovable. Los resultados muestran que las emisiones de CO<sub>2</sub> se reducirían en 23.5% respecto del escenario base en 2030. Los consumos de diesel y gas natural serían responsables del 84.8% de las emisiones totales.

El *escenario de eficiencia energética más energía renovable* logra una reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> en 41.2% hacia el 2030, lo cual representaría un decremento de 0.85 millones de toneladas. Los escenarios descritos previamente se muestran en la figura 4.12.

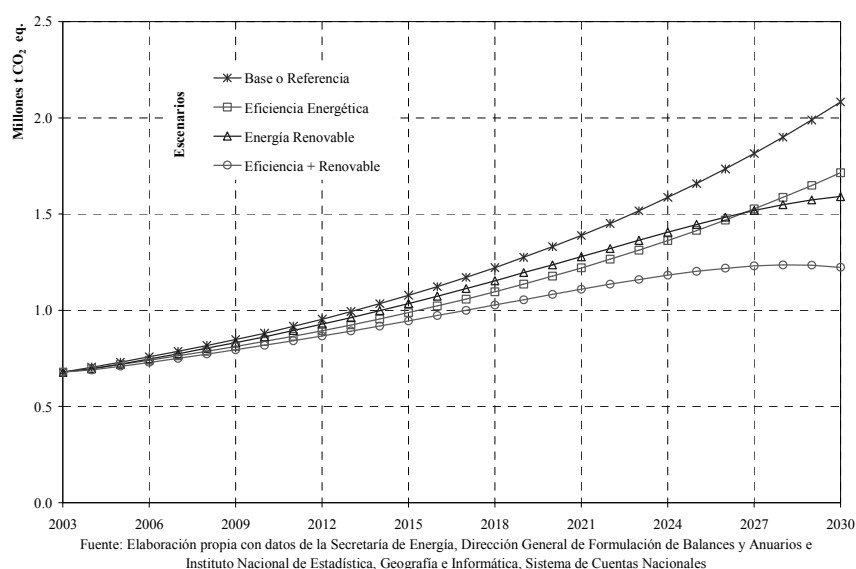


Figura 4.12  
Escenarios alternativos de industria Mexicana de aguas envasadas, 2003-2030.

#### 4.5.2.11 Construcción.

La industria de la construcción en México es y ha sido históricamente un indicador sobre el estado de la economía mexicana en general, sin embargo, actualmente en un mundo en el que poco a poco se han ido eliminando fronteras, la industria de la construcción en México se ha visto afectada no sólo por hechos de ámbito nacional sino por hechos que suceden en el ámbito internacional. El comportamiento del valor de la producción de la industria de la construcción está ligado a una serie de factores macroeconómicos, los cuales lo afectan de manera positiva o negativa, por ejemplo, en las últimas décadas la economía nacional enfrentado una serie de crisis, las cuales a su vez se han reflejado a su vez en el valor de la producción de la industria de la construcción<sup>189</sup>. Después de la crisis de 1995, el volumen de obras construidas se ha mantenido prácticamente en las misma magnitudes, a pesar de que la población ha continuado en ascenso y que se demandan cada vez una mayor cantidad de viviendas, servicios de salud, educación, agua potable, drenaje y electricidad; la construcción de estas obras y de la infraestructura que apoya el desempeño de las actividades industriales, comerciales y de servicios se ha visto frenada a causa de diversos factores tanto económicos como políticos sucedidos a nivel nacional e internacional. En el 2000, se produjo un gran estancamiento de este sector debido al hecho de una recesión económica a nivel mundial y el atentado del 11 de septiembre que acentuó estas condiciones de retraso en los Estados Unidos, principal socio comercial de México.

#### Escenarios.

El *escenario base* muestra que en el 2030, las emisiones de CO<sub>2</sub> producidas por la industria de la construcción se incrementarán en 1.4 millones de toneladas, lo que significa el 262.2% más respecto del 2003. El consumo de diesel será responsable del 89.3% de las emisiones producidas por esta industria. La tasa de crecimiento media anual de las emisiones de CO<sub>2</sub> en el período 2003-2030 será de 4.8% tmca<sup>190</sup>.

El *escenario de eficiencia energética* indica que las emisiones de bióxido de carbono se reducirían en 7.1% en el 2030 lo que significa una disminución de 0.13 millones de toneladas respecto del escenario base. El consumo de diesel representará el 91.9% de las emisiones totales respecto del consumo en el escenario base, permitiendo el decremento de las emisiones en esta rama industrial en 2030. Los ahorros energéticos posibles calculados para esta rama industrial son:

Ahorro (%)	Construcción	Diesel	Electricidad
	5.03	6.97	9.00

En cuanto al *escenario de energía alterna*, se considera que el 1.0% de la energía mecánica suministrada por la combustión de diesel en 2003 requerida por la industria puede ser suministrada por

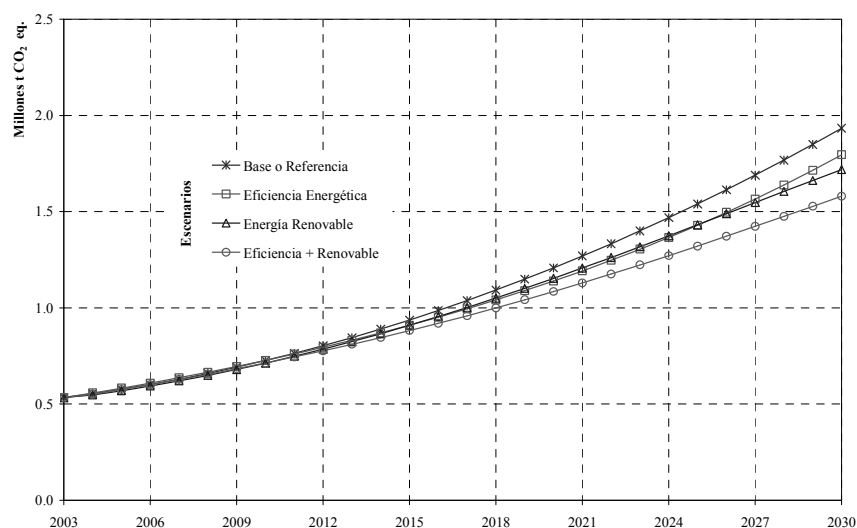
<sup>189</sup> Torres M., R., 2004. Factores macroeconómicos que afectan la producción de la industria de la Construcción en México. Tesis Maestría en Ingeniería.

<sup>190</sup> Para el escenario base de la industria de la Construcción se tiene que en el 2003 las emisiones de CO<sub>2</sub> representan 0.53 millones de toneladas y para el año 2030 éstas son de 1.4 millones de toneladas.



energía renovable. Los resultados muestran que las emisiones de CO<sub>2</sub> se reducen en 11.1% respecto del escenario base en el 2030.

El *escenario de eficiencia energética más energía renovable* lograría una reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> en 18.2% hacia el 2030, lo cual representa una decremento de 0.35 millones de toneladas. Los escenarios descritos previamente se observan en la figura 4.13.



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

Figura 4.13.

Escenarios alternativos de la industria Mexicana de la construcción, 2003-2030.

#### 4.5.2.12 Automotriz.

El sector automotor en México se encuentra dividido en la fabricación y ensamble de vehículos automotores (automóviles, camiones ligeros, autobuses, camiones pesados y tractocamiones); y en la fabricación de motores, autopartes y accesorios. En 2004, México se ubicó como el onceavo productor de vehículos más importante en el mundo. En ese año, la producción de vehículos en México representó el 16% del PIB manufacturero. La industria de autopartes generó el 6.4% del PIB manufacturero, el 10.2 % de las exportaciones y el 17.4 % del empleo en la industria manufacturera<sup>191</sup>.

Entre los años 1988 y 1992, la industria automotriz mexicana experimentó una etapa de expansión debido a su incursión al mercado externo originada por la contracción del mercado interno entre 1983 y 1987, período en el que el país experimentó una etapa de inestabilidad, situación derivada de las crisis y que llevó a una reorientación económica; dichas condiciones obligaron a las empresas automotrices a reestructurar sus operaciones a nivel mundial. México ofrecía ventajas comparativas en mano de obra, acceso a insumos y localización estratégica al mercado estadounidense. Los resultados de esa reestructuración se perciben en el nivel de producción, el cual pasó de 395 mil 258 unidades en 1987 a 820 mil 576 en 1990. En este último año, el PIB del sector creció 14.7 por ciento, respecto a 1989,

<sup>191</sup> Exporta, 2005. México: Industria Siderúrgica y Automotriz, Bilbao.

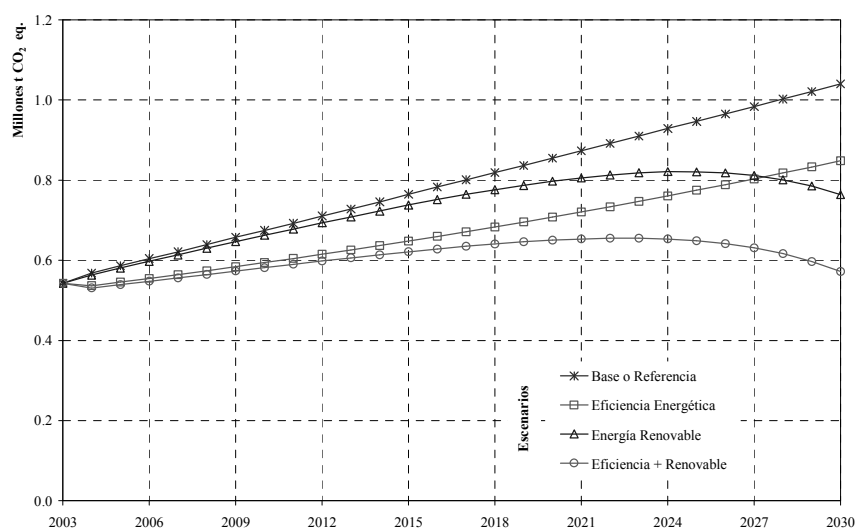
gracias a la industria terminal que mostró un crecimiento de 26.3 por ciento debido a su mayor inserción en el comercio exterior<sup>192</sup>.

### Escenarios.

El *escenario base* muestra que las emisiones de CO<sub>2</sub> se incrementarán en 91.7% pasando de 0.54 millones de toneladas en 2003 a 1.0 millones de toneladas en 2030. La causa de este aumento se debe al consumo de electricidad (71.0%) y de gas natural (25.8%). El crecimiento promedio anual de éstas emisiones es de 2.4% tmca. El *escenario de eficiencia energética* alcanzará una reducción de CO<sub>2</sub> en 18.4% respecto del escenario base como consecuencia de una reducción de 37.4% del consumo de gas natural y de 22.7% del consumo de electricidad. Las emisiones en este escenario crecen a una tasa media anual de 1.6% tmca. Los ahorros energéticos posibles calculados para esta rama industrial son:

Ahorro (%)	Automotriz	Gas licuado	Diesel	Combustóleo	Gas natural	Electricidad
	11.89	85.34	94.51	100.00	48.47	15.85

El *escenario de energía alterna*, al igual que en escenarios de anteriores ramas industriales, se considera que el 1.0% de la energía demandada en 2003 puede ser suministrada por energía renovable. Así, se reducirían las emisiones en 26.5% respecto del escenario base situándose en 0.76 millones de toneladas en 2003. En el *escenario de eficiencia energética más energía renovable* se obtiene una disminución de las emisiones de CO<sub>2</sub> de 45.0% en el 2003. Los escenarios alternativos de esta rama industrial se muestran en la figura 4.14.



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

Figura 4.14.  
Escenarios alternativos de la industria Mexicana automotriz, 2003-2030.

<sup>192</sup> CEF, 2002. Análisis Económico y Fiscal del Sector Automotor en México, 1990-2001. Centro de Estudios de las Finanzas Públicas, Cámara de Diputados.

#### **4.5.2.13 Aluminio.**

El proceso de producción de aluminio es muy costoso, en gran parte por el consumo de energía como resultado del uso del proceso Hall para la reducción electroquímica de alúmina hidratada. Se consume aproximadamente medio kilogramo de carbón por cada kilogramo de aluminio producido. Basada en el voltaje teórico de la descomposición del  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , la energía requerida para la producción de Al es menos que 11 kWh/kg. Sin embargo el promedio de requisito de energía de la industria es de alrededor de 15 kWh/kg, y las celdas más avanzadas funcionan con 13 kWh/kg. Así, el alto costo de producir aluminio a partir del mineral hace muy atractivo el reciclaje. El requisito de energía para reciclar latas de bebidas, por ejemplo, es solo de alrededor del 5% de la cantidad necesaria para producir una cantidad equivalente de metal a partir del mineral. La energía ahorrada al reciclar una tonelada de aluminio es suficiente para proveer energía a una casa de tamaño promedio durante 10 años. En el 2002, se reciclaron alrededor de 53.000 millones de latas de bebidas en los Estados Unidos.

La iniciativa mundial de desarrollo sostenible del aluminio, publicada por el Instituto Internacional del Aluminio, aborda los asuntos de sustentabilidad de la industria del aluminio en una escala internacional. El informe destaca los objetivos comunes que la industria del aluminio aspira alcanzar:

- Reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero de los compuestos perfluorocarbonados (PFC) por tonelada de aluminio producido en 80% para la industria en su conjunto para el 2010 en relación con 1990.
- Reducción de las emisiones de fluoruro por tonelada de aluminio producido para la totalidad de la industria en al menos 33% para el 2010 en comparación con las cifras de 1990. La cifra a lograr se revisará después de 3 años.
- Reducción del 10% del consumo de la energía de fundición de la industria para el 2010 en relación con 1990.
- Implementación de Sistemas de Gestión para el Medio Ambiente (incluyendo normas ISO 14000 o certificaciones equivalentes) y para la Salud y la Seguridad en 95% de las fábricas miembros para el 2010.
- Control del rendimiento global del reciclado y uso de los datos para establecer objetivos voluntarios. Se desarrollará un programa de acción global para alentar un incremento en el volumen de metal de aluminio recuperado de la chatarra.
- Supervisión de los cargamentos anuales de aluminio para uso en el sector de transporte para rastrear la contribución del aluminio a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero del transporte carretero, ferroviario y marítimo mediante su peso liviano.

Estos esfuerzos reducirán el impacto ambiental de la producción. El segundo asunto es la emisión de gases de efecto invernadero. El oxígeno extraído de la alúmina en el proceso Hall oxida y consume el ánodo de carbono. El mejoramiento de la eficiencia de la producción de aluminio puede reducir substancialmente la emisión de  $\text{CO}_2$ . Los compuestos perfluorocarbonados, un potente gas de efecto invernadero, también se liberan en el ánodo.

### Escenarios.

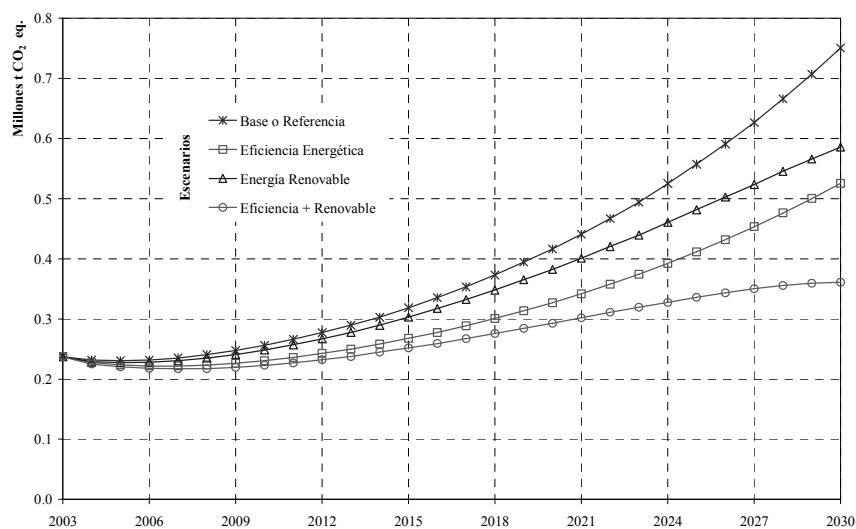
El *escenario base* muestra que en el 2030, las emisiones de CO<sub>2</sub> constituirán 0.75 millones de toneladas, creciendo a una tasa media anual de 4.3% tmca. Estas emisiones serán producto del consumo de gas natural y electricidad, los cuales constituyen el 99.4% de la demanda de energía final de esta rama industrial<sup>193</sup>.

En el *escenario de eficiencia energética*, el CO<sub>2</sub> se reduciría en 29.9%, lo que se traduce en 0.22 millones de toneladas menos en el año 2030. La causa de este decremento se debe al consumo de electricidad (77.4%). El crecimiento promedio anual de éstas emisiones es de 3.14% tmca. Los ahorros energéticos posibles calculados para esta rama industrial son:

Ahorro (%)	Aluminio	Gas licuado	Diesel	Gas natural	Electricidad
	18.93	76.70	100.00	64.87	46.23

El *escenario de energía alterna*, al igual que en escenarios anteriores, se considera que el 1.0% de la energía demandada en 2003 puede ser suministrada por energía renovable. De acuerdo a lo anterior se reducirían las emisiones en 26.5% respecto del escenario base situándose en 0.52 millones de toneladas en 2030.

En el *escenario de eficiencia energética más energía renovable* se obtiene una disminución de las emisiones de CO<sub>2</sub> de 45.0% en el 2003. Los escenarios alternativos de esta rama industrial se muestran en la figura 4.15.



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

Figura 4.15.  
Escenarios alternativos de la industria Mexicana de aluminio, 2003-2030.

<sup>193</sup> Las emisiones producidas por la industria del Aluminio en el 2003 son 0.23 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>.

#### 4.5.2.14 Hule.

El hule natural es utilizado y procesado por una rama industrial a la que da nombre: productos de hule, a la cual se clasifica en la estadística nacional dentro de la división de productos químicos. El análisis de la demanda del hule natural es, por tanto, un análisis de la estructura y comportamiento de esta rama. Del total de las empresas del sector, el 48.6% corresponden a micro, 40.9% a pequeña, 6.0 a mediana y 4.5% a gran industria, siendo esta última principalmente la productora de llantas. Por otra parte, del total de empresas existentes en el país 5% tenían capital extranjero mayoritario o minoritario, ocupaban el 32% del personal total y generaban el 48% del valor de la producción bruta total<sup>194</sup>.

El hule, natural y sintético, por su gran variedad de usos, está presente como insumo en una gran diversidad de industrias, entre las que destaca por el volumen utilizado la industria llantera. La producción de la rama es muy variada como hemos visto, entre sus principales productos se encuentran llantas y materiales para renovación de las mismas; partes automotrices; mangueras industriales y bandas transportadoras y de transmisión; productos farmacéuticos; empaques; suelas y tacones; hule pasillo y recubrimientos. Por lo anterior, la rama industrial se inserta en una amplia red de relaciones inter-industriales, sin embargo, los mayores valores como sector de destino se dirigen al principal sector demandante que es el automotriz, tanto en sus equipos originales como de reemplazo y, en menor medida, otros sectores como los del calzado, de artículos para uso industrial y farmacéutico.

Se aprecia una marcada dualidad en el desarrollo tecnológico del sector. Coexisten, por un lado, las grandes empresas llanteras, con un alto nivel tecnológico, y por otro lado, pequeñas y micro industrias que presentan importantes rezagos. Las empresas llanteras en México adquieren las nuevas tecnologías por vía de sus matrices extranjeras, o bien, a través de compra directa de tal forma que la calidad de las llantas producidas en México cumple con los estándares más elevados a nivel mundial.

#### Escenarios.

El *escenario base* muestra que las emisiones de CO<sub>2</sub> se incrementan desde 0.37 millones de toneladas en 2003 hasta 0.66 millones de toneladas en 2030 a una tasa de crecimiento media anual de 2.1% tmca. Los consumos de gas natural (45.8%), diesel (24.9%) y electricidad (21.3%) serán los responsables del incremento del CO<sub>2</sub> en esta rama industrial.

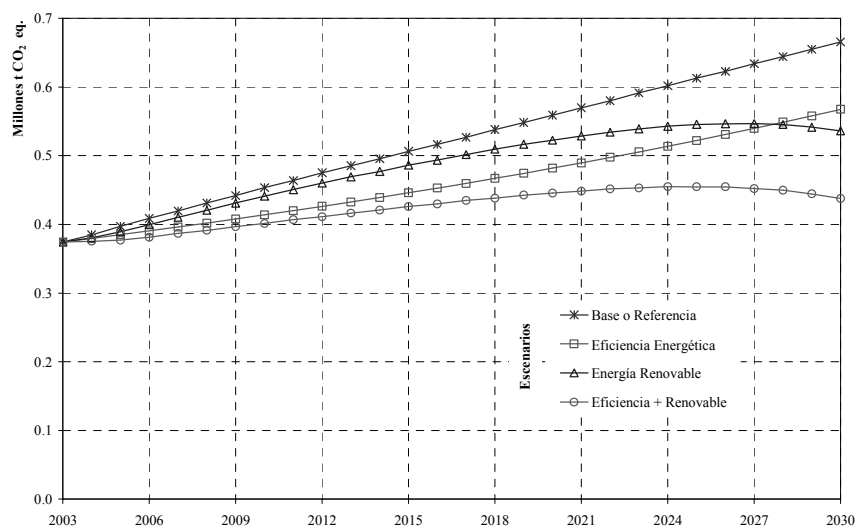
En el *escenario de eficiencia energética*, se observa que los consumos de gas natural, diesel y electricidad se reducen en 21.0, 8.3 y 9.0% por lo que las emisiones decrecen en 14.7% en el 2030. Las emisiones de esta rama crecen a una tasa media anual de 1.5%. Los ahorros energéticos posibles calculados para esta rama son:

Ahorro (%)	Hule	Gas licuado	Diesel	Combustóleo	Gas natural	Electricidad
	13.36	18.15	8.31	18.97	21.03	9.09

<sup>194</sup> Grupo Consultor Independiente, S. C., 1996. Alternativas de comercialización nacional e internacional del Hule Mexicano.

Para el *escenario de energía alterna* se sigue que el 1.0 % de la energía de uso final requerida por la industria puede ser suministrada por un tipo de energía alternativa. Se obtiene que las emisiones de CO<sub>2</sub> se reducirían en un 19.4% en el 2030, lo cual se traduce en una reducción de 0.12 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> en el año 2030. Las emisiones crecerían a razón de una tasa promedio anual de 1.3%.

En cuanto al *escenario de eficiencia energética más energía renovable* se obtiene que los dos esfuerzos conjuntamente alcanzarían una reducción de 34.2% en el año 2030. Los escenarios alternativos para esta industria se muestran en la figura 4.16.



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

Figura 4.16.  
Escenarios alternativos de la industria Mexicana de hule, 2003-2030.

#### 4.5.2.15 Fertilizantes.

La industria Mexicana de fertilizantes pasó a manos del estado a través de FERTIMEX (Fertilizantes Mexicanos) hacia fines de los 60s, con el objeto de impulsar la producción, comercialización distribución y abastecimiento a los productores agrícolas, estableciendo una política de precios oficiales únicos a nivel nacional, buscando incentivar el uso de los fertilizantes. Sin embargo, en 1991 y 1992 se realizó la privatización de FERTIMEX, pasando las diversas unidades industriales que conformaban su estructura a grupos de inversionistas nacionales y extranjeros. A partir de la privatización de FERTIMEX, la producción nacional de fertilizantes se concentró en productos nitrogenados que incluyen principalmente la urea, sulfato de amonio y nitrato de amonio; productos fosfatados que incluyen el superfosfato de calcio simple, superfosfato de calcio triple y fosfato diamónico (DAP).

El consumo de fertilizantes en el país en 1980 fue de 2.8 millones de toneladas, y en 1990 de 3.8 millones de toneladas., representando un incremento del 34.5%, de este consumo en promedio, el 80% se destinó a cubrir las demandas del ciclo agrícola primavera-verano y el 20% restante al ciclo otoño-invierno. El fertilizante nitrogenado de mayor producción en 1995 fue la urea, representando el 35%

del total de la producción total, mientras que el fosfato diamónico representó el 13%. Con el cierre parcial de las plantas productoras de fertilizantes de urea y nitrato de amonio en el año de 1997, la producción de estos productos en el 2000 disminuyó un 46% con respecto a 1995<sup>195</sup>.

La industria de los fertilizantes nitrogenados es un gran consumidor de energía. La capacidad de producción mundial es de alrededor de 100 millones de toneladas de nitrógeno con un consumo de energía estimado del 1% del uso mundial de energía primaria. La producción de amoníaco es el paso de la producción que consume mayor intensidad de energía en la fabricación de fertilizantes. En los Estados Unidos, la producción de amoníaco es de 16,3 millones de toneladas y alrededor del 80% se destina a la producción de fertilizantes. El mercado mundial de fertilizantes crece lentamente, y el crecimiento surge principalmente en los países en desarrollo.

#### *Escenarios.*

El *escenario base* para esta rama industrial muestra que las emisiones de CO<sub>2</sub> se incrementarán en 170.3% lo que significa que las emisiones pasarán de 0.19 millones de toneladas en 2003 a 0.51 millones de toneladas en 2030. El incremento de estas emisiones se da a una razón de 3.75% tmca, en la cual los consumos de combustóleo y gas natural son los principales insumos energéticos que generan el 82.4% de las emisiones totales de esta rama industrial para este escenario.

En el *escenario de eficiencia energética*, el crecimiento de las emisiones se mitiga mediante la disminución de la demanda de gas natural en 33.3% y del combustóleo en 16.8% en el 2030. Esto nos lleva a una reducción de 23.4% respecto del año base en 2030. Las emisiones crecerían a un promedio anual de 2.7% tmca. Los ahorros energéticos posibles calculados para esta rama son:

Ahorro (%)	Fertilizantes	Diesel	Combustóleo	Gas natural	Electricidad
	43.37	61.85	16.80	33.38	20.14

El *escenario de energía renovable* presenta una reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> en 16.1% en el año 2030, de las cuales el combustóleo sería responsable del 62.2%. La tasa media de crecimiento anual para esta rama en el período de 2003 a 2030 sería de 3.0%.

En cuanto al *escenario de eficiencia energética más energía renovable* las emisiones de CO<sub>2</sub> disminuirían en 39.5%, las cuales crecen a una tasa media anual de 1.83%. Los escenarios descritos para esta rama industrial se presentan en la figura 4.17.

<sup>195</sup> FERTIMEX, Comisión nacional de Petróleo, Gas y Petroquímica, Fabricantes de fertilizantes. [http://www.sagarpa.gob.mx/Cicoplafest/evol\\_ind.htm](http://www.sagarpa.gob.mx/Cicoplafest/evol_ind.htm)

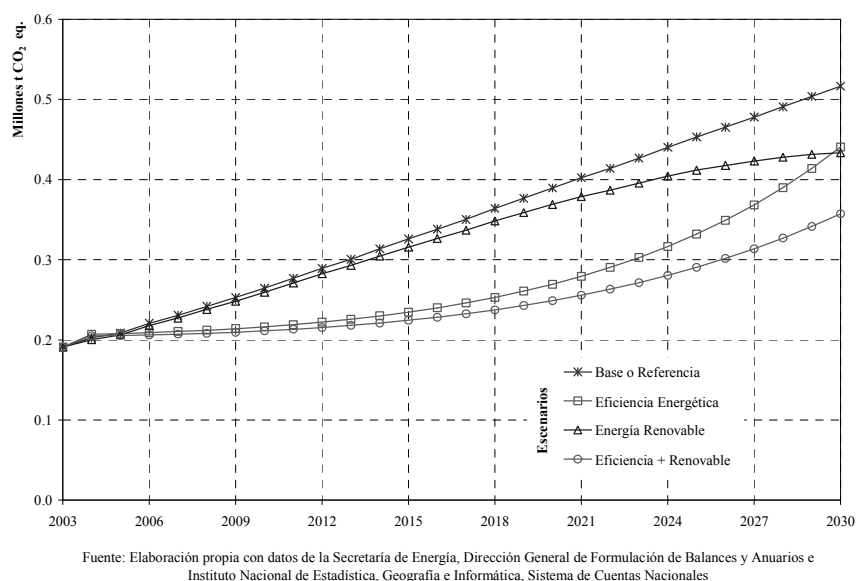


Figura 4.17.  
Escenarios alternativos de la industria de fertilizantes, 2003-2030.

#### 4.5.2.16 Tabaco.

La industria tabacalera Mexicana incluye tres actividades económicas: el beneficio del tabaco, que comprende actividades como secado, fermentación y añejamiento de las hojas; la producción manufacturera de cigarrros; y la de puros, que se clasifican como actividades distintas. De esas tres actividades, la fabricación de cigarrros es la que mayor porcentaje aporta al PIB de esta industria con alrededor del 90% del valor agregado, en segundo lugar está el beneficio de tabaco con una participación que ha fluctuado entre el 4% y el 11% entre 1990 y 2000; le sigue, de manera marginal, la fabricación de puros, la cual aporta únicamente el 0.7% al valor agregado de la industria<sup>196</sup>. La fabricación de cigarrros es la actividad que genera el mayor número de empleos en la industria del tabaco con alrededor del 50% del total. El 26% se genera en el beneficio del tabaco y el 24% restante en la fabricación de puros<sup>197</sup>.

El mercado nacional de tabaco es un duopolio con una importante inversión extranjera directa por parte de las dos principales tabacaleras a nivel mundial: Philip Morris y British American Tobacco, las cuales, asociadas con algunos inversionistas nacionales controlan el 99% del mercado nacional. La presencia de capital extranjero en la industria tabacalera Mexicana es relevante, ya que a partir de 1997 cuando se realizaron las inversiones más importantes en la industria con la adquisición del 100% de Cigarrera La Moderna por British American Tobacco, y del 49.99% de la Cigarrera La Tabacalera Mexicana (Cigatam) por parte de la estadounidense Philip Morris. La estrategia de las dos más

<sup>196</sup> CEFPE, 2002. Estudio económico y fiscal de la industria tabacalera de México, 1990-2001. Centro de Estudios de las Finanzas Públicas, Cámara de Diputados.

<sup>197</sup> INEGI, Censo económicos, 1999.



importantes empresas cigarreras mundiales es incrementar la producción de cigarrillos en México y alcanzar mayores exportaciones<sup>198</sup>.

### Escenarios.

El *escenario base* muestra que las emisiones se incrementarán desde 0.022 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> en 2003 a 0.029 millones de toneladas en 2030. El crecimiento promedio anual de estas emisiones será de 1.03%. La rama industrial consumirá 0.55 PJ en 2030, en donde se destacarán los consumos de gas natural y de electricidad como los principales responsables de las emisiones ocurridas para dicho año.

En el *escenario de eficiencia energética*, las emisiones de CO<sub>2</sub> se reducirían en 7.1% en el 2030. Este crecimiento se da a una tasa de 0.75% tmca. Los ahorros calculados para esta rama industrial son:

Ahorro (%)	Tabaco	Diesel	Combustóleo	Gas natural	Electricidad
	18.81	39.59	61.24	41.44	13.34

El *escenario de energía renovable* presentaría una reducción de las emisiones en 2030 de 12.7%, lo que se traduce en una disminución de 3.8 toneladas de CO<sub>2</sub>, las cuales crecerían a una tasa media de crecimiento anual de 0.5%.

Para el *escenario de eficiencia energética más energía renovable* se tendría que las emisiones de CO<sub>2</sub> se reducen en 19.9%. Los escenarios alternativos para esta rama industrial se muestran en la figura 4.18.

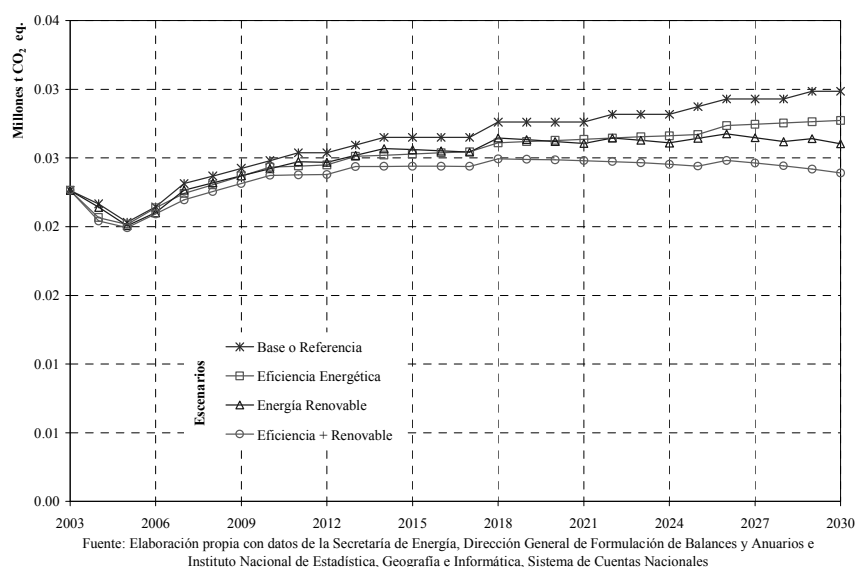


Figura 4.18.  
Escenarios alternativos de la industria Mexicana de tabaco, 2003-2030.

<sup>198</sup> CEFP, 2002.

#### 4.5.2.17 Otras ramas.

La energía utilizada en otras actividades industriales durante 2003, que no han sido detalladas en el análisis precedente, totalizó 406.3 PJ, cifra que representó 35.6% del total del sector industrial. El consumo estuvo integrado por 56.6% de electricidad, 27.1% de gas natural, 7.9% de gas licuado, 4.7% de diesel y 3.7% de coque de petróleo. Dentro de esta clasificación del sector industrial, se encuentran estructuras empresariales conocidas como Micro, Pequeñas y Medianas empresas las cuales son de gran importancia dentro de la industria manufacturera mexicana ya que aportan en su conjunto el 51.5% de la producción total.

#### Escenarios.

El *escenario base* muestra que este segmento nombrado como ‘otras’ ramas industriales representarán en el 2003, el 34.5% de las emisiones totales producidas por el SIM, y que en 2030 su representatividad en cuanto a la emisión de CO<sub>2</sub> se incrementará hasta significar el 49.2 %. Las emisiones crecerán a una tasa media anual de 3.3%.

El *escenario de eficiencia energética* muestra una reducción de sus emisiones de CO<sub>2</sub> en 29.26% por lo que se dejaron de emitir 16.1 millones de toneladas en 2030, respecto del año base. La tasa media de crecimiento anual presentada para este escenario alcanza 2.0% tmca. Los ahorros energéticos posibles calculados para esta rama industrial son:

Ahorro (%)	Otras ramas	Gas licuado	Diesel	Combustóleo	Gas natural	Electricidad
	16.82	42.76	50.48	100.00	65.80	24.44

El *escenario de energía renovable* presenta una disminución de emisiones de 12.6%, al considerar que el 1% de la energía total requerida es suministrada por energía renovable. Las emisiones en 2030 son de 48.1 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>. Estas emisiones se alcanzan a una tasa de crecimiento anual de 2.8%.

En cuanto al *escenario de eficiencia energética más energía renovable* se obtiene que con la participación conjunta de los dos efectos, las emisiones de CO<sub>2</sub> se reducen en 41.9%, lo que representa una disminución de 23.1 millones de toneladas en el año 2030 respecto del escenario base.

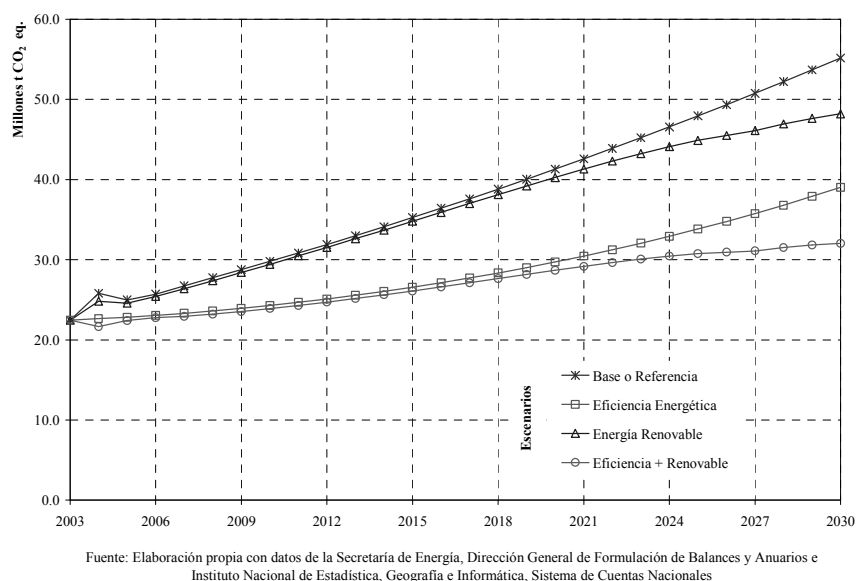


Figura 4.19.  
Escenarios alternativos de la industria Mexicana de 'otras' industrias, 2003-2030.

## 4.6 Resultados.

La conformación de los escenarios alternativos de cada rama industrial de uso intensivo de energía en el sector industrial Mexicano, ha permitido visualizar un futuro en el 2030 con una menor emisión de CO<sub>2</sub> y a la vez concebir la idea de que el potencial de ahorro de energía, no sólo con base en tecnología que utiliza energía fósil sino también con tecnología final de energía renovable puede ser altamente aprovechable dentro de la industria nacional, al nivel de lo realizado por países altamente industrializados y desarrollados.

El escenario de eficiencia energética muestra que las emisiones de CO<sub>2</sub> se podrían reducir, considerando ahorros en el consumo de combustible por cada rama en particular. Los ahorros energéticos en el uso de combustóleo producen un efecto mayor en el total de las emisiones finales en comparación con el uso de los otros insumos demandados por cada rama industrial. Las emisiones de CO<sub>2</sub> en el 2030, de acuerdo a los ahorros energéticos calculados, serían de 85.1 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> lo que significa una reducción del 24% (26.9 millones de toneladas) respecto a lo observado en el escenario base. Este ahorro se encuentra dentro de los parámetros internacionales, los cuales indican que existe en promedio, entre un 19 y 32% de ahorro de energía por el uso de tecnología altamente probada, así como prácticas de eficiencia energética<sup>199</sup>. Las reducciones de las emisiones de CO<sub>2</sub> son significativas en las industrias de la siderurgia, química, cerveza y malta y cemento, las cuales engloban el 26.0% (7.0 millones de toneladas) del CO<sub>2</sub> mitigado en el 2030.

El escenario de energía renovable presenta una reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> en 11.5% lo que significa 12.9 millones de toneladas que se dejarían de emitir respecto del escenario base. Las ramas industriales más significativas en cuanto a su cantidad de emisiones reducidas por uso de energía

<sup>199</sup> OECD-IEA, 2007. Tracking Industrial Energy Efficiency and CO<sub>2</sub> Emissions.

renovable son minería, siderurgia, celulosa y papel, azúcar y cemento, debido básicamente a que estas industrias son altamente consumidoras de electricidad. Así también, la industria automotriz presenta una reducción del 26.5% en sus emisiones, la industria de aguas envasadas observa un cambio de 23.5% y la industria azucarera en 29.2%. Estos resultados, muestran que la energía renovable y en particular la energía térmica solar aplicada en la industria pudiera constituirse como una contribución importante para un suministro energético fiable, limpio, seguro y rentable en el sector industrial. Además, en conjunto y más allá de un escenario tendencial, existen amplias oportunidades de mitigación de CO<sub>2</sub> identificadas y de posible aplicación en el sector industrial en un marco de crecimiento energético moderado acompañado de una penetración intermedia de tecnologías más limpias. Que esto sea posible, dependerá de que las condiciones políticas, jurídicas, normativas, sociales y financieras lo permitan, ya que en cada una de ellas existen obstáculos que frenan o impiden la construcción de un futuro sustentable. También, es necesario provocar un desarrollo tecnológico que posibilite el despliegue de las energías renovables, el hidrógeno y las tecnologías emergentes de transformación energética. Al mismo tiempo se debe impulsar la competitividad de la industria nacional de fabricación de sistemas de generación energética a partir de las fuentes renovables en un mercado global.

Por último, México contribuye con menos del 1.5% de las emisiones globales de CO<sub>2</sub> y figura entre los mayores emisores de los países en desarrollo y es altamente vulnerable a sus efectos, por lo que las estrategias que se adopten al mediano y largo plazos, en vías de una mitigación de las mismas, serán altamente significativas en los esfuerzos contra el cambio climático global. Los resultados mostrados en este estudio permiten vislumbrar que las emisiones industriales de CO<sub>2</sub> estarán ligadas directamente con los patrones futuros de la demanda y generación de energía. Para reducir o evitar estas emisiones será necesario formular líneas de acción enfocadas en estos dos campos: generación y consumo, sin dejar de lado el desarrollo económico del país y aprovechar las oportunidades para fomentar y adoptar mejores tecnologías que conduzcan al país al desarrollo de una política energética sustentable y una economía de bajo carbono.

## Resultados y conclusiones finales.

---

El análisis del uso final de energía, asociado a sus respectivas emisiones de bióxido de carbono en el sector industrial Mexicano, nos ha mostrado la influencia de los cambios organizacionales y estructurales en el comportamiento de los patrones de consumo de energía por rama de actividad económica industrial. El método presentado en el estudio se constituye como una herramienta útil para la investigación, diagnóstico, formulación y selección de políticas de mitigación, que auxilia y optimiza la toma de decisiones a nivel gubernamental en cuanto al desarrollo, implementación y puesta en marcha de propuestas técnicamente factibles en el camino del desarrollo sustentable.

El presente estudio provee información retrospectiva actualizada de los últimos cuarenta años de la transformación del sector industrial en México, que se ha visto influenciado por un sinnúmero de situaciones a nivel nacional e internacional. Dicho estudio retrospectivo se realizó en forma cualitativa y cuantitativa con el objetivo de identificar los factores que influenciaron el consumo energético y sus emisiones de CO<sub>2</sub> a nivel rama de actividad industrial y de todo el sector.

El análisis retrospectivo, empleó metodologías de descomposición basadas en índices económicos y energéticos. Ampliamente acreditadas y citadas dentro del área de investigación en planeación y política energética, las metodologías aplicadas se basaron en los índices de Laspeyres simple, Laspeyres refinado, y Divisia. La metodología de Laspeyres simple, fue desarrollada por el Laboratorio Nacional de Berkeley a cargo de la Agencia Internacional de Energía, la metodología de Laspeyres refinado fue propuesta por Sun (1998), y la metodología de media logarítmica basada en el índice Divisia fue propuesta por Choi y Ang (2011). Los resultados relevantes del estudio retrospectivo mediante la descomposición del consumo de energía de uso final y la descomposición de las emisiones de CO<sub>2</sub> del sector industrial Mexicano son:

Las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera por el consumo de energéticos de uso final pasaron de 18.5 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> en 1965 a 65.5 millones de toneladas en 2003, un incremento del 280%. Si bien, el aumento porcentual de las emisiones de CO<sub>2</sub> resultó altamente significativo durante el período, el análisis mostró que tal tendencia incremental obedeció al fomento del desarrollo industrial por parte del gobierno Mexicano en la etapa de 1965 a 1982. La disponibilidad de recursos energéticos y económicos provenientes del descubrimiento de reservas petrolíferas en la década de los 70s impulsaron un uso intensivo de energía bajo el amparo de la política pública prevaleciente, en esta etapa las emisiones de CO<sub>2</sub> se incrementaron a razón de 6.7% tmca. En las etapas posteriores 1982-1994 y 1994-2003 el incremento de las emisiones de CO<sub>2</sub> no sufrió cambios tan radicales como los mostrados en la primera etapa, 0.4% tmca y 0.5% tmca respectivamente. La inestabilidad del precio del petróleo, crisis económicas (1982, 1986, 1988, 1995, 2000), apertura de la economía del país a mercados internacionales, privatización de empresas paraestatales, y sobre todo mayor conciencia en el uso de recurso energéticos y humanos son algunos de los factores que influyeron el moderado cambio en las emisiones de CO<sub>2</sub> durante la década de los 80s y 90s.

La intensidad energética pasó de 11.8 MJ/USD1993 en 1965 a 8.71 MJ/USD1993 en 2003 a razón de -0.8% tmca, una disminución del 26% en el período. Puntualizando la intensidad energética como un indicador de eficiencia, es apreciable una sustancial mejora en el uso de energía para producir un dólar de producto interno bruto industrial. Este cambio se entiende como parte de una reforma tecnológica que se originó a partir de la década de los 80s con la reestructuración y desarrollo de la base industrial como primer paso hacia la apertura comercial del país. El gobierno Mexicano inició un plan para impulsar el crecimiento de industrias de carácter exportador, y a su vez abriendo la posibilidad de inversión privada, tanto nacional como extranjera, en industrias estratégicas de desarrollo nacional como la siderurgia, cemento, vidrio, azúcar y petroquímica entre otras. En algunos casos, industrias bajo el control del Estado como la siderurgia y azúcar, fueron favorecidas mediante diversos subsidios con el objetivo de mejorar su estructura organizacional y tecnológica previa a su privatización.

En cuanto a los factores de descomposición, se indica lo siguiente:

*Actividad:* Este factor mostró que las grandes industrias como petroquímica, química, cemento, siderurgia, celulosa y papel y minería manifestaron amplio crecimiento en cuanto a su volumen de producción reflejado en su incremento en la contribución al PIB industrial, así como en su respectivo consumo de energía y de emisiones de CO<sub>2</sub>. Aunque las industrias previamente indicadas desempeñaron un papel importante en la evolución de las emisiones de CO<sub>2</sub>, el cambio que influyó en forma determinante en el crecimiento de éstas, fue el experimentado por la industria petroquímica que creció pródigamente durante los 70s, sin embargo fue perdiendo significancia dentro de la estructura industrial como consecuencia de su apertura a la inversión privada a finales de los 80s. Sin embargo, a pesar de tal hecho, el impulso gubernamental otorgado a industrias de carácter exportador como automotriz, aluminio, vidrio, y 'otras' industrias no permitió que las emisiones CO<sub>2</sub> pudieran ser mitigadas durante el período de estudio.

*Estructura:* El análisis de descomposición de la energía mostró a las ramas industriales del azúcar, petroquímica, química, cemento y siderurgia como las más significativas. Las llamadas tradicionales ramas industriales de uso intensivo de energía se consolidaron como las principales industrias emisoras

de CO<sub>2</sub> dentro de la estructura de la industria Mexicana, sin embargo, también mostraron cierta contracción en sus emisiones totales producto de la reorganización e implementación tecnológica para enfrentar la creciente competencia a nivel nacional e internacional a consecuencia de la apertura comercial del país. Asimismo, se observa la importancia adquirida por la industria automotriz y ‘otras’ industrias tanto en el uso final de energía como en su aportación al producto interno bruto industrial, lo cual podría indicar una pérdida de representatividad de las grandes industrias en la estructura y desarrollo económico del país.

*Intensidad energética:* La descomposición del consumo de energía expone a las industrias del azúcar, petroquímica, química, cemento y siderurgia como las más activas en la disminución de la demanda de energía. En general, el análisis mostró que los cambios en la intensidad energética en las diversas industrias se debieron a un crecimiento de su respectivo producto interno bruto por encima del mostrado en cuanto a su consumo de energía. A pesar de las múltiples crisis económicas y contracciones económicas a lo largo del período de estudio, la implementación de procesos industriales capaces de utilizar combustibles alternativos a los tradicionales de origen fósil, reciclaje, programas de ahorro de energía, entre otros instrumentos en el uso energético ha propiciado una mejoría en la eficiencia energética industrial.

*Mezcla de combustibles de energía de uso final y generación de electricidad:* Si bien, no se aprecian cambios significativos a nivel sector y rama económica en comparación con los indicadores anteriores, el análisis mostro que las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas al consumo de electricidad se incrementaron considerablemente (1.0% a 20.1% de 1965 a 2003), además de la reducción del consumo de combustóleo de 28.0% a 14.9% en el período 1965-2003. Aunque el consumo de combustóleo como fuente de energía final ha descendido considerablemente a consecuencia de un mayor uso de gas natural y restricciones ambientales, el consumo de éste combustible es condicionado a la disponibilidad y costo de otros combustibles (preferentemente gas natural), principalmente en períodos de crisis o contracción económica.

Además, se concluye que el análisis retrospectivo muestra la importancia de la intensidad energética como factor mitigador de la demanda de energía de uso final y su influencia en la disminución de las emisiones de carbono, por lo que en futuros estudios deberá de ser tomada en cuenta en busca de incrementar sus efectos, sin que impida el crecimiento de las actividades económicas y de desarrollo de la economía nacional.

El proceso prospectivo, consideró la construcción de un escenario base y tres escenarios alternativos. El escenario base o de referencia se conformó utilizando una herramienta tradicional como lo es la aplicación de los modelos ARIMA. Se construyeron modelos para cada una de las 16 ramas de actividad industrial del SIM, utilizando la proyección estadística futura de las series de tiempo correspondientes a la mezcla de combustibles de cada rama industrial; en particular, con el fin de establecer el total del consumo de energía de uso final del Sector Industrial Mexicano. Para la toma de decisión de los modelos adecuados a la serie de tiempo analizada, se empleo la metodología de Box-Jenkins. Los resultados encontrados en el desarrollo del escenario base son:

Si las tendencias históricas se mantienen a mediano y largo plazos, las emisiones de CO<sub>2</sub> en el 2030 alcanzarán más de 112 millones de toneladas, siendo la participación de las industrias de uso intensivo de energía como siderurgia, química, cemento y minería altamente significativos. Además, se deberá tomar en cuenta la participación de las industrias de vidrio, cerveza y malta, aguas envasadas, automotriz, aluminio y ‘otras’ industrias las cuales emitirán en 2030 más del doble de las emisiones de CO<sub>2</sub> en relación a los niveles mostrados en 2003. Por lo tanto, las acciones, estrategias y planeación futura en vías de la mitigación de las emisiones de CO<sub>2</sub> deberá ser enfocada a tales industrias con el objetivo de alcanzar menores niveles de emisión, y auxiliar en los compromisos adquiridos a nivel internacional como lo es la reducción de 51 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> en el sector industrial al 2012, 30% de las emisiones totales de gases de efecto invernadero al 2020, y 50% al 2050.

La industria denominada como ‘otras’ industrias, integrada por 41 ramas de actividad industrial, emitirá la mitad de las emisiones producidas por el SIM en el 2030. Como parte del cambio hacia una economía de libre mercado a partir de mediados de la década de los 80s (GATT, 1986), la integración al mercado comercial más grande del mundo con Estados Unidos y Canadá (TLCAN, 1994), así como la firma del tratado comercial con la comunidad europea (CE, 2000) influyó el crecimiento de industrias manufactureras y de maquila orientadas a la exportación de diversos productos, de ahí que la tendencia de las emisiones de CO<sub>2</sub> emitidas presente un crecimiento considerable al 2030. El presente estudio no puede especificar y clasificar concretamente el tipo de actividad económica industrial de la cual forman parte las 41 ramas industriales que integran a ‘otras’ industrias’ por lo que en futuros estudios se tendrá que llevar a cabo un análisis exhaustivo de éstas con el objetivo de determinar estrategias específicas tendientes a minimizar su consumo de energía y emisiones asociadas, así como regular su desarrollo sin que resulte afectado su contribución al crecimiento económico del país.

El principal energético de uso final demandado por el SIM en 2030, será la electricidad. A medida que los procesos industriales tienden a modernizarse, el consumo de energía eléctrica aumenta considerablemente. Por lo tanto, la autogeneración de electricidad por parte de las diversas industrias podría ser una alternativa benéfica para mejorar el sistema eléctrico nacional, y colaborar en la disminución de emisiones contaminantes, siempre y cuando los mecanismos para la generación de electricidad se diversifiquen empleando para ello combustibles alternativos y renovables. Industrias como la azúcar, siderurgia, petroquímica, cerveza y malta, entre otras cuentan con esquemas de generación de electricidad.

De esta forma, se concluye que los modelos ARIMA presentan un pronóstico lo suficientemente robusto y sobre todo fácil de implementar y de entender. La proyección de futuros a mediano y largo plazos sirven de gran ayuda para visualizar e inferir razones sólidas acerca de las probables demandas de energía y su emisión de CO<sub>2</sub>, con el fin de proponer posibles caminos hacia una seguridad energética futura y con mayor responsabilidad institucional, social y ambiental. La proyección futura del consumo de energía es una herramienta que nos permite la posibilidad de inferir el comportamiento y funcionamiento, no solo de las emisiones asociadas a su consumo e implicaciones ambientales, sino también como parte de la evolución de la economía nacional. Además, pone de manifiesto la importancia de las políticas de eficiencia energética, regulación ambiental, y el rol de energías renovables en el marco de un futuro sustentable.



Los escenarios alternativos de eficiencia energética y de energías renovables han permitido visualizar un futuro en el 2030 con una menor emisión de CO<sub>2</sub> y a la vez concebir la idea de que el potencial de ahorro de energía, no sólo con base en tecnología que utiliza energía fósil, sino también con tecnología final de energía renovable, puede ser altamente aprovechable dentro de la industria nacional, así como lo están realizando los países altamente industrializados. Los resultados observados son:

- El escenario de eficiencia energética muestra que las emisiones de CO<sub>2</sub> se reducirían en el 2030, las emisiones mitigadas calculadas serían de 26.9 millones de toneladas, lo que significaría una reducción del 24% respecto a lo proyectado en el escenario base. Las reducciones de las emisiones de CO<sub>2</sub> serían significativas en las industrias de siderurgia, química, cerveza y malta y cemento las cuales englobarían el 26.0% (7.0 millones de toneladas) del CO<sub>2</sub> mitigado en el 2030. Aunque las tradicionales industrias de uso intensivo de energía como siderurgia, química y cemento son las que exponen una gran mejoría en sus respectivas emisiones de CO<sub>2</sub> como producto de su capacidad económica para la implementación de estrategias tendientes a la conservación y ahorro de energía, la proyección futura nos muestra que industrias tales como cerveza y malta, celulosa y papel, vidrio y ‘otras’ industrias pueden ser susceptibles de mayores estímulos en el incremento de su eficiencia energética. Estas industrias han incrementado su importancia dentro del sector industrial Mexicano así como en la economía nacional debido al sistema económico prevaleciente basado en un libre mercado internacional, por lo tanto, reforzar su competitividad y eficiencia terminal otorgaría mayor seguridad y estabilidad en el crecimiento sustentable del país.
- El escenario de energía renovable presenta una reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> en 11.5%, lo que significa 12.9 millones de toneladas que se dejarían de emitir respecto del escenario base. México cuenta con un gran potencial de energía renovable, la cual permitiría disminuir la dependencia a los combustibles de origen fósil, sin embargo, existen barreras institucionales, legales, financieras y tecnológicas a las que debe sobreponerse para alcanzar un desarrollo necesario en virtud de un, no tan lejano, límite de reservas petroleras del país, lo cual pondría en serio riesgo la seguridad energética y el desarrollo de las actividades económicas y comerciales del país. Además, los objetivos adquiridos en la lucha contra el cambio climático podrían ser favorecidos mediante el uso de energía renovable como la solar, térmica, fotovoltaica, geotérmica, etc., y al mismo tiempo influiría en el ahorro de costos, mejora de servicios, creación empleo, etc.
- El escenario de eficiencia energética más energía renovable muestra una reducción de 37% de las emisiones de CO<sub>2</sub> respecto del escenario base en el año 2030. Este escenario muestra que la acción conjunta de estrategias de eficiencia energética y uso de energía renovable podría ser un medio oportuno al constante incremento de las emisiones de CO<sub>2</sub> y demás gases de efecto invernadero. Para ello, sería necesario el establecimiento de estrategias de promoción, desarrollo e investigación a mediano y largo plazos que permitieran el desarrollo de esquemas tecnológicos basados en energía renovable, así como también planes de financiamiento e inversión que faciliten la introducción de nueva tecnología.

Por último, se concluye que las emisiones industriales de CO<sub>2</sub> ligadas directamente con la demanda energética futura serán una importante materia de estudio en el mediano y largo plazos debido a la necesidad de reforzar la seguridad energética y la mitigación de emisiones de gases efecto invernadero. Transitar hacia los escenarios alternativos será fundamental para cumplir con los convenios y compromisos contraídos por el gobierno Mexicano en relación a la mitigación de los efectos nocivos al ambiente de los desechos industriales, y contra el cambio climático mundial. Es imprescindible exigir una mayor conciencia y esfuerzo a las industrias de uso intensivo de energía en la búsqueda e implementación de programas de conservación energética, ahorro de energía y sustitución de energéticos de origen fósil, con la finalidad de ayudar a reducir sus demandas de energía y emisiones de bióxido de carbono asociadas, sin que tales desarrollos afecten el crecimiento de la economía nacional. También, se aprecia que la participación del gobierno será fundamental en el proceso de implementación de estrategias tendientes a maximizar las oportunidades de mitigación de CO<sub>2</sub> en un marco de crecimiento energético moderado acompañado de una penetración constante de tecnologías con menor impacto ambiental, dentro de una política energética sustentable.

## Recomendaciones y trabajos futuros.

---

El presente trabajo de tesis comprendió tres áreas de estudio:

- Análisis de índices mediante metodologías de descomposición,
- Pronósticos de series de tiempo a través de la selección de modelos ARIMA y
- Creación de escenarios posibles.

En relación al primer punto, la metodología de descomposición de indicadores agregados y desagregados asociados al grupo de análisis de descomposición de índices (IDA) se empleó con base en dos metodologías ampliamente recurridas a nivel internacional como lo son el método refinado de Laspeyres (RLIM) y el método de Divisia y media logarítmica (LMDI), sin embargo en los últimos años el grupo asociado a la metodología de análisis de descomposición estructural (SDA) ha tomado fuerza en la elaboración de estudios que muestran los cambios subyacentes de variables físicas como el consumo de energía, emisiones de CO<sub>2</sub> y determinantes económicos. Algunos de estos estudios han mostrado que el nivel de agregación de las industrias puede influir en los resultados de descomposición obtenidos por lo que la elaboración de un estudio basado en una metodología SDA sería recomendable. Si bien un análisis de descomposición IDA comprende como parte principal el factor explicativo del crecimiento de las variables, la descomposición SDA no sólo incluye tal característica sino también puede explicar con mayor detalle la interacción entre las variables debido al uso de datos basados en tablas insumo-producto. La fortaleza de un análisis SDA radica en la capacidad de distinguir directa o indirectamente la influencia en los cambios en la estructura económica producidos por cambios en la demanda y avances tecnológicos entre otros factores. El presente trabajo realizó un estudio basado en

IDA debido a la no disponibilidad de datos provenientes de tablas insumo-producto. Sin embargo con la implementación del nuevo sistema de contabilidad nacional denominado SCIAN se ha desarrollado la Matriz simétrica total de Insumo-Producto (MIP, 2003) con base en la clasificación SCIAN 2002 por lo que un estudio basado en un análisis SDA podría ser factible, siempre y cuando la clasificación SCIAN sea implementada como sistema de contabilidad principal en las instituciones oficiales. El análisis de descomposición SDA ofrecería una visión global y específica de los factores de crecimiento y desarrollo de la economía Mexicana en el marco de una economía basada el libre comercio donde el movimiento en cuanto a exportaciones e importaciones (petroleras y no petroleras) representan un gran porcentaje en la definición de estrategias y políticas para una proyección económica, política y social del país.

En el segundo punto, el desarrollo de pronósticos de series de tiempo utilizó un método tradicional como lo son los modelos ARIMA los cuales han demostrado ser un instrumento robusto para generar pronósticos confiables. Sin embargo, los modelos de pronóstico de series de tiempo se basan únicamente en datos anteriores y asume que los factores que influenciaron tales datos continuarán afectando su desempeño futuro. En este sentido, el desarrollo y aplicación de un modelo econométrico estructural o causal vendría a ser un complemento ideal a lo presentado en el presente trabajo de tesis. Los modelos causales capturan las relaciones estructurales entre los factores analizados. Si las causas del comportamiento de una variable dependiente son definidas por otras de carácter independiente estas pueden ser utilizadas en un pronóstico con alto contenido teórico. Así también podrían ser implementadas técnicas de inteligencia computacional como lógica difusa, algoritmos genéticos o redes neuronales que están siendo ampliamente utilizados en estudios de administración y pronóstico de la demanda de energía. La implementación de una técnica estadística, econométrica o computacional para el desarrollo de un modelo que interrelacione el consumo de energía, impacto ambiental y desarrollo económico apegado a la realidad económica y el conocimiento de los factores que influyen en su desempeño será una herramienta útil para la toma de decisiones y desarrollo de políticas.

El tercer punto corresponde a escenarios posibles los cuales contemplaron dos escenarios: energía renovable y eficiencia energética y mostraron en forma general el potencial de mitigación de energía y emisiones asociadas de CO<sub>2</sub> en dieciséis industrias representativas del sector industrial Mexicano. Estos escenarios no contemplaron a detalle aspectos económicos y financieros que conllevan una etapa de transición e implementación tecnológica, así también la magnitud de inversión para el desarrollo de tecnología y otras alternativas que hagan de México autosuficiente energéticamente y eficiente en el uso de recursos materiales y humanos, sobre todo considerando que los recursos de inversión son cada vez más escasos y que el agotamiento de reservas petroleras esta cada vez más cercano. Las inestabilidades económicas y comerciales, así como la influencia de políticas internacionales en el desarrollo de las diversas actividades económicas deberán ser tomadas en cuenta en la conformación de escenarios futuros a fin de proveer a la comunidad una visión más cercana a la realidad futura y a la vez poder inferir estrategias y posibles soluciones que eviten conflictos entre sectores económicos y pongan en riesgo el crecimiento nacional y seguridad de la población. Entre los puntos a considerar se encuentra la influencia y dependencia de las exportaciones a los Estados Unidos, ya que como se ha visto en el presente trabajo el decaimiento de la actividad económica en los E.U.A en los períodos de 2000-2003 y 2007-2009 ha afectado considerablemente y directamente el crecimiento económico y el

empleo en diversos sectores industriales, a la vez que los recursos energéticos han incrementado su precio en tales períodos agudizando el desarrollo de las actividades económicas del país. Además, dado que los ingresos económicos del país proveniente de las exportaciones no petroleras han superado a los ingresos de las exportaciones petroleras se deberá analizar el futuro de los avances tecnológicos en la industria y la diversificación de energéticos ya que de estos dependerá la mitigación de la demanda futura de energía y emisiones asociadas.

Por último, tanto los análisis de carácter retrospectivo y prospectivo deberán incluir factores de producción a nivel de agregación y desagregación tal que definan el estatus actual económico, comercial y tecnológico en vista de proponer medidas futuras de eficiencia energética y reducción de emisiones de gases efecto invernadero apegadas a las características específicas de cada industria.

## Anexos

### Anexo 1. Definición de las subramas del Sector Industrial Mexicano.

El Sector Industrial Mexicano se encuentra conformado de cuatro de las nueve grandes ramas en las que se encuentra dividida la actividad económica del país, los cuales son: Minería (II), Industria Manufacturera (III), Construcción (IV) y Electricidad, gas y agua (V), y de las cuales se desprenden 16 subramas de gran importancia en cuanto a su aportación al Producto Interno Bruto Industrial y Nacional y su consumo de energía final. Estas ramas, se definen para su estudio de acuerdo a la base de datos del Banco de Información Económica (BIE) y del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).

Subrama		Concepto
Aguas envasadas	22	Refrescos y aguas gaseosas
Aluminio	47	Industria básica de metales no ferrosos
Automotriz	56,57	Automóviles, Carrocerías, motores, partes y accesorios para automóviles
Azúcar	16	Azúcar
Celulosa y papel	31	Papel y cartón
Cemento	44	Cemento
Cerveza y Malta	21	Cerveza y Malta
Construcción	4	Construcción
Fertilizantes	36	Abonos y Fertilizantes
Hule	41	Productos de Hule

Minería	5,6,7,8,9,10	Extracción y beneficio de carbón y grafito y fab. de sus derivados, Extracción de petróleo crudo y gas natural, Extracción y beneficio de mineral de hierro, Extracción, benef. fund. y ref. de minerales metálicos no ferrosos, Explotación de canteras y extracción de arena, grava y arcilla, Extracción y beneficio de otros minerales no metálicos
Petroquímica básica	34	Petroquímica básica
Química básica	35	Química básica
Siderurgia	46	Industrias básicas de hierro y acero
Vidrio	43	Vidrio y productos de vidrio
Tabaco	23	Tabaco
Otras ramas		Se encuentra integrado por las ramas restantes del Sector Industrial (41 ramas).

### ***Aguas envasadas.***

#### *Rama 22. Refrescos y aguas gaseosas*

Comprende los establecimientos dedicados a la elaboración de refrescos embotellados, así como los dedicados al embotellado de aguas minerales, gasificados o no. Se consideran también, los que llevan a cabo la purificación y embotellado de agua natural.

### ***Aluminio.***

#### *Rama 47. Industrias básicas de metales no ferrosos*

La rama comprende los establecimientos que se dedican a la fabricación de productos primarios de metales no ferrosos, tales como: láminas, cintas, círculos, varillas, tubos, cañerías, alambre y piezas fundidas y extruídas de cobre, aluminio, plomo, estaño, zinc, níquel y otros metales no ferrosos y sus aleaciones, incluyéndose también la fabricación de soldaduras y los procesos de laminación, estirado, extruido y fundición, así como la fundición de piezas, siempre que emplee para ello, metal ya fundido.

### ***Automotriz.***

#### *Rama 56. Automóviles*

La rama comprende los establecimientos que se dedican a la fabricación y ensamble de vehículos automóviles, autobuses, camiones y tractocamiones.

#### *Rama 57. Carrocerías, motores, partes y accesorios para automóviles*

Se incluyen los establecimientos que se dedican a la fabricación de todo tipo de carrocerías, motores, accesorios, así como refacciones y partes para vehículos automóviles.

### ***Azúcar***

#### *Rama 16. Azúcar*

---

Comprende los establecimientos que se dedican básicamente a la fabricación de azúcar, realizando operaciones tales como molido y prensado de caña de azúcar, defección, clarificado, evaporado, carbonatado y sulfitado, cocido, cristalizado, centrifugado, cribado y refinado de la misma. Incluye, además a los establecimientos que se dedican a la destilación de alcohol etílico y a la fabricación de piloncillo o panela.

### **Celulosa y papel**

#### *Rama 31. Papel y cartón*

En esta rama se clasifican los establecimientos dedicados a la fabricación de pastas de celulosa a base de vegetales y/o pastas a base de papel y trapos, mediante operaciones tales como el corte, molido, cocido, lavado, desfibrado, tamizado, espesado y secado, así como aquellos que se dedican a la fabricación de papel y cartones de todo tipo, láminas de cartón y cartoncillo, incluso las impregnadas de petróleo, y envases de papel y cartón.

### **Cemento**

#### *Rama 44. Cemento*

Comprende los establecimientos dedicados a la fabricación de cemento de todo tipo: gris, blanco, puzolánico, etc., mediante la mezcla y tratamiento de arcilla, caliza y yeso. No se incluyen aquí productos de cemento ni de asbesto-cemento, los que se clasifican en la Rama 45.

### **Cerveza y malta**

#### *Rama 21. Cerveza y malta*

Se ubican dentro de esta rama los establecimientos dedicados a la fabricación de cerveza y malta, mediante la germinación artificial de la cebada.

### **Construcción**

#### *4. Construcción*

Esta Gran División está conformada exclusivamente por la Rama 60, Construcción, que, obviamente tiene el mismo alcance y se define por lo tanto, en los mismos términos. Comprende los establecimientos o unidades dedicados principalmente a la organización y/o realización, total o parcial de obras de ingeniería civil tales como edificios, de urbanización, de saneamiento, de electrificación, de comunicaciones y transportes, hidráulicas y marítimas. Incluye las nuevas construcciones, así como las reformas, ampliaciones, reparaciones y mantenimiento de todo tipo.

### **Fertilizantes**



---

### *Rama 36. Abonos y fertilizantes*

Comprende esta rama, los establecimientos dedicados a la fabricación de fertilizantes nitrogenados, fosfatados y potásicos puros, mixtos, compuestos y complejos. Además se incluye aquí la producción de otros fertilizantes, tales como sulfato de amonio, fosfato de amonio, superfosfatos y mezclas. Se excluyen las plantas productoras de amoníaco, ácido sulfúrico, fosfórico y nítrico no integradas al proceso de producción de abonos y fertilizantes, las que se clasifican en las Ramas 34 y 35.

### **Hule**

#### *Rama 41. Productos de hule*

Se clasifican en esta rama los establecimientos dedicados a la fabricación de llantas y cámaras para automóviles, bicicletas, motocicletas, camiones, maquinaria agrícola y aeronaves, así como cualquier otro tipo de equipo a partir de hule natural, sintético o recuperado. También se incluyen las actividades relativas a la vulcanización de llantas y cámaras, así como los establecimientos dedicados a la producción de calzado y otros artículos de hule, ya sea que estén destinados al consumo final o intermedio

### **Minería**

#### *2. Minería*

En este sector se incluyen los establecimientos que se dedican a la explotación de los recursos naturales del subsuelo, en tierra firme o en aguas territoriales, cuya característica es la de no ser renovables. Por lo tanto, comprende la extracción de minerales en estado sólido, líquido o gaseoso, de canteras y pozos de petróleo, así como aquellas actividades complementarias, tales como la trituración, molienda, lavado y clasificación de los minerales

*Rama 05.* Extracción y beneficio de carbón y grafito y fab. de sus derivados. Esta rama comprende todos los establecimientos dedicados a la extracción de antracita y carbones bituminosos, carbón parado y lignito, así como los dedicados a la trituración, pulverización, limpieza, cribado y clasificación de carbón, trabajen o no en unión con las minas a las que sirven. Abarca también la extracción de grafito en terrones, amorfo y/o cristalino, considerando asimismo los que han sufrido preparación mecánica. Además comprende la aglomeración de carbones y lignitos en briquetas y otros combustibles aglomerados, así como la destilación de carbón, en hornos de coque. Este último caso únicamente se excluye cuando la actividad no puede declararse separada de la fabricación de gas, hierro y acero.

*Rama 06.* Extracción de petróleo crudo y gas natural. Comprende los establecimientos que se dedican principalmente a la extracción de petróleo crudo y gas natural mediante la operación de pozos, separadores, rompedores de emulsión y equipo limpiador de sedimentaciones, incluida la destilación primaria, así como las restantes actividades necesarias para la comercialización y elaboración posterior del petróleo y gas natural. Se incluyen las actividades de prospección, sondeo y exploración, así como la operación de oleoductos y gasoductos. Estas últimas se clasifican en esta rama por carecerse de información desagregada que permita separarlas, para su transferencia a la Rama 64 Transporte.

*Rama 07.* Extracción y beneficio de mineral de hierro. Abarca los establecimientos dedicados a la extracción de mineral de hierro, hierro manganesífero, arenas ferruginosas, y/o el beneficio y otras operaciones de preparación de estos minerales. Se incluye la extracción de pirritas y pirrotitas.

*Rama 08.* Extracción, benef., fund. y ref. de minerales metálicos no ferrosos. Comprende los establecimientos dedicados a la extracción de minerales metálicos no ferrosos y/o a la elaboración, beneficio u otra preparación, así como la fundición y afinación de dichos minerales, tales como los de alto contenido de oro y plata, mercurio, antimonio, bismuto, cadmio, cobre, estaño, manganeso, plomo, zinc y otros.

*Rama 09.* Explotación de canteras y extracción de arena, grava y arcilla. Comprende los establecimientos que se dedican a la extracción de calizas, arcillas, arena y grava de todas clases, explotación de canteras en general y/o pulverización, tallado, trituración, etc., así como al beneficio primario de las mismas. También se incluye la extracción de caolín y la extracción y beneficio de sílice.

*Rama 10.* Extracción y beneficio de otros minerales no metálicos. Comprende los establecimientos dedicados a la extracción de minerales de azufre, extracción y/o beneficio de fluorita, explotación de sal y otros.

### ***Petroquímica básica***

#### *Rama 34. Petroquímica básica*

Comprende los establecimientos dedicados a la producción de sustancias químicas básicas derivadas del gas natural, el petróleo y el carbón, tales como hidrocarburos acíclicos; etano, hexano, etileno, propileno, etc., hidrocarburos cíclicos; tolueno; benceno, etc., e hidrocarburos alicíclicos; ciclohexano, ciclopropano, etc.

### ***Química básica***

#### *Rama 35. Química básica*

Los establecimientos clasificados en esta rama tienen como actividad principal la fabricación de productos químicos básicos, destinados principalmente a otras industrias de transformación. Genéricamente, los productos más importantes son ácidos, bases, sales orgánicas e inorgánicas y algunos productos petroquímicos secundarios que no son procesados en las plantas pertenecientes a Petróleos Mexicanos. Los establecimientos productores de colorantes, pigmentos y gases industriales también se clasifican en esta rama. Se excluyen las actividades relativas a la producción petroquímica básica, agroquímica y Carboquímica.

### ***Siderurgia***

#### *Rama 46. Industrias básicas de hierro y acero*

Comprende los establecimientos que se dedican a la fabricación de productos primarios de hierro y acero, incluyendo al proceso completo de transformación, desde la reducción de mineral y la fundición, hasta la fase de obtención de productos vaciados, laminados, forjados y laminados soldados.

### ***Vidrio***

#### *Rama 43. Vidrio y productos de vidrio*

Esta rama incluye los establecimientos dedicados a la elaboración de vidrio plano, espejos, fibra de vidrio, envases y ampollitas, y todo tipo de artículos de vidrio y cristal.

### ***Tabaco***

#### *Rama 23. Tabaco*

Quedan comprendidos en esta rama los establecimientos dedicados al beneficio del tabaco y los que fabrican productos a base del mismo.

## Anexo 2. Encadenamiento de series históricas del producto Interno Bruto.

*Construcción de la serie 1965 – 2003 del Producto Interno Bruto Industrial Mexicano. (PIB)*

El INEGI, cuenta con dos series de datos del PIB, la primera desde 1960 hasta 1994 con precios base de 1980, y la segunda correspondiente al período de 1988-2003 con precios base de 1993. La unión de ambas series se realizó utilizando el procedimiento de variación porcentual anual de los valores del Producto Interno Bruto o Valor Agregado Bruto como también se le denomina para formar una sola serie para el período 1965-2003 con precios base de 1993. La construcción es presentada a continuación.

El Sector Industrial se conforma de acuerdo a cuatro de las nueve grandes ramas en las que se encuentra dividida la actividad económica del país, los cuales son: Minería (II), Industria Manufacturera (III), Construcción (IV) y Electricidad, gas y agua (V). El tipo de cambio empleado para la conversión de Pesos Mexicanos a Dólares Estadounidenses fue de 3.12 como lo marca el COPAR para el año de 1993.

Año	Miles de pesos de 1980	Variación % anual	Miles de pesos de 1993	Variación % anual	PIB Industrial (Miles de pesos 1993)	PIB Industrial (USD 1993)
1960	367,604.0				59,620,585.9	19,109,162,149.7
1961	381,255.0	3.7			61,834,600.5	19,818,782,209.6
1962	398,395.0	4.5			64,614,485.5	20,709,770,989.0
1963	438,049.0	10.0			71,045,848.3	22,771,105,239.7
1964	504,487.0	15.2			81,821,227.5	26,224,752,411.4
1965	531,988.0	5.5			86,281,531.9	27,654,337,150.0
1966	576,725.0	8.4			93,537,291.2	29,979,901,037.0
1967	618,509.0	7.2			100,314,112.4	32,151,959,097.5
1968	666,347.0	7.7			108,072,813.6	34,638,722,296.2
1969	716,767.0	7.6			116,250,281.5	37,259,705,625.0
1970	764,866.0	6.7			124,051,313.5	39,760,036,389.2
1971	774,259.0	1.2			125,574,735.9	40,248,312,795.5
1972	845,326.0	9.2			137,100,878.7	43,942,589,317.2
1973	929,293.0	9.9			150,719,233.6	48,307,446,658.9
1974	986,766.0	6.2			160,040,606.4	51,295,066,152.3
1975	1,031,730.0	4.6			167,333,182.2	53,632,430,182.3
1976	1,081,482.0	4.8			175,402,309.2	56,218,688,860.9
1977	1,100,316.0	1.7			178,456,939.0	57,197,736,858.0
1978	1,215,649.0	10.5			197,162,451.0	63,193,093,269.2
1979	1,350,088.0	11.1			218,966,707.6	70,181,637,056.2
1980	1,464,383.0	8.5			237,503,869.5	76,123,035,103.8
1981	1,595,771.0	9.0			258,813,293.6	82,952,978,729.3
1982	1,562,834.0	-2.1			253,471,340.8	81,240,814,352.1
1983	1,423,034.0	-8.9			230,797,599.7	73,973,589,652.4
1984	1,490,176.0	4.7			241,687,158.5	77,463,832,862.6
1985	1,562,190.0	4.8			253,366,892.4	81,207,337,294.1
1986	1,474,165.0	-5.6			239,090,382.7	76,631,532,900.7

1987	1,522,802.0	3.3			246,978,671.2	79,159,830,523.9
1988	1,559,343.0	2.4	252,905,146.0		252,905,146.0	81,059,341,666.7
1989	1,644,919.0	5.5	268,421,254.0	6.1	268,421,254.0	86,032,453,205.1
1990	1,738,499.0	5.7	286,437,352.0	6.7	286,437,352.0	91,806,843,589.7
1991	1,796,862.0	3.4	296,065,490.0	3.4	296,065,490.0	94,892,785,256.4
1992	1,852,519.0	3.1	309,012,683.0	4.4	309,012,683.0	99,042,526,602.6
1993	1,856,307.0	0.2	309,897,073.0	0.3	309,897,073.0	99,325,984,935.9
1994			324,810,025.0	4.8	324,810,025.0	104,105,777,243.6
1995			299,376,868.0	-7.8	299,376,868.0	95,954,124,359.0
1996			329,650,548.0	10.1	329,650,548.0	105,657,226,923.1
1997			360,148,497.0	9.3	360,148,497.0	115,432,210,576.9
1998			382,907,718.0	6.3	382,907,718.0	122,726,832,692.3
1999			400,847,847.0	4.7	400,847,847.0	128,476,874,038.5
2000			425,301,526.0	6.1	425,301,526.0	136,314,591,666.7
2001			410,515,465.0	-3.5	410,515,465.0	131,575,469,551.3
2002			410,141,020.0	-0.1	410,141,020.0	131,455,455,128.2
2003			409,407,788.0	-0.2	409,407,788.0	131,220,444,871.8

Fuente: INEGI, Sistema de Cuentas Nacionales de México.

### Anexo 3. Producto Interno Bruto por rama de actividad económica industrial, 1965 a 2003.

Año	Azúcar	Petroquímica	Química	Cemento	Siderurgia	Aguas envasadas	Aluminio	Automotriz	Celulosa y papel
1965	322,363,140.6	22,445,198.0	180,444,343.8	201,003,847.9	600,114,058.0	492,728,439.6	333,531,808.6	793,018,163.1	317,068,994.3
1966	324,857,122.5	31,366,760.5	199,712,022.3	230,895,365.2	692,217,445.1	542,688,811.6	357,925,296.1	978,489,077.7	338,972,111.2
1967	373,798,851.7	42,548,990.5	218,345,895.5	265,237,397.4	744,730,234.3	595,857,647.9	332,664,741.5	1,018,623,330.3	363,243,132.6
1968	352,525,399.7	58,575,507.7	251,684,049.6	287,622,822.6	833,425,159.4	643,329,823.2	391,105,063.6	1,185,160,478.0	389,421,632.7
1969	384,073,204.2	66,810,796.2	305,303,970.5	319,241,405.4	874,738,716.1	750,584,199.8	434,863,049.6	1,330,230,467.3	435,135,345.2
1970	354,635,692.0	72,139,512.3	326,853,347.7	343,619,598.5	860,992,500.9	818,485,780.1	420,585,344.8	1,546,568,755.6	476,080,361.0
1971	383,561,618.2	82,958,420.7	339,212,549.4	352,254,925.7	864,101,318.0	705,207,348.1	421,163,389.5	1,713,505,912.4	463,319,986.6
1972	379,809,987.4	99,873,057.3	393,593,036.6	411,838,683.6	984,146,603.0	776,186,435.0	472,782,783.8	1,917,910,594.0	514,789,022.6
1973	419,202,110.9	110,207,536.9	438,719,967.6	465,975,542.9	1,069,058,509.7	863,797,152.9	535,789,659.2	2,374,854,393.1	587,700,749.6
1974	428,005,653.7	138,142,927.3	486,128,597.5	507,557,964.8	1,191,725,688.5	829,093,355.8	591,859,997.9	2,837,931,666.0	664,361,658.8
1975	410,611,729.0	149,204,050.0	473,896,156.9	555,450,818.2	1,207,119,951.3	1,019,374,930.0	567,293,097.0	2,898,399,717.6	623,778,406.2
1976	407,606,161.2	164,705,769.5	528,213,263.6	602,480,138.8	1,228,432,203.1	866,809,180.6	620,184,189.7	2,641,460,499.4	704,846,248.8
1977	407,179,839.5	163,050,638.0	608,579,764.4	633,102,337.7	1,321,996,359.7	980,087,612.5	595,501,679.7	2,496,990,523.8	733,030,890.3
1978	461,429,273.6	185,374,728.8	648,572,873.3	673,090,545.4	1,615,348,831.4	1,191,518,859.3	643,016,956.5	3,202,340,012.3	804,232,464.0
1979	469,252,276.5	214,763,405.3	677,220,868.9	726,430,297.5	1,713,594,941.4	1,437,653,903.0	749,897,426.8	3,751,685,927.7	881,551,124.5
1980	426,534,843.9	234,947,935.9	732,045,019.7	784,486,266.7	1,769,441,281.5	1,510,139,003.7	783,481,825.6	4,224,030,079.5	973,965,176.3
1981	422,612,684.4	278,909,843.5	784,714,232.8	866,854,003.5	1,847,049,340.9	1,561,474,431.9	835,910,482.5	4,980,247,399.7	997,874,434.6
1982	431,480,175.4	319,319,273.7	834,341,180.9	923,315,758.5	1,700,822,572.6	1,629,441,491.0	719,434,469.6	3,990,358,060.8	1,019,251,350.5
1983	511,181,014.0	399,653,705.4	882,003,332.8	826,865,795.8	1,602,164,450.7	1,544,842,800.8	665,213,874.0	2,848,998,586.1	998,137,535.1
1984	513,568,415.5	398,927,062.3	944,179,624.1	903,720,208.2	1,797,607,913.1	1,499,596,906.9	727,411,486.9	3,610,082,684.4	1,067,464,517.7
1985	537,006,378.0	414,913,210.5	993,743,191.7	994,723,272.2	1,792,401,580.9	1,611,303,846.2	772,325,562.3	4,505,836,533.9	1,140,968,220.9
1986	613,476,901.9	477,687,100.6	956,221,923.1	981,371,727.7	1,655,651,086.2	1,547,920,307.3	742,903,085.6	3,424,945,110.8	1,118,637,565.7
1987	635,730,893.7	559,878,509.1	1,003,820,694.5	1,130,430,761.0	1,761,613,055.4	1,504,114,948.4	945,160,936.3	3,881,555,568.9	1,155,767,624.2
1988	568,883,653.8	595,605,128.2	1,045,334,935.9	1,129,633,653.8	1,868,136,859.0	1,611,303,846.2	972,560,256.4	4,939,846,474.4	1,187,997,435.9
1989	555,908,012.8	696,430,769.2	1,084,970,512.8	1,147,053,846.2	1,911,701,282.1	1,908,839,743.6	997,561,538.5	5,805,474,679.5	1,337,296,474.4
1990	512,200,320.5	783,901,923.1	1,131,348,076.9	1,163,134,294.9	2,095,984,935.9	1,929,792,948.7	1,023,209,615.4	6,661,647,756.4	1,416,056,410.3
1991	616,006,089.7	687,082,692.3	1,145,894,871.8	1,215,394,871.8	1,997,413,141.0	1,967,041,346.2	972,818,910.3	7,592,670,192.3	1,473,323,717.9
1992	599,615,705.1	727,145,833.3	1,196,421,153.8	1,306,516,025.6	2,029,898,397.4	2,001,534,935.9	986,273,717.9	8,381,515,705.1	1,495,327,884.6
1993	682,933,653.8	667,718,910.3	1,177,022,756.4	1,340,016,346.2	2,139,520,833.3	2,097,774,359.0	971,725,641.0	7,715,361,859.0	1,461,668,589.7
1994	620,103,846.2	723,139,743.6	1,214,028,205.1	1,480,717,948.7	2,331,781,089.7	2,254,845,192.3	971,083,333.3	8,083,625,000.0	1,503,833,333.3
1995	728,622,115.4	754,436,859.0	1,249,154,807.7	1,212,708,012.8	2,588,691,346.2	2,183,285,576.9	848,670,512.8	6,958,386,859.0	1,525,012,500.0
1996	786,183,333.3	720,468,589.7	1,321,252,243.6	1,360,658,333.3	2,974,680,448.7	2,271,131,410.3	1,107,390,064.1	9,041,274,359.0	1,672,220,192.3
1997	769,673,397.4	635,668,269.2	1,429,532,371.8	1,421,887,820.5	3,320,521,474.4	2,308,028,205.1	1,216,017,628.2	10,378,991,346.2	1,752,425,961.5
1998	795,072,756.4	556,209,935.9	1,462,660,576.9	1,457,434,935.9	3,384,961,538.5	2,567,917,628.2	1,332,994,230.8	11,412,700,000.0	1,848,851,923.1
1999	765,655,128.2	482,760,897.4	1,537,033,653.8	1,499,700,641.0	3,418,468,269.2	2,691,975,641.0	1,318,820,833.3	12,512,385,897.4	1,965,801,923.1
2000	724,309,615.4	434,057,692.3	1,540,376,923.1	1,567,187,179.5	3,526,190,705.1	2,883,814,743.6	1,351,784,935.9	14,764,888,461.5	2,000,458,012.8
2001	864,825,641.0	396,511,217.9	1,404,093,589.7	1,501,365,384.6	3,183,727,564.1	2,909,585,897.4	1,346,273,717.9	13,985,762,179.5	1,949,377,243.6
2002	774,018,910.3	390,671,474.4	1,431,080,769.2	1,538,899,679.5	3,263,697,115.4	2,983,399,359.0	1,325,272,756.4	14,244,283,012.8	1,959,277,564.1
2003	813,493,910.3	417,266,025.6	1,474,718,589.7	1,549,672,115.4	3,475,336,859.0	3,071,756,410.3	1,302,817,628.2	13,543,023,717.9	1,987,592,948.7

Año	Cerveza y Malta	Construcción	Fertilizantes	Hule	Minería	Tabaco	Vidrio	Otras Ramas	PIB Industrial Nacional
1965	321,590,425.6	5,167,561,487.3	31,296,283.2	150,849,904.6	1,274,416,311.7	473,158,080.3	228,432,867.9	16,744,313,795.6	27,654,337,150.0
1966	365,044,866.7	5,916,369,586.7	38,130,103.0	165,609,732.6	1,323,471,842.1	501,737,753.6	275,878,077.3	17,696,535,062.7	29,979,901,037.0
1967	379,652,173.6	6,681,624,448.7	39,261,818.4	179,508,836.2	1,396,870,718.4	495,775,087.9	301,625,010.9	18,722,590,781.7	32,151,959,097.5
1968	391,089,970.5	7,175,309,915.4	46,443,858.4	194,459,936.2	1,458,624,834.0	533,915,587.2	354,320,823.4	20,091,707,434.7	34,638,722,296.2
1969	429,996,853.8	7,850,079,324.3	57,761,012.2	210,526,790.0	1,550,834,477.6	563,728,915.4	364,315,947.5	21,331,481,149.7	37,259,705,625.0
1970	457,420,005.4	8,228,580,935.1	57,412,792.1	217,030,040.3	1,622,942,418.9	595,906,749.0	402,145,594.4	22,958,636,960.9	39,760,036,389.2
1971	404,089,554.9	7,855,278,988.1	61,765,543.6	242,788,012.2	1,609,716,921.5	593,902,059.7	425,172,336.0	23,730,313,910.9	40,248,312,795.5
1972	480,387,469.0	8,861,583,479.7	75,999,041.0	263,891,697.1	1,687,304,750.2	620,991,066.6	471,605,380.9	25,529,896,229.5	43,942,589,317.2
1973	562,243,509.3	10,143,752,741.1	80,264,737.4	292,008,691.1	1,793,424,877.2	560,284,962.0	489,381,519.3	27,520,779,998.5	48,307,446,658.9
1974	656,961,329.3	10,841,638,046.5	83,311,663.5	316,905,938.7	2,029,665,984.1	589,481,462.8	519,050,590.3	28,583,243,626.8	51,295,066,152.3
1975	657,925,962.7	11,474,584,073.0	85,705,676.8	342,313,245.1	2,123,588,092.6	600,635,759.7	607,804,761.9	29,834,743,754.4	53,632,430,182.3
1976	659,166,205.8	12,010,149,440.2	95,455,840.1	380,886,445.6	2,257,818,988.1	621,864,905.5	661,892,300.5	31,766,717,080.5	56,218,688,860.9
1977	739,690,133.2	11,377,203,413.7	101,897,912.3	380,025,721.3	2,412,151,585.9	645,715,568.1	719,965,236.8	32,881,567,641.1	57,197,736,858.0
1978	780,801,893.1	12,789,194,714.7	94,150,014.7	466,958,876.4	2,732,962,108.8	689,047,698.7	790,437,187.7	35,424,616,230.6	63,193,093,269.2
1979	891,091,653.4	14,444,665,923.1	102,246,132.5	480,061,013.1	3,117,449,977.1	714,851,648.3	848,763,165.1	38,960,457,372.0	70,181,637,056.2
1980	957,467,623.2	16,229,959,171.2	109,341,117.4	556,792,991.2	3,794,927,401.6	739,678,954.4	927,332,431.8	41,368,463,980.2	76,123,035,103.8
1981	1,024,348,877.3	18,569,299,200.1	130,887,237.2	550,257,862.2	4,350,714,442.1	735,206,955.2	836,743,712.0	44,179,873,589.5	82,952,978,729.3
1982	996,879,790.8	17,258,023,125.4	178,767,503.6	601,773,805.9	4,728,457,833.6	752,375,320.1	755,833,815.0	44,400,938,824.7	81,240,814,352.1
1983	812,956,342.1	13,946,515,527.8	159,397,759.5	544,679,093.5	4,687,332,332.6	657,846,508.6	745,585,649.8	42,140,215,343.8	73,973,589,652.4
1984	845,202,661.1	14,694,871,482.5	171,977,211.3	601,104,353.7	4,788,815,631.8	696,706,639.9	769,371,514.8	43,433,224,548.6	77,463,832,862.6
1985	907,811,966.9	15,094,623,893.0	189,388,217.2	659,410,455.9	4,786,312,798.6	740,912,609.4	823,269,272.6	45,241,886,284.1	81,207,337,294.1
1986	939,323,327.0	13,537,268,079.1	177,461,678.2	568,683,738.1	4,589,352,999.8	691,566,410.9	763,614,829.4	43,845,447,029.4	76,631,532,900.7
1987	1,007,996,043.2	13,915,487,099.5	208,845,016.4	594,091,044.5	4,832,812,804.6	688,225,262.1	868,247,331.1	44,466,052,931.3	79,159,830,523.9
1988	1,039,783,012.8	13,859,082,051.3	199,530,128.2	623,929,487.2	4,850,754,166.7	664,271,794.9	863,882,371.8	45,038,806,410.3	81,059,341,666.7
1989	1,163,661,217.9	14,101,047,756.4	215,220,512.8	659,445,192.3	4,836,645,192.3	721,068,269.2	948,252,884.6	47,941,875,320.5	86,032,453,205.1
1990	1,229,257,051.3	15,397,478,205.1	207,861,217.9	677,807,051.3	5,000,786,217.9	734,399,679.5	1,023,768,589.7	50,818,209,294.9	91,806,843,589.7
1991	1,254,301,923.1	16,149,167,948.7	196,891,987.2	693,164,102.6	5,052,953,205.1	734,513,461.5	1,118,410,256.4	52,025,736,538.5	94,892,785,256.4
1992	1,349,941,666.7	17,228,694,230.8	140,795,833.3	711,100,641.0	5,116,372,115.4	721,414,423.1	1,143,310,256.4	53,906,648,076.9	99,042,526,602.6
1993	1,416,445,833.3	17,749,684,615.4	138,851,923.1	644,018,269.2	5,210,740,384.6	719,558,012.8	1,126,913,141.0	54,066,029,807.7	99,325,984,935.9
1994	1,467,528,205.1	19,246,055,128.2	156,902,564.1	678,361,217.9	5,342,865,705.1	691,457,051.3	1,161,677,243.6	56,177,772,435.9	104,105,777,243.6
1995	1,453,359,615.4	14,730,251,282.1	181,379,487.2	609,411,859.0	5,199,683,974.4	701,943,910.3	1,187,099,038.5	53,842,026,602.6	95,954,124,359.0
1996	1,532,158,012.8	16,169,439,743.6	203,689,102.6	715,836,538.5	5,621,234,935.9	733,832,051.3	1,292,253,846.2	58,133,523,717.9	105,657,226,923.1
1997	1,654,398,397.4	17,670,639,102.6	175,987,500.0	788,128,846.2	5,872,604,487.2	697,691,666.7	1,388,563,461.5	63,951,450,641.0	115,432,210,576.9
1998	1,788,690,705.1	18,417,074,359.0	154,868,910.3	885,809,935.9	6,033,412,820.5	785,995,833.3	1,505,254,166.7	68,336,922,435.9	122,726,832,692.3
1999	1,920,297,756.4	19,336,075,961.5	139,536,859.0	886,974,679.5	5,907,411,538.5	772,811,859.0	1,450,272,115.4	71,870,890,384.6	128,476,874,038.5
2000	1,996,132,692.3	20,147,161,217.9	104,792,307.7	904,749,679.5	6,132,633,974.4	732,569,230.8	1,506,329,807.7	75,997,154,487.2	136,314,591,666.7
2001	2,079,938,461.5	19,003,942,628.2	97,351,923.1	747,311,859.0	6,222,824,038.5	724,666,025.6	1,508,946,794.9	73,648,965,384.6	131,575,469,551.3
2002	2,166,148,717.9	19,412,032,051.3	62,694,551.3	700,612,820.5	6,248,143,910.3	692,589,102.6	1,635,406,410.3	72,627,226,923.1	131,455,455,128.2
2003	2,248,123,717.9	20,051,759,294.9	60,939,102.6	729,855,128.2	6,476,836,859.0	664,002,564.1	1,494,430,769.2	71,858,819,230.8	131,220,444,871.8

Fuente: 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.

#### Anexo 4. Calculo de Factores de Emisión de Carbón para el uso de electricidad.

$$FEC_e = \sum_i^n \frac{PJ_i}{PJ_t} \cdot FEC_i$$

$PJ_t$  - Consumo de combustible neto para generación de electricidad. (PJ)

$PJ_i$  – Consumo por tipo de combustible i empleado para generación de electricidad. (PJ)

$FEC_i$  - Factor de emisión de carbono para el tipo de combustible i. (t C/ TJ ó t C/PJ)

Ejemplo:

Para el año de 1970, contamos con los siguientes datos:

$PJ_t$  -77.61 PJ

Combustible	$PJ_i$	$PJ_i/PJ_t$	$FEC_i$ [t C/PJ]	$FEC_e$ [t C/PJ]
Gas Natural	58.52	0.7540	15300	11536.20
Combustóleo	80.71	1.039	21100	21922.90
Diesel	10.37	0.1336	20200	2698.72
Carbón	2.21	0.0284	26200	744.08
				36901.9

Factores de emisión de carbón para electricidad en el período de 1970-2003.

Año	ton C /PJ	ton C /TJ	Año	ton C /PJ	ton C /TJ
1970	36,923.48	36.92	1987	59,632.48	59.63
1971	42,137.79	42.14	1988	58,367.75	58.37
1972	43,264.17	43.26	1989	56,844.83	56.84
1973	44,102.38	44.10	1990	55,538.69	55.54
1974	46,086.37	46.09	1991	55,792.58	55.79
1975	52,364.61	52.36	1992	53,033.25	53.03
1976	50,620.72	50.62	1993	53,029.16	53.03
1977	48,850.24	48.85	1994	58,682.52	58.68
1978	54,018.29	54.02	1995	52,474.31	52.47
1979	52,179.46	52.18	1996	51,998.38	52.00
1980	55,267.27	55.27	1997	53,979.71	53.98
1981	48,890.50	48.89	1998	56,364.11	56.36
1982	51,457.38	51.46	1999	53,525.87	53.53
1983	54,234.71	54.23	2000	54,620.30	54.62
1984	53,853.14	53.85	2001	56,117.68	56.12
1985	52,449.67	52.45	2002	55,377.56	55.38
1986	57,447.14	57.45	2003	55,992.77	55.99

Fuente: Elaboración propia con datos del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, INEGI. Comisión Federal de electricidad. Dirección General de Programación y Presupuesto, Secretaría de Energía.



## Anexo 5. Factores de cambio en la demanda de energía de uso final en el Sector Industrial Mexicano para el período de 1965 a 2003 y etapas consideradas

Efecto Actividad Método de Laspeyres sin refinamiento.																			
Período	Azúcar	Petroquímica	Química	Cemento	Siderurgia	Aguas envasadas	Aluminio	Automotriz	Celulosa y papel	Cerveza y Malta	Construcción	Fertilizantes	Hule	Minería	Tabaco	Vidrio	Otras Ramas	Sector Industrial Mexicano	
1965-1982	125.24	15.18	37.95	37.18	109.67	2.29	2.30	5.99	20.13	5.33	0.63	3.33	1.90	42.93	0.51	18.16	205.98	634.70	
1982-1994	25.67	57.40	26.10	25.17	45.51	0.97	1.13	3.40	9.98	2.14	1.26	2.81	0.95	10.64	0.12	8.89	66.54	288.69	
1994-2003	26.65	18.78	30.96	27.27	47.40	2.30	1.06	1.72	11.98	3.06	1.77	3.31	1.10	13.63	0.11	7.06	70.75	268.92	
Método de descomposición perfecta.																			
1965-1982	93.32	66.78	49.47	48.03	108.17	2.28	1.49	7.14	21.75	5.18	1.75	4.95	2.08	34.95	0.39	19.50	180.42	647.65	
1982-1994	24.19	42.81	26.17	24.37	42.84	1.44	1.01	2.67	10.07	2.36	1.39	2.87	0.94	11.12	0.10	7.55	63.09	264.99	
1994-2003	24.96	11.18	26.76	25.08	44.66	2.24	0.97	1.82	9.64	3.23	1.67	1.88	1.19	12.82	0.09	6.63	77.33	252.16	
Efecto Estructura Método de Laspeyres sin refinamiento.																			
Período	Azúcar	Petroquímica	Química	Cemento	Siderurgia	Aguas envasadas	Aluminio	Automotriz	Celulosa y papel	Cerveza y Malta	Construcción	Fertilizantes	Hule	Minería	Tabaco	Vidrio	Otras Ramas	Sector Industrial Mexicano	
1965-1982	-35.18	30.10	11.24	10.82	-2.00	0.15	0.00	2.20	0.98	0.15	0.04	1.62	0.35	5.83	-0.12	1.18	-10.35	17.02	
1982-1994	11.08	156.47	12.57	22.49	11.30	0.27	0.21	7.02	5.37	1.13	-0.58	-3.15	-0.41	-4.47	-0.12	6.30	-2.99	222.49	
1994-2003	4.17	-39.10	-4.31	-17.77	33.21	0.71	0.26	2.18	2.23	2.53	-1.18	-8.80	-0.62	-2.00	-0.10	0.56	4.03	-24.00	
Método de descomposición perfecta.																			
1965-1982	-71.46	87.90	22.44	21.47	-3.95	0.27	-0.57	3.78	2.00	0.28	0.25	3.23	0.64	7.87	-0.24	2.36	-18.46	57.79	
1982-1994	11.20	100.08	13.44	22.05	11.69	0.45	0.21	4.97	5.74	1.32	-0.79	-4.43	-0.49	-5.70	-0.14	5.53	-3.25	161.89	
1994-2003	4.32	-34.60	-4.26	-20.19	32.35	0.75	0.26	2.24	1.97	2.72	-1.38	-8.31	-0.83	-2.16	-0.11	0.59	4.95	-21.71	
Efecto Intensidad Energética Método de Laspeyres sin refinamiento.																			
Período	Azúcar	Petroquímica	Química	Cemento	Siderurgia	Aguas envasadas	Aluminio	Automotriz	Celulosa y papel	Cerveza y Malta	Construcción	Fertilizantes	Hule	Minería	Tabaco	Vidrio	Otras Ramas	Sector Industrial Mexicano	
1965-1982	3.52	6.50	0.48	0.28	0.46	-0.14	1.86	-0.69	0.64	-0.30	1.02	0.03	-0.13	-11.97	0.00	0.17	-17.15	-15.41	
1982-1994	-20.02	-172.09	-11.07	-24.12	-28.96	2.96	-1.01	-8.81	-4.31	0.37	1.59	4.49	0.38	8.52	0.03	-13.95	-21.71	-287.71	
1994-2003	-16.67	-30.15	-28.61	-1.08	-48.37	-1.15	-0.91	-1.18	-19.57	-1.08	0.47	-4.03	1.45	-4.38	0.00	-3.81	46.02	-110.86	
Método de descomposición perfecta.																			
1965-1982	4.73	41.42	1.25	0.72	0.88	-0.30	3.10	-1.93	1.34	-0.61	2.17	0.11	-0.32	-27.17	0.01	0.37	-31.85	-6.07	
1982-1994	-24.29	-274.71	-13.52	-31.12	-34.24	3.51	-1.18	-13.09	-5.30	0.46	1.69	4.29	0.40	9.12	0.03	-17.57	-24.60	-420.11	
1994-2003	-19.24	-24.48	-31.72	1.11	-59.85	-1.35	-1.07	-1.56	-22.68	-1.35	0.49	-2.92	1.52	-4.85	0.00	-4.35	52.41	-119.88	
Cambio en la demanda total de energía final Método de Laspeyres sin refinamiento.																			
Período	Azúcar	Petroquímica	Química	Cemento	Siderurgia	Aguas envasadas	Aluminio	Automotriz	Celulosa y papel	Cerveza y Malta	Construcción	Fertilizantes	Hule	Minería	Tabaco	Vidrio	Otras Ramas	Sector Industrial Mexicano	
1965-1982	93.57	51.78	49.66	48.27	108.14	2.29	4.16	7.51	21.76	5.18	1.69	4.98	2.12	36.79	0.39	19.52	178.48	636.31	
1982-1994	16.73	41.78	27.60	23.53	27.85	4.20	0.34	1.60	11.05	3.64	2.27	4.16	0.92	14.69	0.03	1.24	41.84	223.47	
1994-2003	14.15	-50.47	-1.96	10.58	32.24	1.87	0.41	2.73	-5.36	4.51	1.06	-9.51	1.94	7.26	0.01	3.81	120.80	134.05	
Método de descomposición perfecta.																			
1965-1982	26.58	196.10	73.17	70.23	105.11	2.25	4.02	8.99	25.08	4.85	4.16	8.28	2.40	15.65	0.16	22.22	130.11	699.37	
1982-1994	11.10	-131.81	26.10	15.30	20.29	5.41	0.04	-5.46	10.51	4.14	2.29	2.72	0.86	14.54	-0.01	-4.48	35.24	6.77	
1994-2003	10.04	-47.90	-9.23	6.01	17.17	1.64	0.16	2.50	-11.07	4.59	0.78	-9.34	1.89	5.81	-0.02	2.86	134.69	110.57	
Residual Método de Laspeyres sin refinamiento.																			
Período	Azúcar	Petroquímica	Química	Cemento	Siderurgia	Aguas envasadas	Aluminio	Automotriz	Celulosa y papel	Cerveza y Malta	Construcción	Fertilizantes	Hule	Minería	Tabaco	Vidrio	Otras Ramas	Sector Industrial Mexicano	
1965-1982	-66.98	144.32	23.50	21.95	-3.02	-0.04	-0.14	1.48	3.33	-0.33	2.47	3.30	0.28	-21.14	-0.23	2.70	-48.38	63.06	
1982-1994	-5.63	-173.59	-1.50	-8.23	-7.56	1.21	-0.29	-7.07	-0.54	0.49	0.02	-1.44	-0.07	-0.15	-0.04	-5.72	-6.60	-216.70	
1994-2003	-4.11	2.57	-7.27	-4.58	-15.07	-0.23	-0.24	-0.23	-5.71	0.08	-0.29	0.17	-0.05	-1.45	-0.03	-0.95	13.89	-23.48	
Método de descomposición perfecta.																			
1965-1982	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
1982-1994	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
1994-2003	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Cambio real en la demanda de energía final																			
Período	Azúcar	Petroquímica	Química	Cemento	Siderurgia	Aguas envasadas	Aluminio	Automotriz	Celulosa y papel	Cerveza y Malta	Construcción	Fertilizantes	Hule	Minería	Tabaco	Vidrio	Otras Ramas	Sector Industrial Mexicano	
1965-1982	26.58	196.10	73.17	70.23	105.11	2.25	4.02	8.99	25.08	4.85	4.16	8.28	2.40	15.65	0.16	22.22	130.11	699.37	
1982-1994	11.10	-131.81	26.10	15.30	20.29	5.41	0.04	-5.46	10.51	4.14	2.29	2.72	0.86	14.54	-0.01	-4.48	35.24	6.77	
1994-2003	10.04	-47.90	-9.23	6.01	17.17	1.64	0.16	2.50	-11.07	4.59	0.78	-9.34	1.89	5.81	-0.02	2.86	134.69	110.57	

Fuente: Elaboración propia con datos del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, INEGI. Comisión Federal de electricidad. Dirección General de Programación y Presupuesto, Secretaría de Energía.

## Anexo 6. Tecnologías emergentes de eficiencia energética empleadas en la industria.

Technology	Sector	Total Energy Savings <sup>1</sup>	Sector savings <sup>2</sup>	Simple Payback	Environ. Benefits	Other Benefits <sup>3</sup>	Suggested Next Steps
Advanced forming	Aluminum	medium	low	Immed.		P	R&D
Efficient cell retrofit designs	Aluminum	high	high	2.7	somewhat		dissemination
Improved recycling technologies	aluminum	medium	low	4.5	significant	P	demonstration
inert anodes/wetted cathodes	aluminum	high	high	4.0	significant	P	R&D
Roller kiln	ceramics	medium	high	1.9	significant	P	demonstration
Clean fractionation - cellulose pulp	chemicals	low	low	1.9	significant	P	demonstration
Gas membrane technologies-chemicals	chemicals	low	low	10.2	significant	P	dissemination
Heat recovery technologies – chem.	chemicals	medium	low	2.4		P	dissem., demo
Levulinic acid from biomass (biofine)	chemicals	low	low	1.5	significant	P	demonstration
Liquid membrane technologies – chem.	chemicals	low	low	11.2	significant		dissemination
New catalysts	chemicals	low	low	7.9	somewhat	P	R&D
Autothermal reforming-Ammonia	chemicals	high	low	3.7	significant	P	dissemination
Plastics recovery	plastics	medium	low	2.8	compelling		demonstration
Continuous melt silicon crystal growth	electronics	medium	high	Immed.	somewhat		R&D
Electron Beam Sterilization	food processing	high	high	19.2		Q, P	R&D
Heat recovery - low temperature	food processing	medium	low	4.8		P, Q	dissemination
Membrane technology - food	food processing	high	high	2.2	somewhat	P, Q	dissem., R&D
Cooling and storage	food processing	medium	low	2.6	somewhat	P, Q	dissem., demo
100% recycled glass cullet	glass	medium	high	2.0	significant		demonstration
Black liquor gasification	pulp and paper	high	high	1.5	somewhat	S	demonstration
Condebelt drying	pulp and paper	high	low	65.2		P	demonstration
Direct electrolytic causticizing	pulp and paper	low	low	n.a.	somewhat		R&D
Dry sheet forming	pulp and paper	medium	low	48.3	somewhat		R&D, demo
Heat recovery – paper	pulp and paper	high	low	3.9	somewhat		demonstration
High Consistency forming	pulp and paper	high	high	Immed.	somewhat		demonstration
Impulse drying	pulp and paper	high	low	20.3		P	demonstration
Biodesulfurization	pet. refining	low	low	1.8			R&D, demo
Fouling minimization	pet. refining	high	high	Immed.		P	R&D
BOF gas and sensible heat recovery	iron and steel	medium	low	14.7	significant		dissemination
Near net shape casting/strip casting	iron and steel	high	high	Immed.	somewhat	P, Q	R&D
New EAF furnace processes	iron and steel	high	high	0.3	somewhat	P	field test
Oxy-fuel combustion in reheat furnace	iron and steel	high	low	1.2	significant		field test
Smelting reduction processes	iron and steel	high	high	Immed.	significant		demonstration
Ultrasonic dyeing	textile	medium	low	0.3	compelling	P, Q	demonstration
Variable wall mining machine	mining	low	low	10.6		P, S	demonstration
Hi-tech facilities HVAC	cross-cutting	medium	high	4.0		P, Q	dissemination
Advanced lighting technologies	cross-cutting	high	high	3.0		Q, P, S	dissem., demo
Advanced lighting design	cross-cutting	high	high	1.3		P, Q, S	dissem., demo
Advance ASD designs	cross-cutting	high	low	1.1		P	R&D
Advanced compressor controls	cross-cutting	medium	low	0.0		Q, P	dissemination
Compressed air system management	cross-cutting	high	high	0.4		Q, P	dissemination
Motor diagnostics	cross-cutting	low	low	Immed.		P	dissem., demo
Motor system optimization	cross-cutting	high	high	0.8	somewhat	P, Q	dissem., training
Pump efficiency improvement	cross-cutting	high	high	3.0		P	dissem., training
Switched reluctance motor	cross-cutting	medium	low	7.4		P	R&D
Advanced lubricants	cross-cutting	medium	low	0.1	significant	P	dissemination
Anearobic waste water treatment	cross-cutting	medium	low	0.8	significant	P	dissem., demo
High efficiency/low Nox burners	cross-cutting	high	low	3.1	significant	P, Q	dissem., demo
Membrane technology wastewater	cross-cutting	high	low	4.7	significant	P	dissem., R&D
Process Integration (pinch analysis)	cross-cutting	high	low	2.3	somewhat	P	dissemination
Sensors and controls	cross-cutting	high	low	2.0	somewhat	P, Q	R&D, demo, dissem.
Advanced CHP turbine systems	cross-cutting	high	high	6.9	significant		policies
Advanced reciprocating engines	cross-cutting	high	high	8.3		P, Q	R&D, demo
Fuel cells	cross-cutting	high	high	58.6	Significant	P, Q	demonstration
Microturbines	cross-cutting	high	low	n.a.		P, Q	R&D, demo

Notes: 1. "High" could save more than 0.1% of manufacturing energy use by 2015, "medium" saves 0.01 to 0.1%, and "low" saves less than 0.01%.

2. "High" could save more than 1% of sector energy use by 2015, "medium" saves 0.1 to 1%, and "low" saves less than 0.1%.

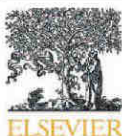
3. P=productivity, Q=quality, S=safety.

Fuente: Worrel E., Martin N., Price L., Ruth M., Lawrence Berkeley National Laboratory. Elliot N., Shipley A., Thom J., American Council for an Energy Efficient Economy. Emerging Energy Efficient Technologies for Industry.

## Anexo 7. Publicaciones.

Author's personal copy

Energy for Sustainable Development 16 (2012) 204–215



Contents lists available at SciVerse ScienceDirect

Energy for Sustainable Development

Decomposition analysis of CO<sub>2</sub> emissions in the Mexican industrial sector

Domingo González\*, Manuel Martínez

Centro de Investigación en Energía, Universidad Nacional Autónoma de México, Apartado Postal 34, 62580, Temixco, Morelos, Mexico

## ARTICLE INFO

## Article history:

Received 5 April 2011

Revised 17 January 2012

Accepted 17 January 2012

Available online 18 February 2012

## Keywords:

Mexican industrial sector  
CO<sub>2</sub> industrial emissions  
Mexican industrial branches  
Refined Laspeyres Index

## ABSTRACT

The paper presents a decomposition analysis to identify the factors that have influenced the changes in the carbon dioxide emissions in the Mexican industrial sector, as a whole, and from sixteen representative industrial branches during the period 1965–2003. By means of the Refined Laspeyres Index method for decomposing carbon dioxide emissions proposed by Sun (1998), the changes in CO<sub>2</sub> emissions from energy use are evaluated according to five effects: activity, structure, energy intensity, end-use fuel mix, and fuel mix to generate electricity. The analysis results show that effects of activity, structure, and fuel mix to generate electricity contributed to increase the CO<sub>2</sub> emissions by 71.1, 11.8, and 1.7 million tons of CO<sub>2</sub> equivalent respectively from 1965 to 2003; while energy intensity and end-use fuel mix mitigated them by 32.2, and 5.9 million tons of CO<sub>2</sub> respectively. The analysis is carried out in three stages: 1965–1982, 1982–1994, and 1994–2003 to show the influence of circumstances such as Mexican oil boom, economic crises, variation in oil prices and Mexico's opening up to international free trade on the growth of CO<sub>2</sub> emissions. The results show that industrial branches as petrochemical, chemical, iron and steel, cement, and others played a significant role in the total increase of 250% of industrial emissions of CO<sub>2</sub> from 1965 to 2003.

© 2012 Elsevier Inc. All rights reserved.

## Introduction

In terms of final energy consumption, the industrial sector is the second most important sector in the Mexican economy; its average share in final energy consumption over the period 1965–2008 has been 34.2% of the national energy consumption (25.5% in 2003). Formerly, in 1965, it occupied the first position with a share of 34.4% but has now been overtaken by the transport sector whose share went up from 29.0% in 1965 to 50.4% in 2008 (44.2% in 2003). From an economic point of view, the significance of the Mexican industrial sector (MIS) lies in its large economic contribution to the national Gross Domestic Product (GDP). The industrial GDP went up from 27.6 BUSD 1993 in 1965 to 131.2 BUSD 1993 in 2003 (BUSD 1993 – Billion United States Dollars at 1993 constant prices), and contributed an average share of 26.4% to the GDP from 1965 to 2003 to become the major contributor. Moreover, according to the Mexican National Institute of Statistics, Geography, and Informatics (INEGI), the Micro, Small, and Medium sized Enterprises (MSME) sector constitutes 99.0% of the total economic units of the country, and generates more than 70% of the employment. Thereby, it is a significant source of employment, and a large supplier of products and services to a wide range of industries that satisfy diverse needs such as food, public and private infrastructure, etc., which are required for

an industrial economy, or a portion of it, to function. From an energy point of view, the energy fuel mix demanded by the MIS is based on fossil fuels that produce a significant quantity of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>). The present analysis is carried out to understand the factors that have driven the CO<sub>2</sub> emission trends over the period 1965–2003, and present to the scientific community, an overall as well as specific retrospective view of the MIS.

Globally, strategies and policies developed and adopted by the governments have influenced the trends of CO<sub>2</sub> emissions, and have played an important role in the medium, and long-term planning of any country. In view of this, researchers, and policy-makers developed a useful tool called the decomposition methodology, using which they can understand, and estimate the contributions of selected driving forces on significant energy, economic, and environmental indicators over a period of time. Thereby, they can provide consistent and relevant information to the authorities to enable them to promote strategies intended to reduce energy consumption, mitigate CO<sub>2</sub> emissions, etc., and direct efforts towards energy policies that support sustainable development. To identify the factors that have influenced the increase in CO<sub>2</sub> emission in the MIS, and to provide a deeper understanding of these factors, the decomposition methodology referred to in the article published in Sun (1998) is applied. The characteristic of this decomposition methodology, based on Laspeyres index, also called Refined Laspeyres Index Method (RLIM), is that the interactions (residuals) are distributed equally amongst the main effects analyzed in accordance with the jointly created and equally distributed principle. The decomposition analysis provides the contributions of the main Mexican industrial branches to the total change in

\* Corresponding author at: Centro de Investigación en Energía, Privada Xochicalco S/N, Temixco, Morelos, Mexico. Tel.: +52 55 56229791; fax: +52 55 56229791.  
E-mail address: dogoz@cie.unam.mx (D. González).

CO<sub>2</sub> emissions in the MIS over the period 1965–2003. The industrial branches analyzed are: aluminum, automotive, sugar, pulp and paper, cement, beer and malt, construction, fertilizers, rubber, mining, petrochemical, chemical, iron and steel, glass, tobacco, and 'others'.

The paper is organized as follows: Literature review section presents a brief literature review regarding the use of the decomposition methodology at international and local level. Variables and methodology section describes and explains the variables, and the mathematical formulation of the method selected to decompose the changes in the carbon dioxide emissions in the MIS. Data section explains how the data were standardized to ensure their reliability with regard to the data published by official dependencies, and an overview of the Mexican industry. Results and discussion section shows the results of the decomposition analysis, and indicates relevant economic and energy factors to explain the findings over the studied period. Policy implications section provides the policy implications of the decomposition analysis. Finally, some concluding remarks are presented in the Conclusions section.

#### Literature review

At the international level, several studies for analyzing CO<sub>2</sub> emissions related to energy use over particular periods of time have been undertaken by different authors. It is observed in studies conducted by Liu and Ang (2007), Ang (2004), and Ang and Zhang (2000), among others that decomposition methodology analyses have been widely adopted to understand the factors behind of many economic sectors to help, and promote policies suitable for sustainable development. Hoekstra and Van der Bergh (2003), and Liaskas et al. (2000) presented a classification of the decomposition methodologies related to energy consumption and carbon dioxide emissions as follows: (a), Techniques based on an input-output (I-O) analysis that are identified as Structural Decomposition Analysis (SDA), and (b), Techniques based on algebraic methods that are identified as Index Decomposition Analysis (IDA). For instance, in the first group (a), authors that have conducted SDA are Tezuka and Kaya (1984) who focused their study on the changes of energy intensity in the Japanese industry from 1965 to 1980, while Yabe (2004) analyzed the impact of the technological change relating to CO<sub>2</sub> emissions in the Japanese industry for the period 1985–1995. Hetherington (1996), Chang and Lin (1998), and Alcántara and Padilla (2003, 2006) among others, analyzed the CO<sub>2</sub> emission trends and their effects in the industry in the United Kingdom, Taiwan, and the Spanish economy (including the industrial sector) respectively. In the second group (b), methodologies based on economic indices such as Divisia and Laspeyres are grouped. In particular, Boyd et al. (1997) introduced the Divisia index approach while Torvanger (1991), Ang (1994, 1995a,b), Ang and Pandiyan (1997), Choi and Ang (2000), Lee and Oh (2006), Hatzi Georgiou et al. (2008), and Park and Kim et al. (2009), among others,

applied the Divisia index methodology, and their particular adaptations to diverse worldwide economic sectors (Industrial, Commercial, Services, etc.). The Laspeyres index methodology has been conducted by various authors such as Howarth et al. (1991), Park (1992), Hsu and Hsu (1993), Schipper et al. (1997a,b), among others. Additionally, a number of studies with valuable improvements about decomposition analysis of energy consumption, and CO<sub>2</sub> emissions have been published, for example, Ang and Choi (1997), Sun (1998), Ang et al. (1998), Chung and Rhee (2001), Albrecht et al. (2002), Ang and Liu (2001), and Ang et al. (2003), among others. They proposed decomposition methodologies that are more accurate and complete, without or with minimal residuals, to define the influencing factors in energy demand and CO<sub>2</sub> emission trends.

At the local level, the decomposition methodology has not been applied as much as at the international level. Sterner (1985, 1987), Sheinbaum and Rodríguez (1997), Sheinbaum and Ozawa (1998), Ozawa et al. (2002), Galindo (2005), and recently Sheinbaum et al. (2010, in press) are the most significant studies reported in this field. Sterner (1985, 1987) used a decomposition methodology based on Laspeyres, and Paasche indices to analyze the changes in energy use in the Mexican industry from 1970 to 1981. He focused his analysis on structure and technology changes by using five factors: income, work force, raw material, electricity consumption, and energy fuel mix. Sheinbaum and Rodríguez (1997) applied a decomposition analysis based on simple Laspeyres index to analyze the CO<sub>2</sub> emissions related to energy use in the Mexican industry from 1987 to 1993. Sheinbaum and Ozawa (1998) analyzed the Mexican cement industry by means of the Laspeyres index method from 1982 to 1994. They decomposed the changes of CO<sub>2</sub> emissions related to energy use in five indicators: energy intensity, cement activity, the cement/clinker ratio, and primary and final fuel-mix effects. Ozawa et al. (2002) analyzed the energy use and CO<sub>2</sub> emissions in the Mexican iron and steel industry from 1970 to 1996 by means of physical indicators as indicated in Farla et al. (1997). They decomposed the intra-sectoral structural changes and efficiency improvements, and made international comparisons considering industrial structure and the best available technology. Galindo (2005) analyzed the energy demand in the Mexican economy (including the industrial sector) by using an econometric model to show the relationship between income and energy demand, as well as the effect of prices on demand. Sheinbaum et al. (2010) applied the Logarithmic Mean Divisia Index (LMDI) to analyze energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions in the Mexican iron and steel industry from 1970 to 2006. The decomposition analysis was based on the structure/efficiency analysis for international comparisons, considering industrial structure and the best available technology. Finally, Sheinbaum et al. (in press) conducted an analysis to examine the energy consumption and energy-related CO<sub>2</sub> emissions in Argentina, Brazil, Colombia, Mexico, and Venezuela by means of the LMDI for the period 1990–2006.

#### Variables and methodology

The methodology applied for decomposing the changes of industrial CO<sub>2</sub> emissions in the Mexican industry is based on the energy and intensity decomposition approach presented in Sun (1998) that is equivalent to the Shapley decomposition method proposed in Albrecht et al. (2002). The equivalence was proved in the study conducted by Ang et al. (2003). This decomposition method, which relies on the IDA classification, was selected due to the fact that input-output tables are not available in Mexico in order to apply an SDA study. The Sun/Shapley decomposition method is based on the Laspeyres index. A valuable property of the Sun/Shapley decomposition method is that it does not leave a residual term once the decomposition is done; it provides symmetric results contrary to the conventional Laspeyres technique where time reversals lead to different percentage changes (Ang, 2004). The present study uses the Sun/Shapley decomposition methodology to provide an analysis without interactions that affect the understanding of the results. Most of the studies conducted in Mexico are based on the simple Laspeyres index, e.g. Sterner (1985, 1987), Sheinbaum and Rodríguez (1997), Sheinbaum and Ozawa, etc., as was indicated in the Literature review, while the Divisia index is used a few times, and in specific cases (e.g. cement, and iron and steel industries) when the data are available. The complete decomposition results might be a relevant point of comparison or contrast with previous studies conducted in Mexico. To carry

out this analysis, five energy-economic indicators, which are related to the performance of the carbon dioxide emission, have been selected:

1. *Activity (G)*: It measures the total output in physical or economic terms for each sector or sub-sector. In the present analysis, the industrial activity is measured by the GDP produced by the Mexican industrial sector in terms of 1993 constant prices.
2. *Structure (S)*: It is defined by the ratio of GDP of a specific industrial sub-sector to the GDP of the whole industrial sector. It shows the changes in the economic structure that is how shares of output have changed among the end uses of each sector.
3. *Energy intensity (I)*: Final energy use by GDP for each industrial sub-sector. It is the inverse of energy efficiency, but it is not equivalent. The energy intensity indicates the amount of energy to produce a unit of output, while the energy efficiency indicates improvements of the economic activity for a given amount of energy input.
4. *End-use fuel mix (F)*: It is defined by the ratio of consumption of particular fuel "k" to energy consumption in the industrial sub-sector. It shows changes due to using carbon-intensive final fuels.
5. *Fuel mix used to generate electricity (C)*: It is defined as the CO<sub>2</sub> emission coefficient of particular fuel used to generate electricity; it accounts for changes in the share of fuels used to generate electricity in the sector or sub-sector. The carbon emission coefficient of each fuel is defined as the quantity of carbon generated per unit of energy consumed for that fuel.

Thus, according to Sheinbaum and Rodríguez (1997) the aggregate CO<sub>2</sub> emissions (CO<sub>2</sub><sup>T</sup>) in a particular year (T) can be expressed by the Eq. (1):

$$CO_2^T = \sum_j \sum_k (G^T \times S_j^T \times I_j^T \times C_k^T \times F_{kj}^T) \quad (1)$$

where the subscript *j* refers to the specific industrial sub-sector or industrial branch, and the subscript *k* represents the fuel type consumed. Therefore, we adopt the following notations, and units of measurement:

<i>G</i>	Indicator of activity, it represents the GDP from the industrial sector in USD 1993 constant prices,
<i>S<sub>j</sub></i>	Indicator of structure, it shows the ratio of the GDP of sub-sector <i>j</i> to GDP of industrial sector,
<i>I<sub>j</sub></i>	Indicator of energy intensity, it is defined as the change in total energy consumption in Joules (J) from sub-sector <i>j</i> per unit of GDP in USD 1993 constant prices,
<i>C<sub>k</sub></i>	Indicator of fuel mix used to generate electricity from fuel <i>k</i> in CO <sub>2</sub> /J.
<i>F<sub>kj</sub></i>	Indicator of fuel mix, it shows the ratio of the energy consumption of fuel <i>k</i> by the sub-sector <i>j</i> to total energy consumption by sub-sector <i>j</i> .

In the simple Laspeyres method, to quantify the relative impact from the contributions of each sub-sector to the total change on overall CO<sub>2</sub> emissions in the sector, it is assumed that only one factor varies over the time, while the others remain constant. From Eq. (1), the change in the aggregate CO<sub>2</sub> emissions (ΔCO<sub>2</sub>) in the Mexican industry from a base year (0) to a particular year (T) can be expressed as follows: ΔCO<sub>2</sub> = CO<sub>2</sub><sup>T</sup> – CO<sub>2</sub><sup>0</sup>. Thus, the change in terms of the additive decomposition mode can be defined as follows:

$$\Delta CO_2 = CO_2^T - CO_2^0 = \Delta G_G + \Delta S_S + \Delta I_I + \Delta C_C + \Delta F_F + rsd \quad (2)$$

where *rsd* is the residual term of the simple Laspeyres decomposition, and Δ*G<sub>G</sub>*, Δ*S<sub>S</sub>*, Δ*I<sub>I</sub>*, Δ*C<sub>C</sub>*, and Δ*F<sub>F</sub>* are the effects of activity, structure, energy intensity, fuel mix used to generate electricity, and end-use fuel mix respectively. Thus, to obtain the contributions of each of these effects in accordance with the Refined Laspeyres Index Method, the principle of "jointly created and equally distributed" is applied to Eq. (2). Accordingly, the residual term (*rsd*) is uniformly split among the effects: Δ*G<sub>G</sub>*, Δ*S<sub>S</sub>*, Δ*I<sub>I</sub>*, Δ*C<sub>C</sub>*, and Δ*F<sub>F</sub>*, if there is no reason to assume the opposite. Therefore, to quantify the estimated contribution in the particular case of the activity effect (Δ*G<sub>G</sub>*) over the total industrial CO<sub>2</sub> emissions from a base year (t=0) to a reference year (t=T), the Eq. (3) is defined as follows:

$$\begin{aligned} \Delta G_G &= \sum_j \sum_k (\Delta G \times S_j^0 \times I_j^0 \times C_k^0 \times F_{kj}^0) \\ &+ \frac{1}{2} \sum_j \sum_k \left[ (\Delta G) \times \left( (\Delta S_j \times I_j^0 \times C_k^0 \times F_{kj}^0) + (\Delta I_j \times S_j^0 \times C_k^0 \times F_{kj}^0) + (\Delta C_k \times S_j^0 \times I_j^0 \times F_{kj}^0) + (\Delta F_{kj} \times S_j^0 \times I_j^0 \times C_k^0) \right) \right] \\ &+ \frac{1}{3} \sum_j \sum_k \left[ \Delta G \times \left( \left\{ (\Delta S_j) \times \left( (\Delta I_j \times C_k^0 \times F_{kj}^0) + (\Delta C_k \times I_j^0 \times F_{kj}^0) + (\Delta F_{kj} \times I_j^0 \times C_k^0) \right) \right\} \right) \right. \\ &\quad \left. + \left\{ (\Delta I_j) \times \left( (\Delta C_k \times S_j^0 \times F_{kj}^0) + (\Delta F_{kj} \times S_j^0 \times C_k^0) \right) \right\} + \left\{ \Delta C_k \times \Delta F_{kj} \times S_j^0 \times I_j^0 \right\} \right] \\ &+ \frac{1}{4} \sum_j \sum_k \left[ \Delta G \times \left\{ \left( (\Delta S_j \times \Delta I_j) \times (\Delta C_k \times F_{kj}^0 + \Delta F_{kj} \times C_k^0) \right) + \left( (\Delta C_k \times \Delta F_{kj}) \times (\Delta S_j \times I_j^0 + \Delta I_j \times S_j^0) \right) \right\} \right] \\ &+ \frac{1}{5} \sum_j \sum_k (\Delta G \times \Delta S_j \times \Delta I_j \times \Delta C_k \times \Delta F_{kj}) \end{aligned} \quad (3)$$

where Δ*G* = *G<sup>T</sup>* – *G<sup>0</sup>*, Δ*S<sub>j</sub>* = *S<sub>j</sub><sup>T</sup>* – *S<sub>j</sub><sup>0</sup>*, Δ*I<sub>j</sub>* = *I<sub>j</sub><sup>T</sup>* – *I<sub>j</sub><sup>0</sup>*, Δ*C<sub>k</sub>* = *C<sub>k</sub><sup>T</sup>* – *C<sub>k</sub><sup>0</sup>*, and Δ*F<sub>kj</sub>* = *F<sub>kj</sub><sup>T</sup>* – *F<sub>kj</sub><sup>0</sup>* are the changes of activity, structure, energy intensity, end-use fuel mix, and fuel mix to generate electricity from the base year (t=0) to a reference year (t=T). The corresponding formulae for the effects of structure (Δ*S<sub>S</sub>*), energy intensity (Δ*I<sub>I</sub>*), end-use fuel mix (Δ*F<sub>F</sub>*), and fuel mix to generate electricity (Δ*C<sub>C</sub>*) can be expressed in a symmetrical way by following the same procedure as above. Clear and detailed procedures of the decomposition methodology applied in the present study are presented in Sun and Ang (2000), and Sun (1998).

As a part of this methodology, the carbon emission factor (*C<sub>k</sub>*) is constant for each fuel of end-use fuel mix consumed over time. However, the carbon emission factor for electricity changes through time, and can be expressed as follows:

$$C_k = \sum_t \left( \frac{C_{it}}{PE_{it}} \right) FEC_{it} \quad (4)$$

where:

## Author's personal copy

D. González, M. Martínez / Energy for Sustainable Development 16 (2012) 204–215

207

$C_{i,t}$	Total consumption of fuel $i$ used to generate electricity in the country's power plants in a particular year $t$ (J);
$FEC_{i,t}$	Carbon emission factor of fuel $i$ , IPCC, 1996 ( $\text{CO}_2/\text{J}$ );
$PE_t$	Net electricity production by all the power plants in the country in a particular year $t$ . Losses of transmission and distribution are taken into account (J).

## Data

Both energy data and economy data used in this paper were taken from official Mexican sources such as the National Institute of Statistics, Geography and Informatics from Mexico (INEGI), and the Mexican Department of Energy. The energy data, for each industrial branch and the whole industrial sector, were taken from the Mexican Balance of Energy an annual publication of the Mexican Department of Energy. As the economic data have changed over the years due to accounting methodology reforms implemented by the government in the last 40 years, three extrapolations (1970, 1980, and 1993 as the base years) and two concatenations (1980 and 1993 as the base years) of the GDP at annual level have been carried out. Thus, to develop a standard data base for covering the period from 1965 to 2003, with 1993 as the base year; the real variations of the original data were quantified by means of the variation rate as stated in the methodology proposed by the Center for Public Finance Studies of the Mexican Chamber of Deputies (CEFP-2003).

The present analysis uses 1993 as the base year of the industrial GDP. That base year was selected in accordance with the criteria developed by economic and social analyses carried out by international organizations such as the United Nations Organization (UNO), the Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), the World Bank (WB), the International Monetary Fund (IMF), and the Statistical Office of the European Commission (EUROSTAT). They concluded that 1993 is closer to the characteristics of normality required for the measure of the macroeconomic variables of the country. However, in 2007, the National Account System and the National Institute of Statistics, Geography and Informatics from Mexico changed the base year to 2003 for the new statistical data series of economic industrial activities from 2003 to 2006. Additionally, that work introduced a new classification methodology for the Mexican economic activities that is called North America Industrial Classification System (SCIAN) 2002 version. The SCIAN is integrated by five levels of aggregation (sector,

sub-sector, branch, sub-branch, and economic activity class) and grouped in 78 sub-sectors of industrial economic activity; this methodological change leads to the inevitable breakdown in the historical data series used in this analysis. Prior to this methodological advance, the Mexican Industrial sector comprised 57 industrial sub-sectors. Under these circumstances, an extended analysis to the present day is not possible at this time because official data are not enough to establish a close correlation between the data used in this analysis with the new data recently published.

## Overview of the Mexican industry

The present analysis has been undertaken considering sixteen Mexican industrial branches during the period 1965–2003. The selected industrial branches represented, 75.1% of total final energy consumption, and 44.2% of GDP contribution to the Mexican industrial sector from 1965 to 2003 in terms of average share. Its economic structure has not shown significant changes. Energy-intensive industries such as iron and steel, sugar, cement, chemical, and mining remain the major consumers of final energy; while, industries as construction, mining, automotive, and iron and steel are the major contributors to the industrial GDP. The petrochemical industry in particular shows the most significant change in its final energy consumption, and its contribution to the industrial GDP along the period, as a result of the oil boom in the seventies, and its opening up to foreign and national private capital during the eighties and early nineties (see Tables 1 and 2).

The analysis is divided into three stages relating to the following periods: 1965–1982, 1982–1994, and 1994–2003. This sub-division analysis was considered in accordance with the performance trends of carbon dioxide emissions, gross domestic product, final energy consumption, and energy intensity of the Mexican industrial sector shown in Fig. 1. In Fig. 1 a slight contraction in the final energy consumption, and industrial GDP can be observed in 1977 as a result

**Table 1**  
Share and growth in total final energy consumption in the Mexican industry (PJ).

Year	Final energy consumption by										
	1965		1982		1994		2003		1965–1982	1982–1994	1994–2003
Industrial branch	PJ	(%)	PJ	(%)	PJ	(%)	PJ	(%)	<sup>a</sup> AAGR (%)	<sup>a</sup> AAGR (%)	<sup>a</sup> AAGR (%)
Iron and steel	56.60	(17.24)	161.71	(15.77)	182.00	(17.63)	199.16	(17.42)	6.37	0.99	1.01
Sugar	64.63	(19.50)	91.21	(8.89)	102.31	(9.91)	112.36	(9.83)	2.05	0.96	1.05
Cement	19.19	(5.38)	89.41	(8.72)	104.71	(10.14)	110.72	(9.69)	9.47	1.32	0.62
Chemical	19.58	(6.00)	92.75	(9.04)	118.85	(11.51)	109.62	(9.59)	9.58	2.09	-0.89
Mining	22.16	(6.79)	37.81	(3.69)	52.35	(5.07)	58.16	(5.09)	3.19	2.75	1.18
Pulp and paper	10.39	(3.18)	35.47	(3.46)	45.98	(4.45)	34.91	(3.05)	7.49	2.19	-3.01
Glass	9.37	(2.87)	31.60	(3.08)	27.11	(2.63)	29.98	(2.62)	7.41	-1.27	1.12
Petrochemical	7.83	(2.40)	203.93	(19.88)	72.12	(6.98)	24.22	(2.12)	21.13	-8.30	-11.42
Beer and malt	2.75	(0.84)	7.60	(0.74)	11.74	(1.14)	16.33	(1.43)	6.16	3.69	3.74
Bottled water	1.18	(0.36)	3.44	(0.34)	8.85	(0.86)	10.49	(0.92)	6.48	8.20	1.91
Automotive	3.09	(0.95)	12.08	(1.18)	6.62	(0.64)	9.12	(0.80)	8.35	-4.89	3.62
Construction	0.32	(0.10)	4.49	(0.44)	6.78	(0.66)	7.56	(0.66)	16.72	3.50	1.21
Rubber	0.98	(0.30)	3.38	(0.33)	4.24	(0.41)	6.13	(0.54)	7.55	1.90	4.18
Aluminum <sup>b</sup>	-	-	4.02	(0.39)	4.06	(0.39)	4.23	(0.37)	7.41	0.09	0.44
Fertilizers	1.72	(0.53)	10.00	(0.97)	12.72	(1.23)	3.38	(0.30)	10.92	2.03	-13.70
Tobacco	0.26	(0.08)	0.42	(0.04)	0.41	(0.04)	0.40	(0.03)	2.85	-0.16	-0.47
'Other' industries <sup>c</sup>	106.30	(32.57)	236.41	(23.05)	271.65	(26.31)	406.34	(35.55)	4.81	1.16	4.58
Mexican industrial sector	326.36	(100.00)	1025.73	(100.00)	1032.50	(100.00)	1143.07	(100.00)	6.97	0.05	1.14

<sup>a</sup> AAGR – Average annual growth rate.

<sup>b</sup> Available data from 1970 to 2003.

<sup>c</sup> This branch is constituted by the 41 remaining industrial branches of the Mexican industry.

Author's personal copy

208

D. González, M. Martínez / Energy for Sustainable Development 16 (2012) 204–215

**Table 2**  
Share and growth in gross domestic product in the Mexican industry (BUSD 1993 constant prices).

Year	Industrial gross domestic product by												
	1965		1982		1994		2003		1965–1982		1982–1994		1994–2003
Industrial branch	BUSD 1993	(%)	BUSD 1993	(%)	BUSD 1993	(%)	BUSD 1993	(%)	<sup>a</sup> AAGR (%)	<sup>a</sup> AAGR (%)	<sup>a</sup> AAGR (%)	<sup>a</sup> AAGR (%)	<sup>a</sup> AAGR (%)
Iron and steel	0.60	(2.17)	1.70	(2.09)	2.33	(2.24)	3.48	(2.65)	6.32	2.66	4.53		
Sugar	0.32	(1.16)	0.43	(0.53)	0.62	(0.60)	0.81	(0.62)	1.73	3.07	3.06		
Cement	0.20	(0.72)	0.92	(1.13)	1.48	(1.42)	1.55	(1.18)	9.38	4.01	0.51		
Chemical	0.18	(0.65)	0.83	(1.02)	1.21	(1.16)	1.47	(1.12)	9.43	3.17	2.18		
Mining	1.27	(4.59)	4.73	(5.82)	5.34	(5.13)	6.48	(4.94)	8.02	1.02	2.16		
Pulp and paper	0.32	(1.16)	1.02	(1.26)	1.50	(1.44)	1.99	(1.52)	7.11	3.29	3.15		
Glass	0.23	(0.83)	0.76	(0.94)	1.16	(1.11)	1.49	(1.14)	7.29	3.65	2.84		
Petrochemical	0.02	(0.07)	0.32	(0.39)	0.72	(0.69)	0.42	(0.32)	16.90	7.05	-5.93		
Beer and malt	0.32	(1.16)	1.00	(1.23)	1.47	(1.41)	2.25	(1.71)	6.88	3.28	4.85		
Bottled water	0.49	(1.77)	1.63	(2.01)	2.25	(2.16)	3.07	(2.34)	7.29	2.74	3.49		
Automotive	0.79	(2.86)	3.99	(4.91)	8.08	(7.76)	13.54	(10.32)	9.97	6.06	5.90		
Construction	5.17	(18.70)	17.26	(21.25)	19.25	(18.49)	20.05	(15.28)	7.35	0.91	0.46		
Rubber	0.15	(0.54)	0.60	(0.74)	0.68	(0.65)	0.73	(0.57)	5.48	1.00	0.82		
Aluminum	0.33	(1.19)	0.72	(0.89)	0.97	(0.93)	1.30	(0.97)	4.53	2.53	3.32		
Fertilizers	0.03	(0.11)	0.18	(0.22)	0.16	(0.15)	0.06	(0.05)	10.79	-1.08	-9.98		
Tobacco	0.47	(1.70)	0.75	(0.92)	0.69	(0.66)	0.66	(0.50)	2.77	-0.70	-0.45		
'Other' industries <sup>b</sup>	16.74	(60.54)	44.40	(54.65)	56.18	(53.96)	71.86	(54.76)	5.90	1.98	2.77		
Mexican industrial sector	27.65	(100.00)	81.24	(100.00)	104.11	(100.00)	131.22	(100.00)	6.54	2.09	2.61		

<sup>a</sup> AAGR— Average annual growth rate.

<sup>b</sup> This branch is constituted by the 41 remaining industrial branches of the Mexican industry.

of the economic crisis in 1976. However, it did not significantly affect the trends of the final energy consumption and the CO<sub>2</sub> emissions from the Mexican industry that continued their substantial growth up to 1983; the industrial GDP continued its growth trend up to 1981. From 1983 to 1994, the trends show a period of irregular growth combined with moderate decreases in its final energy consumption, CO<sub>2</sub> emissions, and contribution to the industrial GDP. The contractions observed in the contributions to the GDP, final energy use, and CO<sub>2</sub> emissions that took place in 1983, 1984, and 1986 were in response to the economic crisis in 1982, the international oil price variations during the eighties, and the Mexico's city earthquake in 1985, among other factors. From 1994 to 2003, the effect of the economic crisis in 1994, caused by a devaluation of the Mexican Peso, produced slight decreases in the industrial GDP, and the industrial CO<sub>2</sub> emission trends in 1995. After that, the industrial GDP continued its moderate growth tendency up to 2000; however, an

economic contraction of the United States of America in 2000 was a factor that slowed the performance of the Mexican economic activities up to 2003.

Based on above explanations, the first stage, known as the stage of government intervention, is established from 1965 to 1982. The government at that time introduced policy reforms, and financial concessions (including energy grants to industries) with the purpose of strengthening the Mexican economy, and stimulating the incipient industrial sector. During this stage a significant growth of industrial CO<sub>2</sub> emissions at 7.2% AAGR (average annual growth rate) was observed besides strong industrial energy consumption growth, and an industrial GDP growth of 7.0% and 6.5% AAGR respectively. Industries such as iron and steel, cement, chemical, and mining were the largest final energy consumers while industries as construction, mining, automotive, and iron and steel were the largest contributors to the industrial GDP. A very significant change in the final energy

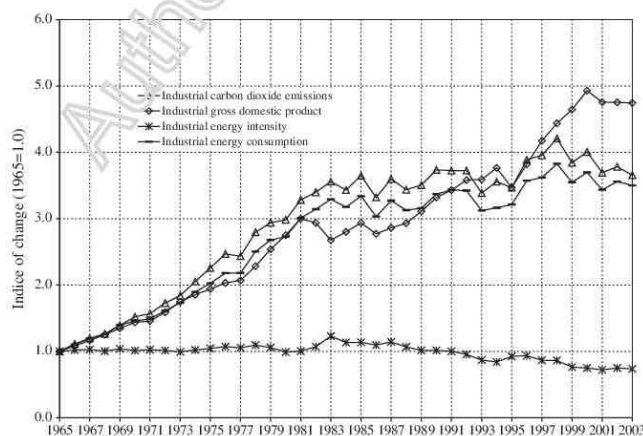


Fig. 1. Trends of major indicators of the Mexican industry, 1965–2003 (1965 = 1.0).

consumption was shown by petrochemical industry. During this stage, its share in the Mexican industry increased from 2.4% to 19.9% that implied a growth of 21.1% AAGR (Table 1); while its contribution to the industrial GDP increased at 16.9% AAGR (Table 2).

The second stage, 1982–1994, is accepted as the transition stage. Since the early eighties Mexico undertook a new economic development strategy based on economic deregulation and trade liberalization that led to Mexico's entry into the GATT (General Agreement on Tariffs and Trade) in 1986. As a consequence, the government started the rearrangement of the production base of the country in order to balance the public finances and the foreign sector. State-owned industries such as sugar, petrochemical, and iron and steel among others were opened up to private investment, and most of the industries started modernization programs, and structural reorganizations to face international competition. At this stage, the economic crisis of 1982 and Mexico's earthquake in 1985 were some of the factors that brought an economic instability; the industrial GDP grew at 2.1% AAGR. The oil price variations encouraged the industrial consumers to conserve energy; the industrial energy consumption showed a minimal growth at 0.05% AAGR, and the industrial CO<sub>2</sub> emissions grew at 0.3% AAGR. The automotive industry showed better adaptability to the changes and reduced its final energy consumption, while increasing its contribution to the industrial GDP.

Finally, the third stage, 1994–2003, is identified as the stage of economic opening up. It started with the coming into force of North American Free Trade Agreement (NAFTA) in 1994 that coincided with a devaluation of the Mexican Peso in December 1994, and brought a domestic financial crisis. The opening up process helped Mexico to overcome the crisis, the industrial GDP showed a recovering tendency of 2.6% AAGR, while the industrial CO<sub>2</sub> emissions and the industrial energy consumption showed a moderate growth of 0.3%, and 1.1% AAGR respectively. The Mexican government implemented more favorable regulations to encourage export oriented industries, and foreign direct investment. Characteristic industries of this stage are automotive, iron and steel, and 'other' industries. Tables 1, 2, and 3 summarize the shares, and growths as per final energy consumption, industrial GDP contribution, and CO<sub>2</sub> emissions emitted to the total Mexican industry by industrial branch for selected base years, and proposed stages.

## Results and discussion

The contributions of the five factors (defined in Variables and methodology) to the changes in CO<sub>2</sub> emissions in the Mexican industrial sector are presented over a long period (1965 to 2003); and three stages: 1965–1982, 1982–1994, and 1994–2003. Table 4 summarizes the decomposition results to the change in CO<sub>2</sub> emissions in the Mexican industry for each stage, and analyzed period.

### Period 1965–2003

In 2003 the MIS emitted 65.0 MT CO<sub>2</sub> (Million tons of carbon dioxide equivalent), which meant an increase of 250.0% compared to the CO<sub>2</sub> emitted in 1965. The results of decomposition analysis show that during this period activity effect (71.1 MT CO<sub>2</sub>), which is measured by the industrial GDP, was the main contributing factor behind of CO<sub>2</sub> emission increase into the MIS (Table 4). Basically, the contribution of the activity effect to the change in CO<sub>2</sub> emissions in the MIS took shape at the end of the seventies and early eighties as part of the industrial infrastructure growth because of the government support, and the Mexican oil industry boom. Significant increases in oil prices since 1973 until early eighties necessitated hydrocarbons exploitation resulting in accelerated development of the country. In addition, increases in the production of goods, and services increased the final energy consumption of the MIS; it reached 1025.7 PJ in 1982, which it meant an increase of 214.2% compared with the level observed in 1965. The decomposition results for this period showed that industrial branches such as iron and steel, cement, chemical, mining, and petrochemical were the industries that considerably contributed to the change in CO<sub>2</sub> emissions because of the activity effect in the MIS, Table 5.

The energy intensity effect (−32.2 MT CO<sub>2</sub>) was the factor that mitigated the CO<sub>2</sub> emissions over this period especially in export-oriented energy intensive industries such as iron and steel, chemical, mining, and cement. They showed a rapid recovery from the periods of economic crises, i.e., 1976, 1982, and 1994; they were also able to use external finance to buy goods, services, and other inputs to improve their economic efficiency as well as energy efficiency. The petrochemical industry, had lower rates of contribution to the

**Table 3**  
Share and growth in carbon dioxide emissions in the Mexican industry (Mton CO<sub>2</sub>).

Year	Carbon dioxide emissions (CO <sub>2</sub> ) by													
	1965		1982		1994		2003		1965–1982		1982–1994		1994–2003	
Industrial branch	Mton CO <sub>2</sub>	(%)	Mton CO <sub>2</sub>	(%)	Mton CO <sub>2</sub>	(%)	Mton CO <sub>2</sub>	(%)	<sup>a</sup> AAGR (%)	<sup>a</sup> AAGR (%)	<sup>a</sup> AAGR (%)	<sup>a</sup> AAGR (%)	<sup>a</sup> AAGR (%)	<sup>a</sup> AAGR (%)
Iron and steel	4.09	(2.04)	11.80	(19.50)	13.22	(20.88)	13.81	(21.23)	6.43	0.95	0.49			
Sugar	1.55	(3.32)	2.16	(3.58)	2.33	(3.67)	1.98	(3.04)	2.00	0.60	−1.80			
Cement	1.36	(2.32)	6.44	(10.65)	7.65	(12.09)	7.58	(11.65)	9.58	1.45	−0.11			
Chemical	1.25	(7.71)	5.99	(9.91)	7.75	(12.24)	6.51	(10.01)	9.68	2.16	−1.91			
Mining	1.25	(6.71)	2.30	(3.81)	3.35	(5.29)	3.68	(5.65)	3.67	3.18	1.04			
Pulp and paper	0.67	(3.63)	2.35	(3.89)	3.00	(4.74)	2.24	(3.44)	7.63	2.06	−3.23			
Glass	0.54	(2.88)	1.84	(3.04)	1.62	(2.57)	1.78	(2.74)	7.53	−1.03	1.05			
Petrochemical	0.44	(2.37)	11.44	(18.91)	4.09	(6.46)	1.34	(2.06)	21.13	−8.21	−11.68			
Beer and malt	0.19	(1.04)	0.54	(0.89)	0.77	(1.21)	1.08	(1.66)	6.24	2.98	3.90			
Bottled water	0.08	(0.42)	0.23	(0.39)	0.59	(0.93)	0.68	(1.04)	6.74	7.96	1.60			
Automotive	0.16	(0.86)	0.69	(1.15)	0.39	(0.62)	0.54	(0.83)	9.02	−4.60	3.60			
Construction	0.02	(0.12)	0.31	(0.51)	0.48	(0.76)	0.53	(0.82)	16.99	3.71	1.22			
Rubber	0.05	(0.29)	0.20	(0.32)	0.27	(0.42)	0.37	(0.58)	7.84	2.59	3.90			
Aluminum <sup>b</sup>	–	–	0.21	(0.35)	0.23	(0.37)	0.24	(0.36)	6.43	0.65	0.27			
Fertilizers	0.09	(0.49)	0.55	(0.92)	0.80	(1.27)	0.19	(0.29)	11.17	3.16	−14.76			
Tobacco	0.01	(0.07)	0.02	(0.04)	0.02	(0.04)	0.02	(0.03)	3.30	0.36	−1.05			
'Other' industries <sup>c</sup>	6.83	(36.75)	13.40	(22.15)	16.74	(26.44)	22.48	(34.56)	4.05	1.87	3.33			
Mexican industrial sector	18.58	(100.00)	60.50	(100.00)	63.32	(100.00)	65.06	(100.00)	7.19	0.38	0.30			

<sup>a</sup> AAGR – Average annual growth rate.

<sup>b</sup> Available data from 1970 to 2003.

<sup>c</sup> This branch is constituted by the 41 remaining industrial branches of the Mexican industry.



Author's personal copy

210

D. González, M. Martínez / Energy for Sustainable Development 16 (2012) 204–215

**Table 4**  
Decomposition of the changes in CO<sub>2</sub> emissions in the Mexican industry (Mton CO<sub>2</sub>).

Year T0	Year T	1982		1994		2003	
		Mton CO <sub>2</sub>	(%)	Mton CO <sub>2</sub>	(%)	Mton CO <sub>2</sub>	(%)
1965	Activity ( $\Delta GG$ )	38.60	(92.06)	54.50	(121.80)	71.15	(153.06)
	Structure ( $\Delta SS$ )	4.81	(11.47)	14.41	(32.21)	11.81	(25.40)
	Energy intensity ( $\Delta II$ )	-0.45	(-1.06)	-24.79	(-55.41)	-32.20	(-69.28)
	Fuel mix to generate electricity ( $\Delta CC$ )	0.85	(2.03)	1.97	(4.40)	1.66	(3.57)
	End-use fuel mix ( $\Delta FF$ )	-1.89	(-4.50)	-1.34	(-3.00)	-5.93	(-12.75)
	Total CO <sub>2</sub> emission change ( $\Delta CO_2$ )	41.92	(100.00)	44.74	(100.00)	46.48	(100.00)
1982	Activity ( $\Delta GG$ )			15.90	(564.29)	32.55	(714.01)
	Structure ( $\Delta SS$ )			9.60	(340.74)	7.00	(153.49)
	Energy intensity ( $\Delta II$ )			-24.34	(-852.08)	-31.76	(-696.66)
	Fuel mix to generate electricity ( $\Delta CC$ )			1.12	(32.02)	0.81	(17.75)
	End-use fuel mix ( $\Delta FF$ )			0.55	(1.36)	-4.04	(-88.59)
	Total CO <sub>2</sub> emission change ( $\Delta CO_2$ )			2.82	(100.00)	4.56	(100.00)
1994	Activity ( $\Delta GG$ )					16.65	(956.32)
	Structure ( $\Delta SS$ )					-2.60	(-149.51)
	Energy intensity ( $\Delta II$ )					-7.41	(-425.88)
	Fuel mix to generate electricity ( $\Delta CC$ )					-0.31	(-17.63)
	End-use fuel mix ( $\Delta FF$ )					-4.58	(-263.30)
	Total CO <sub>2</sub> emission change ( $\Delta CO_2$ )					1.74	(100.00)

Note: T0—base year of the analysis, T—end year of the analysis.

industrial GDP than final energy consumption, essentially in the stages 1982–1994, and 1994–2003.

The structure effect contributed 11.8 MT CO<sub>2</sub> to the change in the CO<sub>2</sub> emissions. Its increase was mainly shown in energy-intensive industries as iron and steel, cement, chemical, and petrochemical over the period. The adoption of an export-led strategy in the early eighties; the opening up of Mexico's economy to foreign trade, e.g. Mexico's entry to the GATT in 1986, and Mexico's entrance to the

NAFTA in 1994; and the privatization of government-owned businesses were some significant structural changes that affected the industrial performance during the period.

The end-use fuel mix effect contributed a decrease of 5.9 MT CO<sub>2</sub>. This contribution to mitigate the change in the CO<sub>2</sub> emissions is observed as a result of electricity consumption increase as final energy fuel instead of natural gas, and fuel oil. In 1965, just natural gas, and fuel oil consumption represented 74.7% of industrial CO<sub>2</sub> emissions;

**Table 5**  
Decomposition changes of CO<sub>2</sub> emissions per industrial branch in the Mexican industry, 1965–2003 (Mton CO<sub>2</sub>).

Mexican industrial branch	$\Delta G_C$		$\Delta S_S$		$\Delta I_I$		$\Delta C_C$		$\Delta F_F$		$\Delta CO_2$	
	Mton CO <sub>2</sub>	(%)	Mton CO <sub>2</sub>	(%)	Mton CO <sub>2</sub>	(%)	Mton CO <sub>2</sub>	(%)	Mton CO <sub>2</sub>	(%)	Mton CO <sub>2</sub>	(%)
Iron and steel	17.16	(36.91)	1.69	(3.65)	-8.15	(-17.52)	0.17	(0.37)	-1.16	(-2.49)	9.72	(20.91)
Sugar	3.60	(7.74)	-1.40	(-3.02)	-0.98	(-2.10)	0.00	(0.00)	-0.78	(-1.69)	0.43	(0.93)
Cement	6.92	(14.55)	1.64	(3.53)	-2.00	(-4.31)	0.11	(0.23)	-0.45	(-0.96)	6.22	(13.389)
Chemical	7.40	(15.53)	1.54	(3.31)	-3.10	(-6.66)	0.09	(0.18)	-0.66	(-1.43)	5.27	(11.33)
Mining	4.05	(8.71)	0.13	(0.28)	-2.01	(-4.32)	0.24	(0.52)	0.02	(0.04)	2.43	(5.23)
Pulp and paper	3.01	(6.47)	0.58	(1.25)	-1.93	(-4.16)	0.04	(0.10)	-0.14	(-0.30)	1.56	(3.36)
Glass	2.34	(5.03)	0.14	(0.30)	-1.32	(-2.84)	0.04	(0.08)	0.05	(0.11)	1.25	(2.69)
Petrochemical	6.21	(13.37)	8.26	(17.76)	-13.72	(-29.52)	0.00	(0.00)	0.15	(0.32)	0.90	(1.93)
Beer and malt	0.74	(1.60)	0.31	(0.67)	-0.13	(-0.28)	0.01	(0.02)	-0.04	(-0.09)	0.89	(1.91)
Bottled water	0.38	(0.82)	0.11	(0.24)	0.13	(0.28)	0.01	(0.03)	-0.03	(-0.06)	0.60	(1.29)
Automotive	0.63	(1.36)	0.40	(0.86)	-0.72	(-1.54)	0.06	(0.14)	0.00	(0.01)	0.38	(0.82)
Construction	0.36	(0.77)	-0.09	(-0.19)	0.23	(0.49)	0.01	(0.02)	0.00	(0.01)	0.51	(1.10)
Rubber	0.29	(0.63)	-0.06	(-0.13)	0.07	(0.15)	0.01	(0.02)	0.01	(0.02)	0.32	(0.69)
Aluminum <sup>b</sup>	0.24	(0.51)	-0.02	(-0.05)	-0.04	(-0.09)	0.03	(0.07)	0.03	(0.07)	0.24	(0.51)
Fertilizers	0.63	(1.36)	-0.59	(-1.26)	0.02	(0.03)	0.01	(0.03)	0.02	(0.05)	0.10	(0.21)
Tobacco	0.03	(0.07)	-0.03	(-0.06)	0.00	(0.00)	0.00	(0.00)	0.00	(0.00)	0.01	(0.02)
'Other' industries <sup>c</sup>	17.15	(36.89)	-0.81	(-1.74)	1.45	(3.13)	0.82	(1.77)	-2.96	(-6.37)	15.65	(33.68)
Mexican industrial sector	71.15	(153.06)	11.81	(25.40)	-32.20	(-69.28)	1.66	(3.57)	-5.93	(-12.75)	46.48	(100.00)

<sup>a</sup> The corresponding names of decomposition effects are as follows:  $\Delta G_C$ —activity,  $\Delta S_S$ —structure,  $\Delta I_I$ —energy intensity,  $\Delta C_C$ —fuel mix used to generate electricity,  $\Delta F_F$ —end-use fuel mix, and  $\Delta CO_2$ —total CO<sub>2</sub> emission change.

<sup>b</sup> Available data from 1970 to 2003.

<sup>c</sup> This branch is constituted by the 41 remaining industrial branches of the MIS.

Author's personal copy

D. González, M. Martínez / Energy for Sustainable Development 16 (2012) 204–215

211

**Table 6**  
Share of end-use fuel mix consumption in the Mexican industry (%).

Fuel mix	Year	Mexican industrial branches																	Total (%)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
Natural gas (%)	1965	7.03	–	0.75	2.88	2.29	1.22	2.34	2.40	0.17	0.02	0.38	–	0.21	0.00	0.46	0.05	16.91	37.12
	1982	6.43	–	1.09	4.30	1.19	1.31	2.48	19.88	0.15	0.02	0.45	–	0.23	0.11	0.83	0.03	15.23	53.72
	1994	7.24	–	0.85	4.88	1.95	1.60	1.89	6.77	0.51	0.16	0.17	–	0.19	0.28	0.70	0.02	8.06	35.27
	2003	8.82	–	0.42	6.22	2.01	1.04	1.86	2.09	0.51	0.22	0.14	–	0.28	0.09	0.23	0.02	9.64	33.58
Electricity (%)	1965	1.41	0.00	0.53	0.43	2.13	0.33	0.21	–	0.06	0.07	0.36	0.02	0.05	0.00	0.07	0.02	1.05	6.75
	1982	1.48	0.00	0.90	0.74	1.27	0.41	0.26	–	0.06	0.08	0.48	0.10	0.06	0.28	0.14	0.01	5.24	11.52
	1994	2.03	0.04	1.34	1.81	1.62	0.96	0.35	–	0.15	0.22	0.32	0.15	0.10	0.10	0.13	0.01	11.27	20.61
	2003	2.15	0.05	1.25	1.60	1.52	0.77	0.33	–	0.22	0.24	0.51	0.12	0.12	0.28	0.06	0.02	20.10	29.33
Fuel oil (%)	1965	0.97	6.12	4.60	2.18	0.87	1.61	0.01	0.00	0.60	0.16	0.02	–	0.03	0.00	0.00	0.01	10.83	28.01
	1982	0.89	2.73	6.73	3.25	0.45	1.72	0.01	0.00	0.52	0.14	0.02	–	0.04	0.00	0.00	0.00	0.59	17.09
	1994	1.86	2.88	7.94	4.30	0.57	1.46	0.14	0.21	0.44	0.14	0.00	–	0.05	0.00	0.39	0.01	1.86	22.26
	2003	0.94	2.20	7.36	1.32	0.56	1.12	0.41	0.00	0.66	0.16	0.10	–	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	14.89
Diesel (%)	1965	0.75	0.00	–	0.39	1.46	0.02	0.24	–	0.01	0.08	0.14	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	1.11	4.27
	1982	0.69	0.00	–	0.58	0.76	0.02	0.26	–	0.01	0.07	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.52	3.39
	1994	0.09	0.00	–	0.46	0.40	0.41	0.15	–	0.03	0.28	0.03	0.51	0.08	0.00	0.01	0.00	3.66	6.11
	2003	0.06	0.00	–	0.35	0.35	0.07	0.01	–	0.01	0.23	0.03	0.34	0.09	0.00	0.01	0.00	1.67	3.41
Liquefied petroleum gas (%)	1965	0.00	–	–	0.12	0.02	0.00	0.00	–	0.00	0.03	0.05	–	0.00	0.00	–	–	0.63	0.85
	1982	0.00	–	–	0.17	0.01	0.00	0.00	–	0.00	0.03	0.00	–	0.00	0.00	–	–	0.79	1.07
	1994	0.03	–	–	0.06	0.12	0.02	0.01	–	0.00	0.00	0.11	–	0.00	0.01	–	–	1.36	1.80
	2003	0.00	–	–	0.06	0.20	0.02	0.01	–	0.00	0.07	0.02	–	0.00	0.00	–	–	2.80	3.22
Coke (%)	1965	7.18	–	–	–	–	–	0.07	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	7.27
	1982	6.28	–	–	–	–	–	0.01	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	6.36
	1994	6.36	–	–	–	–	–	0.41	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	6.85
	2003	5.58	–	–	–	–	–	0.45	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	6.02
Sugar cane bagasse (%)	1965	–	13.68	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	13.68
	1982	–	6.16	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	6.16
	1994	–	6.99	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	6.99
	2003	–	7.74	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	7.74
Kerosene (%)	1965	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.00	–	–	–	2.04	2.04
	1982	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.00	–	–	–	0.68	0.68
	1994	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.00	–	–	–	0.10	0.10
	2003	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.00	–	–	–	0.01	0.01
Total (%)	1965	17.34	19.80	5.88	6.00	6.79	3.12	3.87	2.40	0.84	0.36	0.95	0.10	0.30	0.00	0.53	0.08	32.57	100.00
	1982	15.77	8.89	8.72	9.04	3.60	3.36	3.08	19.88	0.74	0.33	1.18	0.44	0.33	0.39	0.97	0.04	23.05	100.00
	1994	17.63	9.91	10.14	11.51	5.00	4.45	2.63	6.98	1.14	0.86	0.64	0.66	0.41	0.39	1.23	0.04	26.31	100.00
	2003	17.54	9.99	9.03	9.54	5.10	3.45	2.62	2.09	1.43	0.92	0.80	0.66	0.54	0.37	0.30	0.03	34.21	100.00

<sup>a</sup> The corresponding industrial branch names are as follows: 1, iron and steel, 2, sugar, 3, cement, 4, chemical, 5, mining, 6, pulp and paper, 7, glass, 8, petrochemical, 9, beer and malt, 10, bottled water, 11, automotive, 12, construction, 13, rubber, 14, aluminum, 15, fertilizers, 16, tobacco, and 17, other industries.

but in 2003, due to the rise in the share of electricity consumption (6.8% to 29.3% in the period) they represented 53.3% distributed as follows: natural gas (33.1%), and fuel oil (20.7%). Table 6 shows the share of end-use fuel mix in the Mexican industry.

The fuel mix to generate electricity effect contributed 1.6 MT CO<sub>2</sub> to the change in the CO<sub>2</sub> emissions. It was observed in industries as iron and steel, and mining, which are high electricity consumers. The share of CO<sub>2</sub> emitted by electricity consumption in the MIS went from 4.2% to 28.9% during the period (Table 6).

An important point to be noted is the participation of 'other' industries into the MIS. This group made significant contributions to the change in CO<sub>2</sub> emissions (30.8 MT CO<sub>2</sub>). This was because Mexico, like many of Newly Industrialized Countries (NIC), e.g. South Korea, Taiwan, Malaysia, Thailand, China, India, etc., shifted from traditional import-substitution policies to export-oriented policies. While Mexico and Brazil grew at fast rates during the 1960s and 1970s; the East Asian export-oriented countries grew even faster (World Bank, 1993). In addition, NAFTA, and offshore processing arrangements i.e., automotive engineering, electronic parts, and clothing items, among others boosted Mexican exports to the United States of America (U.S.A.). Mexico has become one of the most dynamic exporters in Latin America, and the largest exporter of electronic products and hardware computer components to U.S.A. Table 5 summarizes the results of the decomposition of the changes in CO<sub>2</sub> emissions per industrial branch in the MIS from 1965 to 2003.

#### Stage 1965–1982

In this stage, the decomposition results show that CO<sub>2</sub> emissions were strongly influenced by the contribution of the activity effect (38.6 MT CO<sub>2</sub>). This can be attributed to government policies such as the low pricing policy for energy combined with better energy availability that promoted energy intensive use by inefficient industries. The Mexican oil boom brought an accelerated growth in production volumes to supply the needs of incipient industrial sector, and the agricultural sector. Substantial amount of emissions were generated by industries related to exploration, and production of oil, and chemical substances to produce fertilizers. The main contributions to the CO<sub>2</sub> emission change relating to the activity effect were shown by industries such as iron and steel, chemical, cement, petrochemical, and 'others'. They represented 77.8% of the total CO<sub>2</sub> emitted by the Mexican industry from 1965 to 1982. The construction of 130 industrial parks from 1971 to 1982, through investment from public resources, stimulated the activity effect in export-oriented industries such as Iron and Steel (9.5 MT CO<sub>2</sub>), Cement (3.6 MT CO<sub>2</sub>), Chemical (3.7 MT CO<sub>2</sub>) among others.

The contribution of the structure effect to the CO<sub>2</sub> emission change in the MIS was 4.8 MT CO<sub>2</sub>. It was practically a result of the contribution by the petrochemical industry (4.4 MT CO<sub>2</sub>). During this stage, the high-priority industry was the petrochemical industry because of abundance of hydrocarbons; also, it was a source of public investment, as well as

**Table 7**  
Decomposition changes of CO<sub>2</sub> emissions per industrial branch in the Mexican industry, 1965–1982 (Mton CO<sub>2</sub>).

Mexican industrial branch	$\Delta G_C$		$\Delta S_S$		$\Delta I_1$		$\Delta C_C$		$\Delta F_F$		$\Delta CO_2$	
	Mton CO <sub>2</sub> (%)		Mton CO <sub>2</sub> (%)		Mton CO <sub>2</sub> (%)		Mton CO <sub>2</sub> (%)		Mton CO <sub>2</sub> (%)		Mton CO <sub>2</sub> (%)	
Iron and steel	9.46	(20.35)	-0.90	(-1.94)	-0.75	(-1.61)	0.14	(0.31)	-0.24	(-0.53)	7.71	(16.58)
Sugar	2.05	(4.42)	-1.54	(-3.31)	0.13	(0.28)	0.00	(0.00)	-0.03	(-0.06)	0.62	(1.33)
Cement	3.56	(7.66)	1.37	(2.95)	0.10	(0.21)	0.06	(0.14)	-0.01	(-0.03)	5.08	(10.93)
Chemical	3.65	(7.86)	1.31	(2.81)	-0.26	(-0.56)	0.06	(0.13)	-0.01	(-0.02)	4.75	(10.22)
Mining	2.27	(4.89)	0.74	(1.60)	-2.13	(-4.58)	0.19	(0.42)	-0.03	(-0.06)	1.06	(2.27)
Pulp and paper	1.46	(3.15)	0.10	(0.21)	0.09	(0.18)	0.03	(0.07)	0.00	(-0.01)	1.68	(3.61)
Glass	1.43	(3.09)	-0.18	(-0.40)	0.03	(0.07)	0.02	(0.05)	0.00	(-0.01)	1.30	(2.81)
Petrochemical	3.40	(7.32)	4.39	(9.45)	3.20	(6.89)	0.00	(0.00)	0.00	(0.00)	11.00	(23.67)
Beer and malt	0.34	(0.74)	0.01	(0.03)	-0.02	(-0.04)	0.01	(0.01)	0.00	(0.00)	0.35	(0.75)
Bottled water	0.15	(0.32)	0.02	(0.04)	-0.01	(-0.03)	0.01	(0.01)	0.00	(0.00)	0.16	(0.34)
Automotive	0.44	(0.94)	0.11	(0.24)	-0.05	(-0.10)	0.04	(0.08)	0.00	(-0.01)	0.53	(1.15)
Construction	0.16	(0.34)	0.01	(0.02)	0.12	(0.25)	0.01	(0.01)	0.00	(0.00)	0.29	(0.62)
Rubber	0.14	(0.29)	0.04	(0.09)	-0.04	(-0.10)	0.01	(0.01)	0.00	(0.00)	0.14	(0.30)
Aluminum <sup>b</sup>	0.09	(0.19)	-0.04	(-0.08)	0.11	(0.23)	0.02	(0.04)	0.04	(0.08)	0.21	(0.46)
Fertilizers	0.25	(0.53)	0.20	(0.44)	0.00	(0.01)	0.01	(0.02)	0.00	(0.00)	0.46	(1.00)
Tobacco	0.02	(0.04)	-0.01	(-0.02)	0.00	(0.00)	0.00	(0.00)	0.00	(0.00)	0.01	(0.02)
'Other' industries <sup>c</sup>	9.72	(20.91)	-0.83	(-1.79)	-0.96	(-2.07)	0.24	(0.51)	-1.59	(-3.42)	6.58	(14.15)
Mexican industrial sector	38.60	(83.03)	4.81	(10.35)	-0.45	(-0.96)	0.85	(1.82)	-1.89	(-4.06)	41.92	(90.19)

<sup>a</sup> The corresponding names of decomposition effects are as follows:  $\Delta G_C$ —activity,  $\Delta S_S$ —structure,  $\Delta I_1$ —energy intensity,  $\Delta C_C$ —fuel mix used to generate electricity,  $\Delta F_F$ —end-use fuel mix, and  $\Delta CO_2$ —Total CO<sub>2</sub> emission change.

<sup>b</sup> Available data from 1970 to 2003.

<sup>c</sup> This branch is constituted by the 41 remaining industrial branches of the MIS.

a platform of exports and generation of income because of its link with diverse industrial activities such as textiles, food processing, automotive, and construction, among others.

The energy intensity effect contributed -0.4 MT CO<sub>2</sub> to mitigate the CO<sub>2</sub> emissions in the MIS. Mining, and 'other' industries showed significant contributions to mitigation as a result of a better growth of their added value than their final energy consumption. On the other hand, petrochemical industry tended to increase emissions.

The end-use fuel mix effect (-1.9 MT CO<sub>2</sub>) contributed to mitigate the CO<sub>2</sub> emissions. This contribution was mainly carried out by iron and steel, and 'other' industries. They were the most representative final

energy consumers of fuel oil, and natural gas. In this stage, the end-use fuel mix in the MIS reduced the share of fuel oil consumption (-11.9%) while natural gas consumption increased its share at 16.6% (16.6%).

The fuel mix to generate electricity effect (0.9 MT CO<sub>2</sub>) increased the CO<sub>2</sub> emissions in the MIS. Iron and steel, mining, and 'other' industries were the main contributors relating to this effect.

The results show that Mexican government strategies to improve the industrialization of the country brought an important economic development by virtue of availability of cheap and abundant energy resources; however, it was not enough to consolidate the industrial

**Table 8**  
Decomposition changes of CO<sub>2</sub> emissions per industrial branch in the Mexican industry, 1982–1994 (Mton CO<sub>2</sub>).

Mexican industrial branch	$\Delta G_C$		$\Delta S_S$		$\Delta I_1$		$\Delta C_C$		$\Delta F_F$		$\Delta CO_2$	
	Mton CO <sub>2</sub> (%)		Mton CO <sub>2</sub> (%)		Mton CO <sub>2</sub> (%)		Mton CO <sub>2</sub> (%)		Mton CO <sub>2</sub> (%)		Mton CO <sub>2</sub> (%)	
Iron and steel	3.44	(7.41)	0.75	(1.62)	-2.66	(-5.73)	0.07	(0.14)	-0.18	(-0.39)	1.42	(3.06)
Sugar	0.83	(1.77)	0.18	(0.39)	-0.69	(-1.48)	0.00	(0.00)	-0.16	(-0.35)	0.16	(0.35)
Cement	1.77	(3.82)	1.58	(3.40)	-2.24	(-4.81)	0.08	(0.16)	0.03	(0.06)	1.21	(2.61)
Chemical	1.71	(3.72)	0.76	(1.64)	-0.80	(-1.72)	0.07	(0.15)	0.02	(0.03)	1.76	(3.78)
Mining	0.79	(1.70)	-0.41	(-0.87)	0.55	(1.19)	0.09	(0.19)	0.02	(0.04)	1.05	(2.25)
Pulp and paper	0.87	(1.87)	0.38	(0.81)	-0.52	(-1.13)	0.04	(0.09)	-0.11	(-0.24)	0.65	(1.41)
Glass	0.45	(0.97)	0.34	(0.72)	-1.05	(-2.26)	0.02	(0.05)	0.03	(0.06)	-0.22	(-0.46)
Petrochemical	2.04	(4.40)	6.19	(13.31)	-15.80	(-34.00)	0.00	(0.00)	0.22	(0.48)	-7.35	(-15.81)
Beer and malt	0.19	(0.40)	0.10	(0.22)	0.00	(0.00)	0.01	(0.02)	-0.07	(-0.15)	0.23	(0.49)
Bottled water	0.11	(0.23)	0.03	(0.07)	0.22	(0.48)	0.01	(0.02)	-0.02	(-0.04)	0.35	(0.76)
Automotive	0.08	(0.16)	0.15	(0.33)	-0.55	(-1.19)	0.03	(0.06)	0.00	(-0.01)	-0.30	(-0.64)
Construction	0.10	(0.21)	-0.02	(-0.04)	0.09	(0.18)	0.01	(0.02)	0.00	(0.00)	0.17	(0.36)
Rubber	0.08	(0.16)	-0.04	(-0.08)	0.01	(0.03)	0.00	(0.01)	0.01	(0.03)	0.07	(0.15)
Aluminum <sup>b</sup>	0.08	(0.17)	0.00	(0.00)	-0.07	(-0.16)	0.01	(0.02)	0.00	(0.01)	0.02	(0.04)
Fertilizers	0.20	(0.42)	-0.25	(-0.54)	0.21	(0.46)	0.01	(0.02)	0.08	(0.18)	0.25	(0.54)
Tobacco	0.01	(0.01)	-0.01	(-0.02)	0.00	(0.00)	0.00	(0.00)	0.00	(0.00)	0.00	(0.00)
'Other' industries <sup>c</sup>	3.17	(6.82)	-0.14	(-0.29)	-1.05	(-2.25)	0.68	(1.45)	0.68	(1.45)	3.34	(7.18)
Mexican industrial sector	15.90	(34.21)	9.60	(20.65)	-24.34	(-52.37)	1.12	(2.40)	0.55	(1.17)	2.82	(6.06)

<sup>a</sup> The corresponding names of decomposition effects are as follows:  $\Delta G_C$ —activity,  $\Delta S_S$ —structure,  $\Delta I_1$ —energy intensity,  $\Delta C_C$ —fuel mix used to generate electricity,  $\Delta F_F$ —end-use fuel mix, and  $\Delta CO_2$ —total CO<sub>2</sub> emission change.

<sup>b</sup> Available data from 1970 to 2003.

<sup>c</sup> This branch is constituted by the 41 remaining industrial branches of the MIS.

## Author's personal copy

D. González, M. Martínez / Energy for Sustainable Development 16 (2012) 204–215

213

sector as the driving force of the Mexican economy. Table 7 summarizes the results of the decomposition of the changes in CO<sub>2</sub> emissions per industrial branch in the MIS from 1965 to 1982.

## Stage 1982–1994

The total change of CO<sub>2</sub> emissions presented a slight increase (2.8 MT CO<sub>2</sub>) in the MIS during this stage. The results of decomposition changes of CO<sub>2</sub> show that contributions from the effects of activity (15.9 MT CO<sub>2</sub>), structure (9.6 MT CO<sub>2</sub>), and to a lesser extent from fuel mix to generate electricity (1.1 MT CO<sub>2</sub>), and end-use fuel mix (0.6 MT CO<sub>2</sub>) promoted the increases of CO<sub>2</sub> in the MIS. On the other hand, the effects of energy intensity (−24.3 MT CO<sub>2</sub>) mitigated them.

The contribution of the activity effect to the total change of CO<sub>2</sub> was mainly observed in iron and steel, petrochemical, chemical, cement, and 'other' industries, which are strongly export-oriented industries, and are well organized to attract foreign capital investment. The lower industrial activity in this stage can be attributed to the economic crisis in 1982, the Mexico's city earthquake in 1985, and international oil prices variability, among other factors. The industrial GDP grew at 2.1% AAGR.

The contribution of the structure effect to the total CO<sub>2</sub> emission change was clearly identified in industries such as petrochemical (6.2 MT CO<sub>2</sub>), and cement industries (1.6 MT CO<sub>2</sub>). Mexico's entry into the GATT in 1986 brought fundamental structural changes into the national economy as well as into the industrial sector. It promoted the opening up of state industries (iron and steel, petrochemical, fertilizers, mining, and sugar) to improve their efficiency, and face international competitiveness. The major change took place in the petrochemical industry. It was opened up to national and foreign private investment in the production of petrochemical products that were exclusively produced by PEMEX (Petróleos Mexicanos) at that time.

The energy intensity effect contributed to mitigate the total CO<sub>2</sub> emission change. Iron and steel, cement, glass, and 'others' were the most representative industries of this during this stage. They promoted a better use of natural and human resources, and put into operation technological advances that brought reductions in their final energy

demand; and increased their exports under the auspices of the government policies. In the case of the petrochemical industry, its contribution can be attributed to its declining production, and a decrease in its sales volumes.

The effects of end-use fuel mix, and fuel mix to generate electricity contributed to increase the CO<sub>2</sub> emissions. The contributions of both effects were observed predominantly in 'other' industries. In 1982, consumptions of natural gas and fuel oil constituted 70.7% of the total final energy demanded by the MIS, but in 1994, they constituted 57.0%. Additionally, 'other' industries increased their electricity consumption share from 5.2% to 11.2%, and reduced their natural gas consumption share from 15.2% to 8.0% (Table 6).

In general terms, the effects of activity, structure, and energy intensity took control of the CO<sub>2</sub> emission performance during this stage. The strategies, and policies of the Mexican government in response to the crisis in 1982 to clean up the public finances, led to the privatization of state owned companies, economy deregulation, free trade, and promotion of foreign direct investment (FDI). Table 8 summarizes the results of the decomposition of the changes in CO<sub>2</sub> emissions per industrial branch in the MIS from 1982 to 1994.

## Stage 1994–2003

The total CO<sub>2</sub> emission change was 1.7 MT CO<sub>2</sub> during this stage. The results of the decomposition showed that the activity effect tended to increase the CO<sub>2</sub> emissions, but the others tended to mitigate them.

The activity effect contributed 16.7 MT CO<sub>2</sub> increase by the MIS. During this period the FDI increased, and it brought increases in demand of products; and in production by export-led industries, e.g., iron and steel, cement, chemical, sugar, and 'other' industries (they became significant contributors to the increase in emissions).

The contribution of the structure effect to the total change of CO<sub>2</sub> emitted by the MIS was −2.6 MT CO<sub>2</sub>. Iron and steel industry tended to increase emissions, but the petrochemical, and cement industries tended to mitigate them. In the case of petrochemical industry and industries linked to it, the emissions were reduced because of the closures of certain petrochemical facilities, e.g., Reynosa, Camargo, Pajaritos, Escolín, Cosoleacaque, and Cangrejera during this stage.

**Table 9**  
Decomposition changes of CO<sub>2</sub> emissions per industrial branch in the Mexican industry, 1994–2003 (Mton CO<sub>2</sub>).

Mexican industrial branch	ΔG <sub>C</sub>		ΔS <sub>S</sub>		ΔI <sub>I</sub>		ΔC <sub>C</sub>		ΔF <sub>F</sub>		ΔCO <sub>2</sub>	
	Mton CO <sub>2</sub> (%)		Mton CO <sub>2</sub> (%)		Mton CO <sub>2</sub> (%)		Mton CO <sub>2</sub> (%)		Mton CO <sub>2</sub> (%)		Mton CO <sub>2</sub> (%)	
Iron and steel	4.25	(9.15)	1.84	(3.97)	−4.73	(−10.18)	−0.04	(−0.08)	−0.73	(−1.58)	0.59	(1.28)
Sugar	0.71	(1.54)	−0.05	(−0.10)	−0.42	(−0.91)	0.00	(0.00)	−0.60	(−1.28)	−0.35	(−0.75)
Cement	1.59	(3.42)	−1.31	(−2.82)	0.14	(0.30)	−0.03	(−0.07)	−0.46	(−0.99)	−0.08	(−0.17)
Chemical	2.05	(4.40)	−0.53	(−1.14)	−2.04	(−4.39)	−0.05	(−0.10)	−0.57	(−1.44)	−1.24	(−2.66)
Mining	0.99	(2.13)	−0.21	(−0.44)	−0.44	(−0.94)	−0.04	(−0.09)	0.02	(0.05)	0.33	(0.71)
Pulp and paper	0.67	(1.45)	0.11	(0.23)	−1.50	(−3.22)	−0.03	(−0.06)	−0.02	(−0.05)	−0.77	(−1.65)
Glass	0.45	(0.97)	−0.01	(−0.02)	−0.31	(−0.66)	−0.01	(−0.02)	0.03	(0.07)	0.16	(0.34)
Petrochemical	0.77	(1.65)	−2.33	(−5.00)	−1.12	(−2.41)	0.00	(0.00)	−0.07	(−0.16)	−2.75	(−5.93)
Beer and malt	0.21	(0.46)	0.19	(0.41)	−0.11	(−0.25)	0.00	(−0.01)	0.03	(0.06)	0.31	(0.68)
Bottled water	0.13	(0.27)	0.06	(0.13)	−0.08	(−0.18)	0.00	(−0.01)	−0.01	(−0.02)	0.09	(0.19)
Automotive	0.12	(0.25)	0.14	(0.30)	−0.12	(−0.25)	0.00	(−0.01)	0.01	(0.03)	0.15	(0.32)
Construction	0.10	(0.22)	−0.08	(−0.17)	0.03	(0.06)	0.00	(−0.01)	0.01	(0.01)	0.06	(0.12)
Rubber	0.08	(0.17)	−0.06	(−0.14)	0.10	(0.21)	0.00	(0.00)	0.00	(−0.01)	0.11	(0.23)
Aluminum <sup>b</sup>	0.07	(0.16)	0.01	(0.02)	−0.08	(−0.16)	0.00	(0.01)	−0.01	(−0.01)	0.01	(0.01)
Fertilizers	0.19	(0.41)	−0.54	(−1.16)	−0.20	(−0.44)	−0.01	(−0.01)	−0.06	(−0.13)	−0.61	(−1.32)
Tobacco	0.01	(0.02)	−0.01	(−0.02)	0.00	(0.00)	0.00	(0.00)	0.00	(0.00)	0.00	(0.00)
'Other' industries <sup>c</sup>	4.26	(9.16)	0.16	(0.34)	3.46	(7.45)	−0.09	(−0.20)	−2.05	(−4.40)	5.74	(12.35)
Mexican industrial sector	16.65	(35.82)	−2.60	(−5.60)	−7.41	(−15.95)	−0.31	(−0.66)	−4.58	(−9.86)	1.74	(3.75)

<sup>a</sup> The corresponding names of decomposition effects are as follows: ΔG<sub>C</sub>—activity, ΔS<sub>S</sub>—structure, ΔI<sub>I</sub>—energy intensity, ΔC<sub>C</sub>—fuel mix used to generate electricity, ΔF<sub>F</sub>—end-use fuel mix, and ΔCO<sub>2</sub>—total CO<sub>2</sub> emission change.

<sup>b</sup> Available data from 1970 to 2003.

<sup>c</sup> This branch is constituted by the 41 remaining industrial branches of the MIS.

The energy intensity effect contributed 7.4 MT CO<sub>2</sub> to mitigate the CO<sub>2</sub> emissions. Industries such as iron and steel, chemical, pulp and paper, and petrochemical tended to decrease the carbon emissions as a result of implementation of energy saving programs, quality systems, and substitution of fossil fuels in industrial processes to be more efficient and competitive at international level. On the other hand, 'other' industries tended to increase the carbon emissions because of an increase of final energy consumption growth (4.6% AAGR), and a modest contribution growth to the industrial GDP (2.8% AAGR).

The effects of fuel mix to generate electricity, and the end-use fuel mix contributed to mitigate the CO<sub>2</sub> emissions at 0.3, and 4.6 MT CO<sub>2</sub> respectively. These contributions were mainly observed in industries such as iron and steel, chemical, and 'other' industries that increased their combined final energy share consumption in the MIS from 55.5% to 61.3% along this stage. Additionally, they were the major electricity consumers in the Mexican industry by passing from combined 15.1% share consumption in 1994 to 23.9% in 2003. The electricity consumption in the MIS increased by 8.7%, while natural gas and fuel oil consumption decreased by 1.7%, and 7.3% respectively during the stage (Table 6).

The CO<sub>2</sub> contributions showed by the decomposition analysis were influenced by the process of opening up to international trade that started in this stage. The NAFTA integrated by The United States of America, Canada, and Mexico; and trade agreements with countries such as Costa Rica, Colombia, Venezuela, Bolivia, Chile, Nicaragua, Israel, Honduras, Guatemala, El Salvador, Europe Association (Iceland, Liechtenstein, Norway, Switzerland), and European Union are some of the free international trade agreements signed by Mexico's government. It brought about a growingly necessity to modernize and improve the production base to face the new conditions of becoming internationally competitive. Table 9 summarizes the results of the decomposition of the changes in CO<sub>2</sub> emissions per industrial branch in the MIS from 1994 to 2003.

#### Policy implications

According to the International Monetary Fund (IMF, 2011), Mexico is the fourteenth (14th) largest economy in the world, and the second in Latin America. It accounts for 2.5% and 2.6% of the world's total exports and imports to become the 10th largest exporter and importer worldwide, respectively (World Trade Organization, WTO, 2011). In addition, Mexico has signed 11 Free Trade Agreements with 43 countries, including United States, Canada, the European Union and Japan, some of the largest markets in the world. In 2009, the Mexican government announced a target to reduce its greenhouse gas emissions up to 30% by 2020, and 50% by 2050 as compared to 2000 levels. Moreover, it projected an annual reduction of 51 million tons of CO<sub>2</sub> equivalent per year by 2012 by putting the Special Climate Change Program into practice (PECC, 2009–2012). However, the most recent report from the PECC (2011) communicated that the Mexican industry had reached a decrease of 0.10 MT CO<sub>2</sub> out of 0.52 MT CO<sub>2</sub> committed by 2012. It means that the decision-making process to make the right choices to reach the objectives, in the medium and long-term, will have to make use of all the available and reliable information that can help to the government authorities to learn from past experiences, and prevent negative inertial tendencies that can influence the environmental and economic performance of the country.

The present analysis shows that the performance and significance of the Mexican industrial sector throughout the period (1965–2003) have been influenced by the orientation of the Mexican economic model. It moved from a closed economy based on a system of import-substitution strategies, and strong protectionism to the national industrial base, towards a more open, export-oriented economy that emphasizes the contribution of the manufacturing sector to export in the context of free international trade. The Mexican industry has enhanced its competence to face the national and international

market. Its final energy consumption, and its economic contribution to the national economy have shown a modest growth tendency along the analyzed period, but its environmental impact is a challenge that needs to be addressed. Industries such as iron and steel, cement and chemical are considered as the most efficient industries in the Mexican industry due to the competitive environment in which they operate. However, a growing number of small and medium enterprises, which contribute their share of GHG emissions (mostly CO<sub>2</sub>) have been increasing in the last few years and they do not have enough financing, and technical support to improve their operating efficiency to reduce fuel consumption, and make better use of their resources, and infrastructure. In addition, since Mexico is a large oil producer, its easy accessibility to fossil fuels has restrained the development and use of renewable energy resources, which might help to strengthen Mexican energy security, and establish the path to a low-carbon economy in future years.

Based on the above findings, to support CO<sub>2</sub> mitigation in the MIS, the government should aim at the promotion of strategies that contribute to improving the energy savings by enhancing the industrial energy efficiency, and expanding the implementation of energy management programs. Furthermore, establishing a policy and regulatory framework that provides financial incentives for developing or acquiring green technologies, and fuel switching to less carbon emitting ones should be considered. Energy-intensive industries, such as automotive, pulp and paper, glass, aluminum that are export oriented industries should be a priority for introducing advanced technologies by benchmarking and adopting best practices to reduce and bring their energy consumption levels close to the international values. Moreover, the Mexican industries should be more proactive and learning oriented to adopt and establish best practices, technical standards, and training programs that lead them to improve their national and international competitiveness by enhancing productivity. Finally, since the share of electricity consumption by the MIS has grown significantly the introduction of wind, geothermal, hydraulic, biomass, and sun energy sources for generating electricity might be vital factors to achieve significant advances in carbon emission mitigation. In addition, in view of the fact that Mexico's oil production is declining and can lead to serious energy security issues to supply not only the growing industrial energy demand but the national demand as well, the introduction of renewable energy sources is essential. This will also be an important step towards sustainable development.

#### Conclusions

The paper presents a decomposition analysis based on the Refined Laspeyres Index (RLIM) to comprehend the changes that affected the CO<sub>2</sub> emissions in the MIS from 1965 to 2003, through understanding the effect of five factors: activity, structure, energy intensity, fuel mix to generate electricity, and end-use energy fuel mix. The economic data were standardized taking 1993 as the base year. The CO<sub>2</sub> emissions went from 18.6 MT CO<sub>2</sub> in 1965 to 65.1 MT CO<sub>2</sub> in 2003 implying an increase of 250.2%. Iron and steel, cement, chemical, petrochemical, and mining emitted 58.6% of the total CO<sub>2</sub> emissions during the period.

The activity effect was the factor that strongly influenced the CO<sub>2</sub> emission increases during the period and each stage (Table 4). Iron and steel, cement, chemical, petrochemical, and 'other' industries were the main representative industries that contributed to it in each stage. On the other hand, the contributions of energy intensity effect helped considerably to mitigate the CO<sub>2</sub> emissions. The decomposition analysis showed that the influence of the energy intensity effect was limited from 1965 to 1982 due to inefficient energy use because of cheap energy availability, and protectionist policies on the domestic market. Furthermore, the crisis in 1982, and unstable oil prices in the world brought about a notable consciousness of the real value of energy, as well as its environmental implications. Thereafter, the contribution of energy intensity effect to the CO<sub>2</sub> emission change in the MIS increased its potential to mitigate the CO<sub>2</sub> emitted in

the subsequent stages. Iron and steel, chemical, and petrochemical industries played a significant role because of their decreases in CO<sub>2</sub> emissions from 1965 to 2003. The structure effect contributed to increase the carbon emissions and its performance was clearly influenced by the actions taken by the government in opening up the petrochemical industry to private investment. In addition, the opening up of the state-owned industries such as iron and steel, cement, fertilizers, and sugar among other industries to private investment contributed to increase the effect in the total CO<sub>2</sub> emissions. The effects of fuel mix to generate electricity tended to increase the CO<sub>2</sub> emitted and the 'other' industries were the most representative industries of this effect. Its electricity consumption share in the MIS grew from 1.0% in 1965 to 20.1% in 2003. The end-use fuel mix effect contributed to mitigate the CO<sub>2</sub> emissions as a result of less energy consumption of fuel oil (28.0% to 14.9% from 1965 to 2003), and natural gas (37.1 to 33.6 from 1965 to 2003).

To summarize, Mexico like many newly industrialized countries (NIC) moved from a closed economy based on the import-substitution industrialization model to an export-oriented economy, and free international trade. As a result, the industrial economic activities have become more important for the development of the national economy. Additionally, international adjustments as a result of free trade make it necessary for Mexico to reconsider its industrial policy, rules and regulations towards a balanced use of financial and fiscal incentives; as well as a rational exploitation of natural, and human resources to achieve sustainable competitiveness. Thus, the involvement of the government in the improvement of policies to mitigate CO<sub>2</sub> emissions is the challenge, now, and in the immediate future. Introduction of new improvements and innovation should be promoted in the industrial sector to increase its quality, competitiveness, and productivity. Finally, this analysis provides useful information that might be applied in the improvement of carbon mitigation policies. Adjustments in the activity and structure have produced an increase in carbon emissions, while adjustments in energy intensity have decreased them over the period. Therefore, to maximize even further the process for reducing CO<sub>2</sub> emission, the next step should be to find a way to reduce industrial energy intensity, while the influence of the activity and structural effects in CO<sub>2</sub> emissions is reduced without affecting the economic development of the country. In addition, a fuel mix based on fossil fuels demanded by the industrial sector has remained as is with no significant changes since 1965 to 2003. Thus, alternative policy options focused in the implementation of renewable energy technology, e.g. solar energy, winds power, geothermal energy, etc., less intensive carbon fuels such as liquefied natural gas, and clean development mechanisms (CDM) could emerge as rational answers to mitigate the CO<sub>2</sub> emissions, and achieve sustainable development of the economy.

#### Acknowledgments

The authors would like to thank to the editors and anonymous referees for their valuable suggestions and corrections through the review process to improve the content of this manuscript.

#### References

- Albrecht J, Francois D, Schoors K. A Shapley decomposition of carbon emissions without residuals. *Energy Policy* 2002;30:727–36.
- Alcántara V, Padilla E. "Key" sectors in final energy consumption: an input-output application to the Spanish case. *Energy Policy* 2003;31(15):1673–8.
- Alcántara V, Padilla E. An input-output analysis of the "key" sectors in CO<sub>2</sub> emissions from a production perspective: an application to the Spanish economy. *Departament d'Economia Aplicada. Facultat de Ciències Econòmiques i Empresariales, Universitat Autònoma de Barcelona*; 2006.
- Ang BW. Decomposition of industrial energy consumption: the energy intensity approach. *Energy Economics* 1994;16(3):163–74.
- Ang BW. Multilevel decomposition of industrial energy consumption. *Energy Economics* 1995a;17(1):39–51.
- Ang BW. Decomposition methodology in industrial energy demand analysis. *Energy* 1995b;20(11):1081–95.
- Ang BW. Decomposition analysis for policymaking in energy: which is the preferred method? *Energy Policy* 2004;32:1131–9.
- Ang BW, Choi KH. Decomposition of aggregate energy and gas emission intensities for industry: a refined Divisia index method. *Energy Journal* 1997;18(3):59–73.
- Ang BW, Liu FL. A new energy decomposition method: perfect in decomposition and consistent in aggregation. *Energy* 2001;26(6):537–48.
- Ang BW, Liu FL, Chew EP. Perfect decomposition techniques in energy and environmental analysis. *Energy Policy* 2003;31(14):1561–6.
- Ang BW, Pandiyan G. Decomposition of energy-induced CO<sub>2</sub> emissions in manufacturing. *Energy Economics* 1997;19(3):363–74.
- Ang BW, Zhang FQ, Choi KH. Factorizing changes in energy and environmental indicators through decomposition. *Energy* 1998;23(6):489–95.
- Ang BW, Zhang FQ. A survey of index decomposition analysis in energy and environmental studies. *Energy* 2000;25:1149–76.
- Boyd G, McDonald JF, Ross M, Hanson DA. Separating the changing composition of US manufacturing production from energy efficiency improvements: a Divisia index approach. *Energy Journal* 1987;8(2):77–96.
- Centro de Estudios de las Finanzas Públicas, CEFP. Encadenamiento de series históricas del Producto Interno Bruto de México 1970–2001. Cámara de Diputados: H. Congreso de la Unión; 2003. CEFP/012/2003.
- Chang YF, Lin SJ. Structural decomposition of industrial CO<sub>2</sub> emission in Taiwan: an input-output approach. *Energy Policy* 1998;26(1):5–12.
- Choi KH, Hong AW. Decomposition of aggregate energy intensity changes in two measures: ratio and difference. *Energy Economics* 2003;25(6):615–24.
- Chung HS, Rhee HC. A residual-free decomposition of the sources of carbon dioxide emissions: a case of the Korean industries. *Energy* 2001;26(1):15–30.
- Farla J, Blok K, Schipper L. Energy efficiency developments in the pulp and paper industry: a cross-country comparison using physical production data. *Energy Policy* 1997;25(7–9):745–58.
- Galindo LM. Short and long-run demand for energy in Mexico: A cointegration approach. *Energy Policy* 2005;33(9):1179–85.
- Hetherington R. An input-output analysis of carbon dioxide emissions for the UK. *Energy Commission Management* 1996;37(6–8):979–84.
- Hoekstra R, Van der Bergh JQM. Comparing structural and index decomposition analysis. *Energy Economics* 2003;25(1):39–64.
- Howarth RB, Schipper L, Duerr PA, Strom S. Manufacturing energy use in eight OECD countries: decomposing the impacts of changes in output, industry structure and energy intensity. *Energy Economics* 1991;13(2):135–42.
- Hsu CH, Hsu AC. Energy intensity in Taiwan's industrial sectors: Divisia index vs Laspeyres index. *Proceedings of the 16th annual international conference on the international association for energy economics*, July 27–29, Bali Indonesia; 1993. p. 9.23–38.
- Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC). Guidelines on GHG inventory. *Module 1*, 1.7; 1996.
- İspirli Z, Junc G, Türüt-Aşık Serap, Akbostancı Elif. A decomposition analysis of CO<sub>2</sub> emissions from energy use: Turkish case. *Energy Policy* 2009;37:4689–99.
- Jee Kihoon, Oh Wankeun. Analysis of CO<sub>2</sub> emissions in APEC countries: A time-series and a cross-sectional decomposition using the log mean Divisia method. *Energy Policy* 2006;34:2779–87.
- Liaskas K, Mavrotas G, Mandaraka M, Diakoulaki D. Decomposition of industrial CO<sub>2</sub> emissions: the case of European Union. *Energy Economics* 2000;22(4):383–94.
- Ozawa L, Sheinbaum C, Martin N, Worrell E, Price L. Energy use and CO<sub>2</sub> emissions in Mexico's iron and steel industry. *Energy* 2002;27(3):225–39.
- Park SH. Decomposition of industrial energy consumption—an alternative method. *Energy Economics* 1992;14(4):265–70.
- Schipper L, Scholl L, Price L. Energy use and carbon emissions from freight in 10 industrialized countries: an analysis of trends from 1973 to 1992. *Transp Res D: Transp Environ* 1997a;2(1):57–76.
- Schipper L, Ting M, Khrushch M, Golove W. The evolution of carbon dioxide emissions from energy use in industrialized countries: an end-use analysis. *Energy Policy* 1997b;25(7/9):651–72.
- Sheinbaum C, Ozawa L. Energy use and CO<sub>2</sub> emissions for Mexico's cement industry. *Energy* 1998;23(9):725–32.
- Sheinbaum C, Ozawa L, Castillo D. Using logarithmic mean Divisia index to analyze changes in energy use and carbon dioxide emissions in Mexico's iron and steel industry. *Energy Economics* 2010;32(6):1337–44.
- Sheinbaum C, Rodríguez L. Recent trends in Mexican industrial energy use and their impact on carbon dioxide emission. *Energy Policy* 1997;25(7–9):825–31.
- Sheinbaum C, Ruiz BJ, Ozawa L, in press. Energy consumption and related CO<sub>2</sub> emissions in five Latin American countries: Changes from 1990 to 2006 and perspectives. *Energy*. Corrected Proof. Available online 30 August 2010.
- Sun JW. Changes in energy consumption and energy intensity: a complete decomposition model. *Energy Economics* 1998;20(1):85–100.
- Sun JW, Ang BW. Some properties of an exact energy decomposition model. *Energy* 2000;25:1177–88.
- Stern T. Structural change and technology choice: energy use in Mexican manufacturing industry, 1970–1981. *Energy Economics* 1985;7(2):77–86.
- Stern T. Energy use in Mexican Industry (El uso de la energía en la industria Mexicana). A.C. El Colegio de México; 1987.
- Tezuka T, Kaya Y. Energy analysis of Japanese industries: a time series analysis. *Technol Forecast Soc Change* 1984;25(1):49–60.
- Torvanger A. Manufacturing sector carbon dioxide emissions in nine OECD countries, 1973–1987: A Divisia index decomposition to changes in fuel mix, emission coefficients, industry structure, energy intensities and international structure. *Energy Economics* 1991;13(3):168–86.
- World Bank. The East Asian miracle: economic growth and public policy. Oxford: Oxford University Press; 1993.
- Yabe N. An analysis of CO<sub>2</sub> emissions of Japanese industries during the period between 1985 and 1995. *Energy Policy* 2004;32(5):595–610.

## Changes in CO<sub>2</sub> Emission Intensities in the Mexican Industry

**Domingo González<sup>a, \*</sup> and Manuel Martínez<sup>a</sup>**

<sup>a</sup>. Centro de Investigación en Energía, Universidad Nacional Autónoma de México, Apartado Postal 34, 62580, Temixco, Morelos, México.

### **Abstract.**

A CO<sub>2</sub> emission intensity analysis in the Mexican industry from 1965 to 2010 is carried out by taking into consideration four stages: 1965-1982, 1982-1994, 1994-2003, and 2004-2010. Based on the LMDI decomposition methodology, three influencing factors are analyzed: energy intensity, CO<sub>2</sub> coefficient, and structure in terms of their contributions of each individual attributes to the overall percent change of them as it was proposed in Choi and Ang (2011). The energy intensity effect was the driving factor behind the main decreases of CO<sub>2</sub> intensity, the CO<sub>2</sub> coefficient effect contributed to less extent to mitigate it, and the structure effect tended to increased it. It is observed that CO<sub>2</sub> intensity declined by 26.2% from 1965 to 2003, but it increased by 10.1% from 2004 to 2010. In addition, the move of Mexico from an economic model based on import-substitution to an export-oriented economy brought more importance to the Mexican industry intended to export, thus maintaining high levels of activity of industries such as cement, iron and steel, chemical, and petrochemical, while industries such as automotive, and 'other' industries grown significantly not only as far their energy consumptions and related CO<sub>2</sub> emissions but they also increased their contributions to the national economy.

**Keyword keys:** Industrial CO<sub>2</sub> emission intensity, Mexican industrial sector, Divisia index.

---

\* Corresponding author: Tel.: +52 (55) 56229791, Fax: +52 (55) 56229791.  
E-mail address: [dogoz@cie.unam.mx](mailto:dogoz@cie.unam.mx) (D. González)

## 1. Introduction.

Mexico's economy is the twelfth largest emitter of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) in the world (IEA, 2011). The 80.0% (average share from 1965 to 2010) of total Mexican CO<sub>2</sub> emissions from end-use energy consumption have derived from transport and industrial sectors. The present study focuses in the Mexican industrial sector (MIS); it is the second most important sector as for end-use energy consumption; behind of the transport sector. In 2010, the MIS represented 29.3% of the total end-use energy consumption of the country, but formerly, in 1965, it was the first sector by representing a share of 34.4%. Thereby, the MIS is at present time the second largest CO<sub>2</sub> emitter in the country, the CO<sub>2</sub> emitted went from 18.5 Mt CO<sub>2</sub> in 1965 to 81.2 Mt CO<sub>2</sub> in 2010 (Mt-Million tons). It represented an average share of 34.7 % of total CO<sub>2</sub> emitted along the period; the transport sector emitted 46.3%. Additionally, the contribution of the MIS to the national Gross Domestic Product (GDP) has accounted an average share of 26.0% from 1965 to 2010 to become the leading force of the Mexican economy above the housing sector (22.2%), and commercial sector (20.5%).

Factors such as intensive energy use due to population growth, large-scale use of technological products, and higher economic growth, have influenced the increasing of greenhouse gas emissions (GHG) around the world, and have led to substantial changes in CO<sub>2</sub> emissions at the middle and long-term trends. In those more than forty years, the Mexican economy has experienced an important change from a closed and protective economy based on import-substituting industrialization to an open economy based on export-led growth, and a free international trading system. That economic change has underlined the role of the Mexican industry not only as a large energy consumer and CO<sub>2</sub> emitter but also as the main contributor to the national economy. The strengthening of the industrial sector has brought the expansion and adjustment of the industrial activities in accordance with the prevailing economic model to become an essential factor to support the economic development of the country, and consequently, it has contributed to increase the CO<sub>2</sub> emissions related to energy consumption. In that regard, reliable information about factors that have performed the CO<sub>2</sub> emission trends is essential to assist the authorities and policy-makers to support the development of strategies and policies oriented to mitigate the negative effects of the CO<sub>2</sub> emissions on the environment, also taking into account the economic growth that allow the country to go up and establish a sustainable development path.

Therefore, this study analyzes and quantifies the final energy-related carbon intensity in the Mexican industry with the aim of providing reliable information that might help to understand the driving forces behind of industrial CO<sub>2</sub> emission growth. The CO<sub>2</sub> emission intensity, as well called carbon intensity, is the ratio of carbon dioxide emitted from the combustion of particular fuel to monetary unit of GDP. It is an indicator comparable to energy intensity, which is the ratio of amount of energy consumption per monetary unit of GDP. Both of them are indicators used to comprehend and measure the energy use and the environment impact related to economic development in a country. To understand the changes of CO<sub>2</sub> intensity in the MIS, the present study will carry out a decomposition analysis in the Mexican industry over the period 1965-2010. The decomposition analysis is a widely accepted policy-tool to discern, identify, measure, and trace the changes among different indicators such as energetic, economic, and environmental indicators related to concentration of greenhouse gas emissions (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O). In addition, it might provide valuable information, support, and guidance for assisting policy-makers, and government authorities to develop and improve effective policies, and programs to help reach the targets that Mexico has agreed on to reduce its GHG, and in particular its CO<sub>2</sub> emissions.

The study is organized as follows: Section 2 reviews the literature as for the decomposition methodology applied at international and national levels. Section 3 shows the data by giving a review of the evolution of the main indicators used in this study. Section 4 shows the formulation of the decomposition methodology applied. Section 5 presents the results of the contribution and attribution



decomposition analyses. Section 6 exposes some possible policy implications of the study, and finally, some concluding remarks are exposed in section 7.

## 2. Literature review.

A number of decomposition analyses have been conducted since the late seventies to date, they were firstly used to understand the influencing factors behind energy consumption, and then for knowing the impact on environment due to energy consumption and economic development. For instance, Liu and Ang (2007), Liu (2004), Ang (2004), Hoekstra and Van der Bergh (2003), Ang and Zhang (2000), and Liaskas et al. (2000) among others have conducted reviews on decomposition methodologies applied into different economic sectors by many countries. Furthermore, they have discussed their particular advantages and weaknesses as reference and guidance for an appropriate decomposition methodology selection. To date, the decomposition methodology has evolved since the seventies to offer steady results and explanations in the analyses based on indicators, for instance, Boyd et al. (1987) proposed the Divisia index, Ang and Choi (1997) introduced the logarithmic mean Divisia index I (LMDI-I), Sun (1998) proposed the refined Laspeyres index (RLIM), Ang and Liu (2001) introduced the logarithmic mean Divisia index II (LMDI-II), Boyd and Roop (2004) proposed the chain weighted Fisher Ideal Index as a formula to solve the residual problem, Choi and Ang (2011) extended the methodology of the Divisia index decomposition by introducing an attribution analysis of index to the Index Decomposition Analysis (IDA) in energy related studies.

In the case of Mexico, the decomposition methodology has been applied few times; for instance, Sterner (1985 and 1987) studied the energy use in the Mexican manufacturing sector from 1970 to 1981 by means of the Laspeyres and Paasche indexes in terms of five production factors: capital, labor, material, electricity consumption, and fuel mix. Sheinbaum and Rodríguez (1997) based on Schipper et al. (1992) conducted a decomposition analysis of the energy use trends regarding to CO<sub>2</sub> emissions in the MIS for the period 1987-1993. Sheinbaum and Ozawa (1998) analyzed the Mexican Cement industry by using the studies presented in Sheinbaum and Rodríguez (1997). Ozawa et al. (2002) analyzed the changes in terms of activity, structure, and energy efficiency effects in the primary energy consumption of the Mexican iron and steel industry by applying the physical production index indicated in Farla et al. (1997). Galindo (2005) conducted an econometric model to analyze the energy consumption as a function of its output and its real price in the Mexican economy, including the industrial sector from 1965 to 2001. Sheinbaum et al. (2010a) used the LMDI to analyze the energy consumption and its related CO<sub>2</sub> emissions in the Mexican iron and steel industry by considering its industrial structure and best available technology over the period 1970-2006. Sheinbaum et al. (2010b) conducted a comparative study by means of the LMDI to identify the changes in CO<sub>2</sub> emission related to energy consumption among five countries: Argentina, Brazil, Colombia, Mexico, and Venezuela along the period 1990-2006.

The present decomposition study follows the Index Decomposition Analysis (IDA) by applying the Logarithmic Mean Divisia Index (LMDI) technique introduced by Ang and Choi (1997) in its multiplicative form to quantify the contributions of sixteen Mexican industrial branches to the changes in the CO<sub>2</sub> emission intensity. As part of the analysis, we take up the extension of the Divisia index methodology proposed in Choi and Ang (2011) to provide their attributions results in terms of energy intensity effect, CO<sub>2</sub> emission coefficient effect, and structure effect. Ang (2004 and 2005), Ang and Liu (2001), Zhang and Ang (2001), and Ang et al. (1998) among others suggest that the LMDI method should be the preferred decomposition method because of its consistency in aggregation, flexibility, and its ease to put into practice. Ang et al. (2009) affirm that LMDI, in its multiplicative version, is one of the preferred Divisia index by researchers and analysts, and it has been widely used, most of all in the last decade because of its desirable properties mentioned above. The Mexican industrial sector is represented by sixteen leading industrial branches: aluminum, automotive, sugar, pulp and paper,

cement, beer and malt, construction, fertilizers, rubber, mining, petrochemical, chemical, iron and Steel, glass, tobacco and 'other' industrial branches.

### 3. Data.

The Mexican industry is analyzed from 1965 to 2010 by dividing it in four stages: 1965-1982, 1982-1994, 1994-2003, and 2003-2010. The data of the indicators used by this analysis are presented separately to facilitate their understanding about their origins. The economic data used by the analysis in the three first stages are based on the Mexican national account system (SCNM 1993), while the four stage data are based on the Mexican national account industrial system (NAICS 2007). From 2003 to date, the SCNM 1993 was replaced by the NAICS 2007. Both accounting systems are linked by a theoretical correspondence at conceptual level; however, the available economic and energetic data come from different accounting methodologies. That issue does not allow constructing reliable and homogeneous indicators in a disaggregate structure for the period 2004-2010 and apply them to the decomposition since it needs data in terms of the same classification methodology to get confidence and guarantee the coherence and reliability of the extended analysis. To develop a consistent decomposition analysis both economic and energetic data must comply with a conceptual and a methodological framework; the current data complies with the first one (data from both methodologies can be linked theoretically), but not the second one (data from both methodologies come from different methodologies). The data from 2004 to 2010 derive from a comparative analysis to express it in aggregate terms of the NAICS 2007. It does not include disaggregate industrial branches since some comparative parts are not available and it will bring loss of quality data.

The development of the industrial sector of any country is in general a consequence of availability of energy resources and its consumption; however, it is also influenced by the system of political economy prevailing in the country and combined with social and geographical conditions that define the future development of a country. Mexico's economy switched its economic model from an import-substitution strategy to an export-led growth strategy from 1965 to 2010. The first stage 1965-1982 was characterized by hard protectionism, high subsidies to industry, and fiscal concessions for importing capital goods. In this stage, the oil crisis in 1973 and the economic crisis in 1976 led to the government to devaluate the Mexican Peso, that moderately affected the Mexican economy and the industrial sector because of oil discoveries in 1976; thus the Mexican industry significantly contributed to the economic growth of the country, but increasing CO<sub>2</sub> emissions related to energy consumption. The second stage 1982-1994 was strongly affected by economic crises in 1982 and 1986 because of the fall in oil international prices, local rising inflation, the Mexico's earthquake in 1985, among other factors that did not allow the Mexico's economy recovering until early nineties. That situation led the Mexican government to give the first step toward an open economy by signing the General Agreement on Tariffs and Trade in 1986 (GATT), and it started the privatization of stated-owned industries with the aim to balance the finances of the country to face up the upcoming international competitiveness. The third stage 1994-2003 set the Mexican economy on an export-based path and free international trade. In 1994, the North American Free Trade Agreement (NAFTA) entered into force considered as the world's largest free trade area. Thereby, the Mexican government put into practice an industrial policy to promote manufacturing and exporting industries that also help the economy recover from devaluation of the Mexican Peso in 1994. However, the evolution of Mexican exports was stopped by an economic contraction in the U.S.A economy from 2000 to 2003. The fourth stage 2003-2010 shows a Mexican economy clearly oriented to exports, more than 90% of the Mexican trading is regulated by free trade agreements with more than forty countries. As it happened in the third stage, the Mexican industry declined its evolution because of the contraction of the exports to The United States of America, and a global crisis from 2007-2009. The trends of end-use energy consumption, CO<sub>2</sub> emissions, and industrial GDP in the Mexican industry from 1965 to 2010 are shown in figure 1.

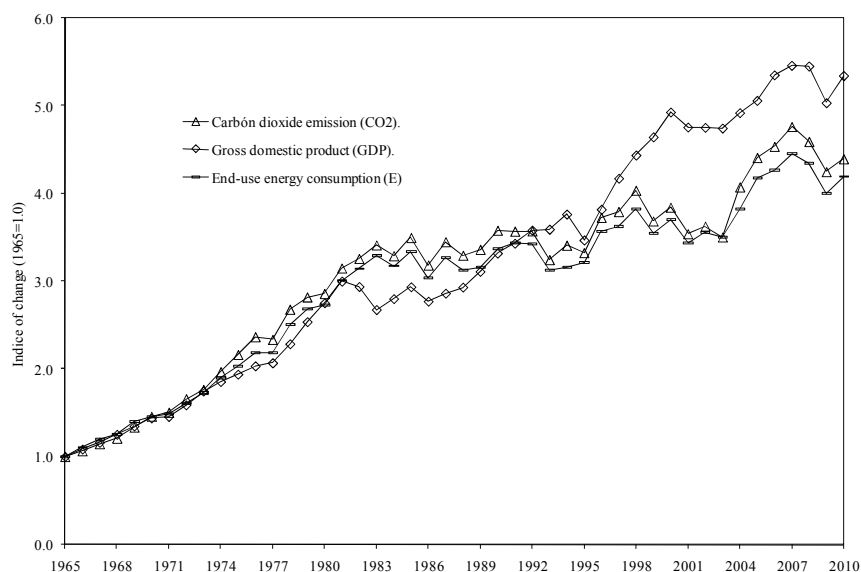


Figure 1. Indicators of the Mexican industry, 1965-2010 (1965=1.0).

### 3.1 End-use energy consumption, 1965-2003.

The energy data were taken from the Mexican balance of energy through the Mexican Department of Energy (SENER). In 2003, 64.5% of the total end-use energy consumption by the Mexican industry was consumed by the sixteen major industries. Among them, industries such as iron and steel, sugar, cement, chemical, and mining showed the most significant end-use energy consumptions from 1965 to 2003. The major change in end-use energy consumption took place in the first stage because of large amount of energy available, it went from 326.3 PJ (Petajoules) in 1965 to 1025.7 PJ in 1982; which meant a growth by 7.0% AAGR (average annual growth rate). Industries such as petrochemical, fertilizers, and construction presented relevant energy consumptions. After that, from 1982 to 1994, the Mexican industry showed a fluctuating end-use energy consumption that stated its growth by 0.05% AAGR. Significant energy consumptions were presented by industries such as bottled water, petrochemical, and automotive. From 1994 to 2003, the end-use energy consumption showed 1.1% AAGR, where industries such as automotive, petrochemical and fertilizers were significant in it. Table 1 summarizes the end-use energy consumption in the Mexican industry by industrial branch for selected years, and first three stages.

Table 1. End-use energy consumption in the Mexican industry (PJ)

End-use energy by Industrial branch	Year (PJ)				Stage (% AAGR) <sup>a</sup>		
	1965	1982	1994	2003	1965-1982	1982-1994	1994-2003
Sugar	64.63	91.21	102.31	112.36	2.05	0.96	1.05
Petrochemical	7.83	203.93	72.12	24.22	21.13	-8.30	-11.42
Chemical	19.58	92.75	118.85	109.62	9.58	2.09	-0.89
Cement	19.19	89.41	104.71	110.72	9.47	1.32	0.62
Iron and steel	56.60	161.71	182.00	199.16	6.37	0.99	1.01
Bottled water	1.18	3.44	8.85	10.49	6.48	8.20	1.91
Aluminum <sup>b</sup>	----	4.02	4.06	4.23	7.41	0.09	0.44
Automotive	3.09	12.08	6.62	9.12	8.35	-4.89	3.62

Pulp and paper	10.39	35.47	45.98	34.91	7.49	2.19	-3.01
Beer and malt	2.75	7.60	11.74	16.33	6.16	3.69	3.74
Construction	0.32	4.49	6.78	7.56	16.72	3.50	1.21
Fertilizers	1.72	10.00	12.72	3.38	10.92	2.03	-13.70
Rubber	0.98	3.38	4.24	6.13	7.55	1.90	4.18
Mining	22.16	37.81	52.35	58.16	3.19	2.75	1.18
Tobacco	0.26	0.42	0.41	0.40	2.85	-0.16	-0.47
Glass	9.37	31.60	27.11	29.98	7.41	-1.27	1.12
'Other' industries <sup>c</sup>	106.30	236.41	271.65	406.34	4.81	1.16	4.58
Mexican industrial sector	326.36	1025.73	1032.50	1143.07	6.97	0.05	1.14

<sup>a</sup>. AAGR-Average annual growth rate. <sup>b</sup>. Data from 1970 to 2003. <sup>c</sup>. This branch is constituted by the 41 remaining industries of the Mexican industrial sector.

Table 1. End-use energy consumption in the Mexican industry (PJ).

As for the fuel mix in the Mexican industry, it shows that the contribution of renewable energy decreased from 13.7% in 1965 to 7.7% in 2003. Fossil fuels consumptions such as natural gas, and fuel oil reduced their sharing by 3.5%, and 13.1% respectively in the same period, while electricity consumption increased its sharing from 6.7% to 29.3%. Table 2 shows the shares of end-use fuel mix consumption in the Mexican industry for selected years.

Year	Natural gas	Electricity	Fuel oil	Diesel	Liquefied gas	Coke	Bagasse	Kerosene
1965	37.12	6.75	28.01	4.27	0.85	7.27	13.68	2.04
1982	53.72	11.52	17.09	3.39	1.07	6.36	6.16	0.68
1994	35.27	20.61	22.26	6.11	1.80	6.85	6.99	0.10
2003	33.58	29.33	14.89	3.41	3.22	6.02	7.74	0.01

Table 2. Share of end-use fuel mix consumption in the Mexican industry (%).

### 3.2 Industrial gross domestic product, 1965-2003.

The economic data related to the total industrial GDP in the Mexican industry were taken from the National Institute of Statistics, Geography, and Informatics (INEGI) through the National account system, and the Mexican economic data bank. To standardize the long time series from 1965 to 2003, with 1993 as the base year, the methodology proposed by the Mexican center for the study of public finances from the Mexican chamber of Deputies (CEFP, 2003) was applied. The Mexican industrial GDP grew at 4.2% AAGR from 1965 to 2003. In 2003, it was stated at 131.2 BUSD 1993 (Billion dollars at 1993 constant prices). 45.2% of this contribution was produced by the sixteen industrial branches where industries such as construction, automotive, and mining were the most active contributors. From 1965 to 1982, the industrial GDP grew at 6.5% AAGR; however, after this significant contribution to the national economy, its performance started to decline because of structural changes toward an open economy model. The economic crises in 1982 and 1986 affected the industrial contribution from 1982 to 1994; it grew at 2.1% AAGR. From 1994 to 2003, the industrial GDP grew at 2.6% AAGR, it was affected by the devaluation of the Mexican Peso in 1994, followed by a sign of recovering from 1996 to 2000 (7.2% AAGR), and a decline by -3.4% AAGR from 2001 to 2003. The most active contributions to the total industrial GDP were observed in industries such as petrochemical, fertilizers, automotive, chemical, and cement from 1965 to 1982; petrochemical, automotive and cement industries from 1982 to 2004; and automotive, beer and malt and iron and steel from 1994 to 2003. An important finding is that the contribution of 'other' industries that is constituted by 41 industrial branches of the MIS, increased its sharing from 54.8% to 60.5% during the period 1965-2003. Table 3 summarizes the GDP contributions of the Mexican industry by industrial branch for selected years, and stages.

Table 3. Gross domestic product in the Mexican industry (BUSD 1993 constant prices).

Industrial GDP by	Year (BUSD 1993)				Stage (% AAGR) <sup>a</sup>		
	1965	1982	1994	2003	1965-1982	1982-1994	1994-2003
Industrial branch							
Sugar	0.32	0.43	0.62	0.81	1.73	3.07	3.06
Petrochemical	0.02	0.32	0.72	0.42	16.90	7.05	-5.93
Chemical	0.18	0.83	1.21	1.47	9.43	3.17	2.18
Cement	0.20	0.92	1.48	1.55	9.38	4.01	0.51
Iron and steel	0.60	1.70	2.33	3.48	6.32	2.66	4.53
Bottled water	0.49	1.63	2.25	3.07	7.29	2.74	3.49
Aluminum	0.33	0.72	0.97	1.30	4.63	2.53	3.32
Automotive	0.79	3.99	8.08	13.54	9.97	6.06	5.90
Pulp and paper	0.32	1.02	1.50	1.99	7.11	3.29	3.15
Beer and malt	0.32	1.00	1.47	2.25	6.88	3.28	4.85
Construction	5.17	17.26	19.25	20.05	7.35	0.91	0.46
Fertilizers	0.03	0.18	0.16	0.06	10.79	-1.08	-9.98
Rubber	0.15	0.60	0.68	0.73	8.48	1.00	0.82
Mining	1.27	4.73	5.34	6.48	8.02	1.02	2.16
Tobacco	0.47	0.75	0.69	0.66	2.77	-0.70	-0.45
Glass	0.23	0.76	1.16	1.49	7.29	3.65	2.84
'Other' industries <sup>b</sup>	16.74	44.40	56.18	71.86	5.90	1.98	2.77
Mexican Industrial sector	27.65	81.24	104.11	131.22	6.54	2.09	2.61

<sup>a</sup>. AAGR-Average annual growth rate. <sup>b</sup>. This branch is constituted by the 41 remaining industries of the Mexican industrial sector.

Table 3. Gross domestic product in the Mexican industry (BUSD 1993 constant prices).

### 3.3 Carbon dioxide emissions, 1965-2003.

The total CO<sub>2</sub> emissions emitted by the Mexican industry and its industrial branches were estimated by following the IPCC guidelines from 1996 and 2006 for national greenhouses inventories (IPCC-Intergovernmental Panel of Climate Change). In the case of electricity as final energy fuel, the carbon emission factor was estimated by following the model exposed in Ozawa (2000). Industries such as iron and steel, cement, chemical, and mining were the main CO<sub>2</sub> emitters in 2003. From 1965 to 1982, all the industrial branches showed significant CO<sub>2</sub> increases, playing a significant role industries such as construction, petrochemical and fertilizers. From 1982 to 1994, industries such as petrochemical and automotive showed the most significant decreases in their respective CO<sub>2</sub> emissions, while bottled water industry increased theirs. From 1994 to 2003, industries such as petrochemical and fertilizers showed the main changes in their CO<sub>2</sub> emitted, they decreased at -11.7%, and -14.8% AAGR respectively. The CO<sub>2</sub> emission evolution in the Mexican industry by industrial branch is summarized in table 4.

Table 4. Carbon dioxide emissions in the Mexican industry (Mt CO<sub>2</sub>).

CO <sub>2</sub> emitted by	Year (Mt CO <sub>2</sub> )				AAGR <sup>a</sup>		
	1965	1982	1994	2003	1965-1982	1982-1994	1994-2003
Industrial branch							
Sugar	1.55	2.16	2.33	1.98	2.00	0.60	-1.80
Petrochemical	0.44	11.44	4.09	1.34	21.13	-8.21	-11.68
Chemical	1.25	5.99	7.75	6.51	9.68	2.16	-1.91
Cement	1.36	6.44	7.65	7.58	9.58	1.45	-0.11
Iron and steel	4.09	11.80	13.22	13.81	6.43	0.95	0.49
Bottled water	0.08	0.23	0.59	0.68	6.74	7.96	1.60
Aluminum <sup>b</sup>	0.00	0.21	0.23	0.24	6.43	0.65	0.27

Automotive	0.16	0.69	0.39	0.54	9.02	-4.60	3.60
Pulp and paper	0.67	2.35	3.00	2.24	7.63	2.06	-3.23
Beer and malt	0.19	0.54	0.77	1.08	6.24	2.98	3.90
Construction	0.02	0.31	0.48	0.53	16.99	3.71	1.22
Fertilizers	0.09	0.55	0.80	0.19	11.17	3.16	-14.76
Rubber	0.05	0.20	0.27	0.37	7.84	2.59	3.90
Mining	1.25	2.30	3.35	3.68	3.67	3.18	1.04
Tobacco	0.01	0.02	0.02	0.02	3.30	0.36	-1.05
Glass	0.54	1.84	1.62	1.78	7.53	-1.03	1.05
'Other' industries <sup>c</sup>	6.83	13.40	16.74	22.48	4.05	1.87	3.33
Mexican Industrial sector	18.58	60.50	63.32	65.06	7.19	0.38	0.30

<sup>a</sup>. AAGR-Average annual growth rate. <sup>b</sup>. Data from 1970 to 2003. <sup>c</sup>. This branch is constituted by the 41 remaining industries of the Mexican industrial sector.

Table 4. Carbon dioxide emissions in the Mexican industry (Mt CO<sub>2</sub>).

On the subject of CO<sub>2</sub> emissions related to the fuel-mix consumption, in 2003, the main fuels demanded were natural gas, electricity, and fuel oil. In addition, the main industries that emitted CO<sub>2</sub> from natural gas consumption were iron and steel, chemical and petrochemical; from electricity consumption were iron and steel, chemical and mining; and from fuel oil consumption were cement, sugar and Chemical. Table 5 summarizes the share of CO<sub>2</sub> emissions by end-use fuel mix per industrial branch in the Mexican industry for selected years.

Table 5. Share of CO<sub>2</sub> emitted by end-use fuel mix in the Mexican industry (%).

Mexican industrial branch	Fuel oil (%)				Electricity (%)				Natural gas (%)				Liquefied gas (%)				Diesel (%)				Total (%)			
	1965	1982	1994	2003	1965	1982	1994	2003	1965	1982	1994	2003	1965	1982	1994	2003	1965	1982	1994	2003	1965	1982	1994	2003
Sugar	8.3	3.6	3.6	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	---	---	---	---	---	---	---	---	0.0	0.0	0.0	0.0	8.3	3.6	3.7	3.0
Petrochemical	0.0	0.0	0.3	0.0	---	---	---	---	2.4	18.9	6.2	2.1	---	---	---	---	---	---	---	---	2.4	18.9	6.5	2.1
Chemical	3.0	4.3	5.4	1.8	0.3	0.7	1.7	1.6	2.8	4.1	4.5	6.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.5	0.7	0.6	0.5	6.7	9.9	12.2	10.0
Cement	6.3	8.8	10.0	10.0	0.3	0.8	1.3	1.2	0.7	1.0	0.8	0.4	---	---	---	---	---	---	---	---	7.3	10.7	12.1	11.7
Iron and steel	1.3	1.2	2.4	1.3	0.9	1.3	1.9	2.1	6.9	6.1	6.6	8.7	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.9	0.1	0.1	22.0	19.5	20.9	21.2
Bottled water	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.3	0.4	0.4	0.9	1.0
Aluminum	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0.3	0.0	0.1	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.4	0.4
Automotive	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.4	0.3	0.5	0.4	0.4	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.9	1.2	0.6	0.8
Pulp and paper	2.2	2.3	1.8	1.5	0.2	0.4	0.9	0.8	1.2	1.2	1.5	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.1	3.6	3.9	4.7	3.4
Beer and malt	0.8	0.7	0.6	0.9	0.0	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.9	1.2	1.7
Construction	---	---	---	---	0.0	0.1	0.1	0.1	---	---	---	---	---	---	---	---	0.1	0.4	0.6	0.7	0.1	0.5	0.8	0.8
Fertilizers	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.5	0.8	0.6	0.2	---	---	---	---	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.9	1.3	0.3
Rubber	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.3	0.3	0.4	0.6
Mining	1.2	0.6	0.7	0.8	1.3	1.1	1.6	1.5	2.3	1.1	1.8	2.0	0.0	0.0	0.1	0.2	1.9	1.0	0.5	0.5	6.7	3.8	5.3	5.7
Tobacco	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	---	---	---	---	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
Glass	0.0	0.0	0.2	0.6	0.1	0.2	0.3	0.3	2.3	2.4	1.7	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3	0.2	0.0	2.9	3.0	2.6	2.7
'Other' industries	14.7	0.8	2.3	0.0	0.7	4.6	10.8	19.8	16.7	14.5	7.4	9.5	0.7	0.9	1.4	3.1	1.4	0.7	4.4	2.2	36.8	22.2	26.4	34.6
Total (%)	38.1	22.4	28.1	20.2	4.2	10.1	19.7	28.9	36.6	51.1	32.3	33.1	1.0	1.1	1.9	3.6	5.6	4.3	7.4	4.4	100.0	100.0	100.0	100.0

Note: Sub-sectors: CO<sub>2</sub> emitted by Kerosene consumption in the sub-sector 'other' industries are 2.58%, 0.83%, 0.12% and 0.01% for 1965, 1982, 1994, and 2003 respectively. CO<sub>2</sub> emitted by Coke consumption in the iron and steel sub-sector are: 11.94%, 10.07%, 9.81%, and 9.07% for 1965, 1982, 1994, and 2003 respectively. CO<sub>2</sub> emitted by sugar cane bagasse consumption is considered as biogenic CO<sub>2</sub>.

Table 5. Share of CO<sub>2</sub> emitted by end-use fuel mix consumption in the Mexican industry (%).

### 3.4 Mexican industry, 2004-2010.

The Mexican industrial sector kept its importance as second final energy consumer into the Mexican economy behind of the transport sector. The average final energy consumption demanded by the MIS through the stage was stated at 28.9%. From 2007 to 2009 the Mexican industry declined its energy

demand as a result of the internal economic crisis, and combined with the economic contraction of its major trading partner: The United States of America. In addition, the gas natural prices that had shown an annual increase by 1.3% from 2000 to 2008; in 2007 it increased up to 2.7%. Thus, the shares of final energy consumption were reduced by 2.1% (2008) and 3.2% (2009) at 2007 level. In 2010, a recovering of the final energy consumption was stated by 2.5% related to 2009 level, raising its total energy consumption in the country at 29.3%. Regarding to the major sixteen industrial branches into the MIS, they represented 65.2% (average value) of the total final energy consumption by the Mexican industry from 2004 to 2010. Fuels such as natural gas, electricity, and fuel oil were the main final energy fuels demanded by the MIS.

The CO<sub>2</sub> emissions by fuel consumption in the Mexican industry were equivalent to 14.8% of the total emitted by the country in 2010; it was 0.24% over 2009 level. The CO<sub>2</sub> emissions from the Mexican industry showed an annual decrease by 0.9% from 2000 to 2009, while the fuel consumption presented an annual decrease by 0.5%. It is observed that the CO<sub>2</sub> emission decreased as a result of lesser consumption of fuels with high content of carbon as petroleum coke, coking coal, and fuel oil. However, in 2010, the CO<sub>2</sub> emitted by the MIS was influenced by a consumption increase of fuels such as petroleum coke, and coking coal.

As for the gross domestic product, the MIS contributed 32.2% of the total contribution to the national economy of the country from 2004 to 2010. The industrial GDP was mainly a result of more active participation of manufacturing and Maquila industries as well as automotive and construction industries. The industrial GDP evolution showed a moderated growth along the period; however, from 2007 to 2009, it experienced a contraction in its progression due to a decrease in the domestic demand of products combined with a decline of external demand as part of the recession of The United States, and other international trading partners. In addition, in 2009, Mexico's external financing was restrained due to an important reduction of the oil export price. The recovering of the Mexican productive activities started at the middle of 2009 since the global economy, and mainly the industrial production of The United States showed clear indicators of recovering. That economic upturn continued in 2010 by stimulating the manufacturing exports that was gradually expanding its influence to other economic sectors of the country. Table 6 exposes an estimation of the Mexican industry indicators for the period 2004-2010.

Table 6. Mexican industry indicators, 2004-2010.

Aggregate indicators	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
End-use energy (PJ)	1249.05	1361.96	1391.75	1453.92	1417.21	1306.83	1368.74
Industrial GDP (BUSD 1993)	136.10	139.98	148.01	151.02	150.81	139.26	147.78
Industrial CO <sub>2</sub> emissions (Mt CO <sub>2</sub> ) <sup>a</sup>	75.67	81.88	84.24	88.44	85.29	78.89	81.63

<sup>a</sup>. Estimated by following the IPCC guidelines 2006.

Table 6. Mexican industry indicators, 2004-2010.

#### 4. Methodology.

The aggregate CO<sub>2</sub> emission intensity ( $A = CO_2/Y$ ) in the industrial sector is defined as the product of three indicators: energy intensity ( $I$ ), CO<sub>2</sub> emission coefficient ( $C$ ), and the production share ( $S$ ); it is written as follows:

$$A = \sum_i^n I_i \times C_i \times S_i = \sum_i^n \left( \frac{E_i}{Y_i} \right) \times \left( \frac{CO_{2i}}{E_i} \right) \times \left( \frac{Y_i}{Y} \right) \quad (1)$$

Consequently, terms and units of measurement of equation (1) are defined as follows:  $E$  is the total industrial end-use energy consumption (PJ),  $E_i$  is the end-use energy consumption in the industrial branch  $i$  (PJ),  $Y$  is the total industrial production (BUSD 1993 constant prices),  $Y_i$  is the production of industrial branch  $i$  (BUSD 1993 constant prices),  $CO2_i$  is the amount of CO<sub>2</sub> produced by the industrial branch  $i$ ,  $I_i$  is energy intensity of industrial branch  $i$ ,  $C_i$  is the CO<sub>2</sub> emission per unit of energy use of industrial branch  $i$ , and  $S_i$  is the production share of industrial branch  $i$ .

This study uses the LMDI method to decompose the changes in aggregate carbon emission intensity in the Mexican industry by providing the contributions and attributions of sixteen industrial branches to its total change. The LMDI methodologies have expanded its acceptance among the researchers and policy makers as the preferred method to deal with energy, and environmental studies since the problem of the LMDI to handling zero values and negative values were addressed by Ang and Liu (2007a) and Ang and Liu (2007b). In addition, the formulation and features of them have been reported in detail in studies conducted by Ang et al. (2009), Ang (2005), Ang (2004), Choi and Ang (2003), Ang and Liu (2001), Ang and Zhang (2000), Ang and Choi (1997) among others. Thereby, the multiplicative decomposition of the aggregate CO<sub>2</sub> emission intensity ( $D_A$ ) in the industrial sector, from year 0 to year  $t$  can be expressed as follows:

$$D_A = A^t / A^0 = D_{\text{int}} D_{\text{CO}_2} D_{\text{str}} \quad (2)$$

Where  $D_{\text{int}}$  is the energy intensity decomposition effect, it explains how the improvement of energy efficiency affect the CO<sub>2</sub> intensity into the sector;  $D_{\text{CO}_2}$  is the CO<sub>2</sub> emission coefficient decomposition effect, it indicates the changes in carbon emissions related to the end-use energy fuel consumption; and  $D_{\text{str}}$  is the structure decomposition effect, it explains the changes into the industrial structure. Table 7 summarizes the formulas to quantify the contributions of those three effects in the CO<sub>2</sub> emission intensity by means of the M-LMDI-I and M-LMDI-II.

Table 7. M-LMDI decomposition formulas for quantifying effects in CO<sub>2</sub> emission intensity.

Decomposition effects	M-LMDI-I	M-LMDI-II
Energy intensity effect ( $D_{\text{int}}$ )	$D_{\text{int}} = \exp\left(\sum_i w_i \ln\left(\frac{I_i^t}{I_i^0}\right)\right)$	$D_{\text{int}} = \exp\left(w'_i \ln\left(\frac{I_i^t}{I_i^0}\right)\right)$
CO <sub>2</sub> emission coefficient effect ( $D_{\text{CO}_2}$ )	$D_{\text{CO}_2} = \exp\left(\sum_i w_i \ln\left(\frac{C_i^t}{C_i^0}\right)\right)$	$D_{\text{CO}_2} = \exp\left(w'_i \ln\left(\frac{C_i^t}{C_i^0}\right)\right)$
Structural effect ( $D_{\text{str}}$ )	$D_{\text{str}} = \exp\left(\sum_i w_i \ln\left(\frac{S_i^t}{S_i^0}\right)\right)$	$D_{\text{str}} = \exp\left(w'_i \ln\left(\frac{S_i^t}{S_i^0}\right)\right)$

Where  $w_i = L(A_i^t, A_i^0) / L(A^t, A^0)$  in LMDI-I and  $w'_i = L(A_i^t / A^t, A_i^0 / A^0) / \sum_i L(A_i^t / A^t, A_i^0 / A^0)$  in LMDI-II. The function

$L(a, b)$  is the logarithmic average of two positive numbers  $a$  and  $b$  given by

$$L(a, b) = \frac{a - b}{\ln(a) - \ln(b)} \text{ for } a \neq b, \text{ and } L(a, b) = a \text{ for } a = b.$$

Table 7. M-LMDI decomposition formulas for quantifying effects on CO<sub>2</sub> emission intensity

The attributions of the decomposition effects above indicated are quantified by applying the attribution analysis of index to the IDA and energy studies introduced in Choi and Ang (2011). That approach



allows a transformation from a geometric mean index to an arithmetic mean index by means of the identity introduced in Balk (2004). This transformation estimates the contributions of each individual attribute to the overall percent change of factors, and it can provide an additive decomposition of cumulative growth rates by chain indexes. The formulation of this extension to the LMDI methodology has been reported in detail in Choi and Ang (2011); therefore, the attributions of the LMDI energy intensity, LMDI CO<sub>2</sub> emission coefficient, and LMDI structure to the change in the aggregate CO<sub>2</sub> emission intensity are calculated in a symmetrical way. The single-period attribution analysis uses the immediate preceding year as its base, and the multi-period attribution analysis uses a particular year as its base. Table 8 summarizes the formulas for quantifying the attributions of the MLMDI effects in CO<sub>2</sub> emission intensity in the Mexican industry.

Table 8. Attribution decomposition formulas of M-LMDI effects in CO<sub>2</sub> emission intensity.

Energy intensity effect ( $I$ )	
Single-period attribution:	$\frac{I_1}{I_0} - 1 = \sum_{i=1}^N s_i^* \left( \frac{I_{i,1}}{I_{i,0}} - 1 \right) = \sum_{i=1}^N \left( \frac{\frac{w'_i}{L(I_{i,1}, I_{i,0} I_1/I_0)} I_{i,1}}{\sum_{k=1}^N \frac{w'_k}{L(I_{k,1}, I_{k,0} I_1/I_0)} I_{k,0}} \right) \left( \frac{I_{i,1}}{I_{i,0}} - 1 \right)$
Multi-period attribution:	$\frac{I_t}{I_0} - 1 = \sum_{i=1}^T \frac{I_{i-1}}{I_0} \left( \frac{I_i}{I_{i-1}} - 1 \right) = \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \frac{I_{i,t-1}}{I_0} s_{i,t-1}^* \left( \frac{I_{i,t}}{I_{i,t-1}} - 1 \right) = \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \frac{I_{i,t-1}}{I_0} \left( \frac{\frac{w'_{i,t-1}}{L(I_{i,t}, I_{i,t-1} I_t/I_{i-1})} I_{i,t-1}}{\sum_{k=1}^N \frac{w'_{k,t-1}}{L(I_{k,t-1}, I_{k,t-1} I_t/I_{i-1})} I_{k,t-1}} \right) \left( \frac{I_{i,t}}{I_{i,t-1}} - 1 \right)$
CO <sub>2</sub> emission coefficient effect ( $C$ )	
Single-period attribution:	$\frac{C_1}{C_0} - 1 = \sum_{i=1}^N s_i^* \left( \frac{C_{i,1}}{C_{i,0}} - 1 \right) = \sum_{i=1}^N \left( \frac{\frac{w'_i}{L(C_{i,1}, C_{i,0} C_1/C_0)} C_{i,1}}{\sum_{k=1}^N \frac{w'_k}{L(C_{k,1}, C_{k,0} C_1/C_0)} C_{k,0}} \right) \left( \frac{C_{i,1}}{C_{i,0}} - 1 \right)$
Multi-period attribution:	$\frac{C_t}{C_0} - 1 = \sum_{i=1}^T \frac{C_{i-1}}{C_0} \left( \frac{C_i}{C_{i-1}} - 1 \right) = \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \frac{C_{i,t-1}}{C_0} s_{i,t-1}^* \left( \frac{C_{i,t}}{C_{i,t-1}} - 1 \right) = \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \frac{C_{i,t-1}}{C_0} \left( \frac{\frac{w'_{i,t-1}}{L(C_{i,t}, C_{i,t-1} C_t/C_{i-1})} C_{i,t-1}}{\sum_{k=1}^N \frac{w'_{k,t-1}}{L(C_{k,t-1}, C_{k,t-1} C_t/C_{i-1})} C_{k,t-1}} \right) \left( \frac{C_{i,t}}{C_{i,t-1}} - 1 \right)$
Structural effect ( $S$ )	
Single-period attribution:	$\frac{S_1}{S_0} - 1 = \sum_{i=1}^N s_i^* \left( \frac{S_{i,1}}{S_{i,0}} - 1 \right) = \sum_{i=1}^N \left( \frac{\frac{w'_i}{L(S_{i,1}, S_{i,0} S_1/S_0)} S_{i,1}}{\sum_{k=1}^N \frac{w'_k}{L(S_{k,1}, S_{k,0} S_1/S_0)} S_{k,0}} \right) \left( \frac{S_{i,1}}{S_{i,0}} - 1 \right)$
Multi-period attribution:	$\frac{S_t}{S_0} - 1 = \sum_{i=1}^T \frac{S_{i-1}}{S_0} \left( \frac{S_i}{S_{i-1}} - 1 \right) = \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \frac{S_{i,t-1}}{S_0} s_{i,t-1}^* \left( \frac{S_{i,t}}{S_{i,t-1}} - 1 \right) = \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \frac{S_{i,t-1}}{S_0} \left( \frac{\frac{w'_{i,t-1}}{L(S_{i,t}, S_{i,t-1} S_t/S_{i-1})} S_{i,t-1}}{\sum_{k=1}^N \frac{w'_{k,t-1}}{L(S_{k,t-1}, S_{k,t-1} S_t/S_{i-1})} S_{k,t-1}} \right) \left( \frac{S_{i,t}}{S_{i,t-1}} - 1 \right)$

Notes:  $I_1/I_0$ ,  $C_1/C_0$ ,  $S_1/S_0$ , and  $I_t/I_0$ ,  $C_t/C_0$ ,  $S_t/S_0$  are the changes in consecutive years, and from a year 0 to a year  $t$  respectively, in energy intensity, CO<sub>2</sub> emission coefficient, and structure effects correspondingly for a single-period, and multi-period analysis.  $S_i^*$  and  $S_{i,t-1,t}^*$  are the weights for the transformation from a geometric mean index to an arithmetic mean index in a single attribution analysis, and multi-period attribution analysis respectively.  $N$  is the number of industrial branches into the whole industrial sector. The function  $L(a, b)$  is the logarithmic average of two positive numbers  $a$  and  $b$  given by  $L(a, b) = \frac{a-b}{\ln(a)-\ln(b)}$  for  $a \neq b$ , and  $L(a, b) = a$  for  $a = b$ .

Table 8. Attribution decomposition formulas of M-LMDI effects in CO<sub>2</sub> emission intensity.

## 5. Results.

This section presents the results of the applied decomposition methodologies discussed on section 4. The M-LMDI-I results are shown as a complement of the analysis; and as it is indicated in Choi and Ang (2011), the M-LMDI-II is applied since the sum of its weights are the unity that is required by the Reinsdorf formula (Reinsdorf, 1996), which provide the link to transform a geometric mean index into an arithmetic mean index. Table 9 summarizes the decomposition results by means of the M-LMDI-I and MLMDI-II for the period and each proposed stage, and figure 2 and figure 3 show the evolution trends of M-LMDI-II decomposition changes of CO<sub>2</sub> intensity in the Mexican industry from 1965 to 2003, and 2003-2010 respectively.

Table 9. Decomposition changes of CO<sub>2</sub> emission intensity in the Mexican industry.

Stages	Decomposition of changes by							
	M-LMDI-I				M-LMDI-II			
	D <sub>int</sub>	D <sub>CO2</sub>	D <sub>str</sub>	D <sub>A</sub>	D <sub>int</sub>	D <sub>CO2</sub>	D <sub>str</sub>	D <sub>A</sub>
1965-1982	0.9728	0.9761	1.1674	1.1085	0.9702	0.9749	1.1720	1.1085
1982-1994	0.7009	1.0259	1.1358	0.8167	0.7002	1.0263	1.1365	0.8167
1994-2003	0.8945	0.9298	0.9801	0.8152	0.8945	0.9292	0.9808	0.8152
1965-2003	0.7019	0.9244	1.1375	0.7380	0.6999	0.9240	1.1413	0.7380
2003-2010 <sup>a</sup>	1.089	1.010	----	1.1006	---	----	----	---

<sup>a</sup> Using estimated data from SENER and BANXICO. D<sub>int</sub>- Energy intensity decomposition effect, D<sub>CO2</sub>- CO<sub>2</sub> emission coefficient decomposition effect, D<sub>str</sub>- Structure decomposition effect, D<sub>A</sub>- Aggregate CO<sub>2</sub> emission intensity.

Table 9. Decomposition changes of CO<sub>2</sub> emission intensity in the Mexican industry.

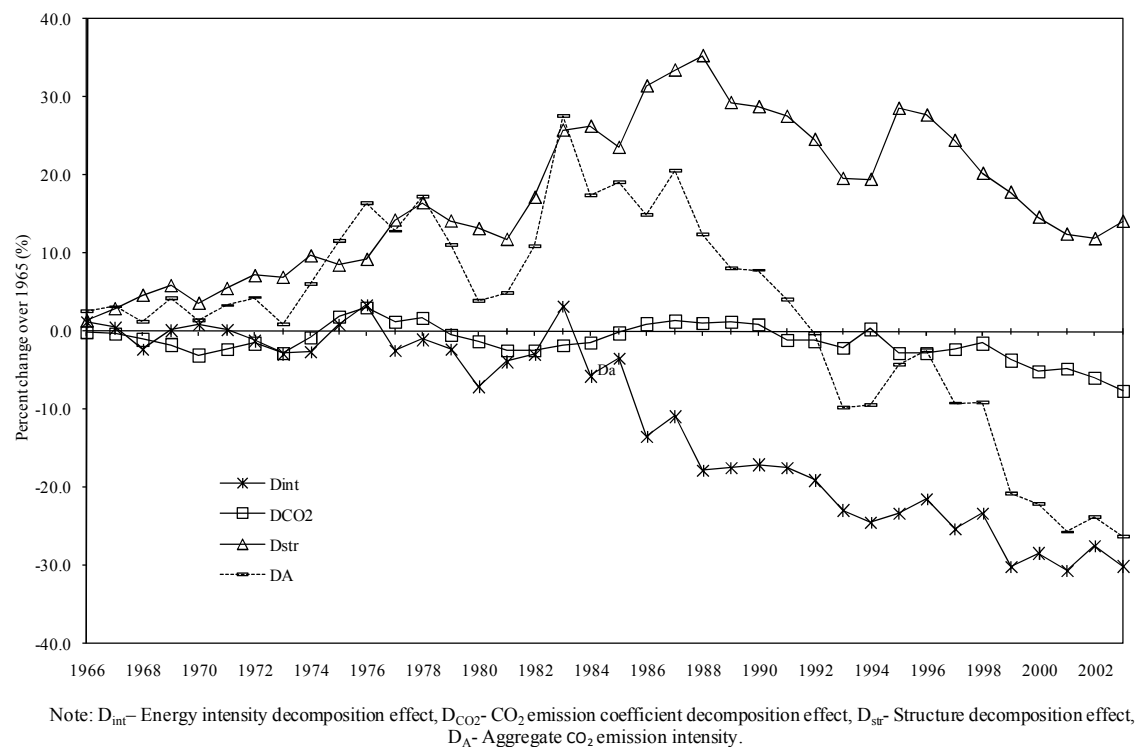
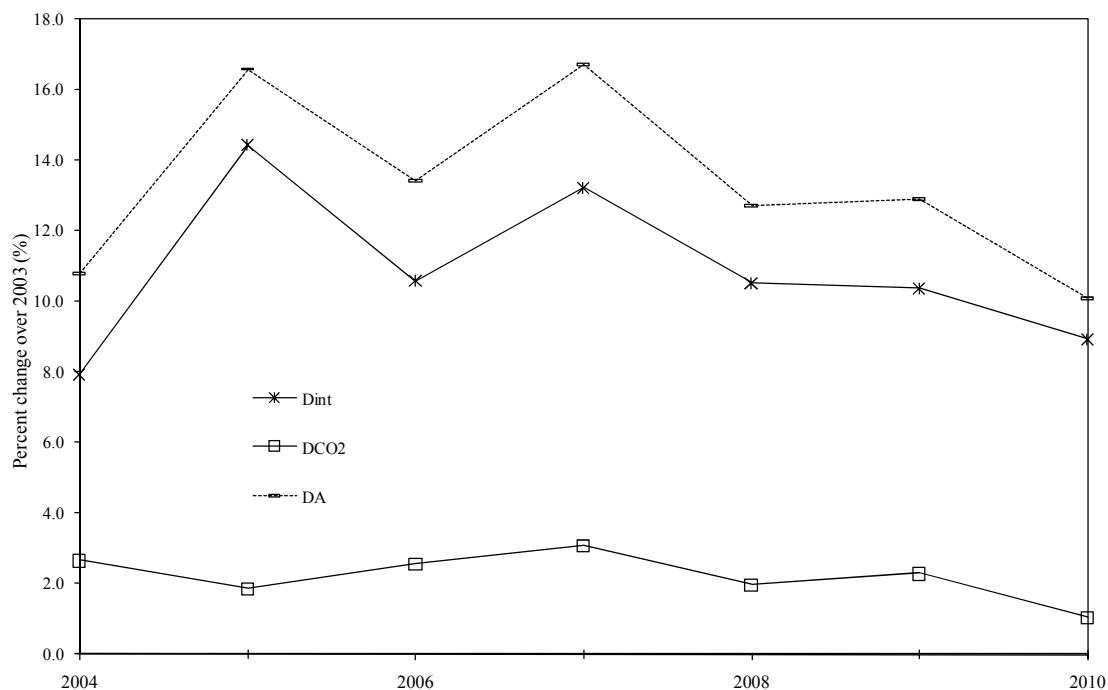
Figure 2. M-LMDI-II Decomposition changes of CO<sub>2</sub> emission intensity in the Mexican industry, 1965-2003, (base =1965).Figure 2. M-LMDI-II Decomposition changes of CO<sub>2</sub> emission intensity in the Mexican industry, 1965-2003, (base = 1965).

Figure 3. M-LMDI-I Decomposition changes of CO<sub>2</sub> emission intensity in the Mexican industry, 2003-2010, (base=2003).

Note:  $D_{int}$  - Energy intensity decomposition effect,  $D_{CO_2}$  - CO<sub>2</sub> emission coefficient decomposition effect,  $D_A$  - Aggregate CO<sub>2</sub> emission intensity.

Figure 3. M-LMDI-I Decomposition changes of CO<sub>2</sub> emission intensity in the Mexican industry, 2003-2010, (base = 2003).

The decomposition results indicate that from 1965 to 2003 the aggregate CO<sub>2</sub> emission intensity in the Mexican industry decreased by 26.2%, but from 2003 to 2010 increased by 10.1%. From 1965 to 2003, the energy intensity effect was the determining factor behind of CO<sub>2</sub> emission intensity decreases. It was mainly observed in the second stage. In the first and the second stages, the structure effect contributed to increase the CO<sub>2</sub> emission intensity. The third stage showed that the three effects contributed to the CO<sub>2</sub> emission intensity decrease, but the energy intensity effect showed lesser influence on decreases than the results showed in the second stage. As for the fourth stage, the aggregate CO<sub>2</sub> intensity in the Mexican industry shows a significant increase, both effects: energy intensity and CO<sub>2</sub> emission coefficient showed considerable increases, thereby indicating a change in the recent trends in comparison with the observed ones on previous stages.

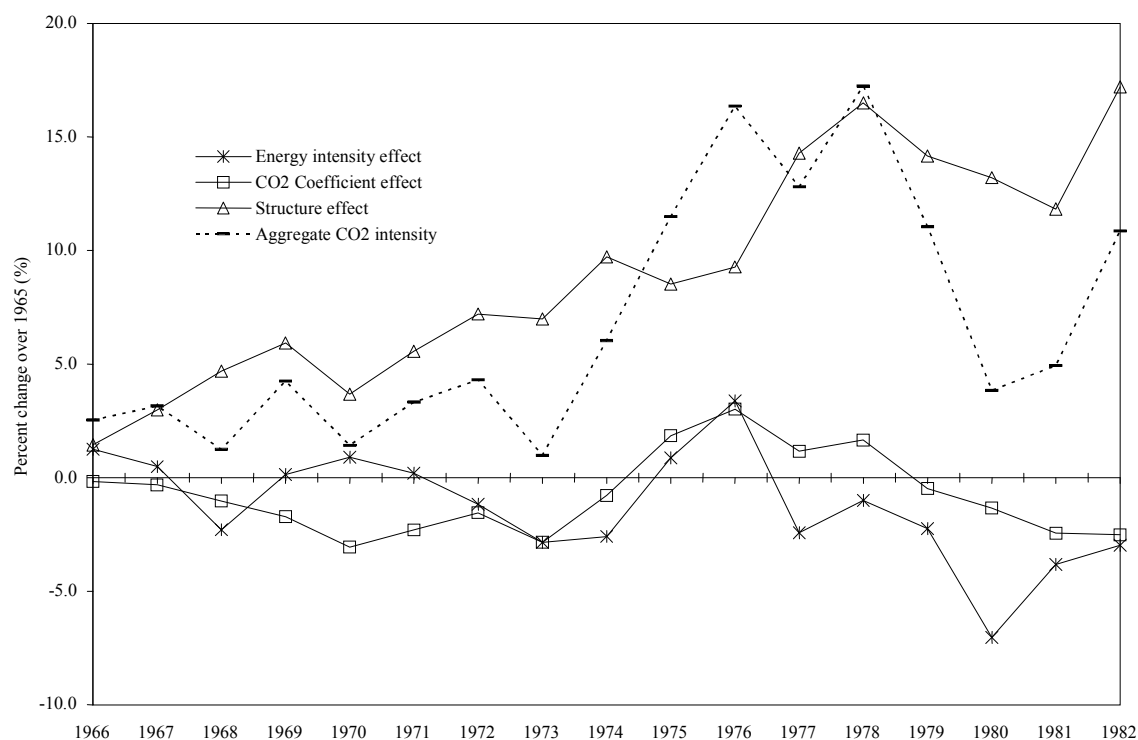
The results of the attribution analysis at sub-sectoral level for the first three stages are presented below. It will show the attributions of the main industrial branches to the aggregate CO<sub>2</sub> emission intensity change in the Mexican industry to identify the driving factors behind of its performance. As for the fourth stage, a disaggregated decomposition analysis cannot be performed since the data from 2003 to 2010 do not refer to the same and comparative study to establish reliable time series by using the SCNM 1993 and the NAICS 2007 is not possible, the results of a disaggregated analysis might not be reliable since the low-quality data. Thus, based on annual reports from SENER and BANXICO, it is presented a view of how Mexican industries have developed along the stage.

*Stage 1965-1982.*

The structure effect (17.2%) was the determining factor behind of the increase of the aggregate CO<sub>2</sub> intensity in the MIS (10.9%); it is shown in figure 4. The effects of energy intensity and CO<sub>2</sub> emission coefficient reduced the emission intensity by 3.0% and 2.5% respectively. The structure effect increase was basically a result of the combined contribution sharing of industries such as petrochemical, chemical, and cement as it can be seen in table 10. They showed annual increases by 0.7%, 0.2%, and 0.2% AAGR respectively. In the opposite side, it is found that industries such as sugar and iron and steel showed significant reductions in their contributions to this effect along this stage. The structure effect changes can be explained because of the rapid industrial production as a result of growing public expenditure financed with external debt, and oil incomes from the oil discoveries that turned Mexico into an exporter of oil and petroleum products. Petrochemical industry and linked industries to oil products were strategic priorities for the national development of the country because of the import-substituting model prevailed at that time.

The energy intensity effect showed a minimal decrease by 0.05% AAGR. It is noticed that it experienced significant decreases in the years 1977 and 1980 by 5.0%, and 4.3% respectively. Those decreases were mainly carried out by the 'other' industries, see table 11. It is considered that Maquila industries, which are a large part of the 'other' industries, accounted with high technology to face up the international competitiveness. In 1977, the Mexican Maquila accounted with 443 units settled on the border with U.S.A.; and 613 units in 1980. Additionally, petrochemical and 'other' industries played opposite roles that did not allow better reductions in the CO<sub>2</sub> intensity. The 'other' industries change is explained because of a better energy use to produce a unit of added value; its energy use grew by 4.8% AAGR, and its contribution to the industrial GDP grew by 5.9% AAGR. While the petrochemical experienced an increase in its CO<sub>2</sub> intensity as a result of increasing energy uses by 21.1% AAGR, and 16.9% AAGR in its contribution to the industrial GDP.

The CO<sub>2</sub> emission coefficient effect did not show significant changes, its sharing decreased by -0.1% AAGR along the stage. This change was mainly carried out by the 'other' industries. Its contribution played a significant role into the change of CO<sub>2</sub> coefficient effect, and practically delineated the increases and decreases of this effect along the stage, see table 12. In addition, the 'other' industries increased its CO<sub>2</sub> emissions from electricity consumption by 18.8%, while from fuel oil consumption reduced it by 36.5%. Tables 10, 11, and 12 show the attribution results of M-LMDI-II effects in CO<sub>2</sub> emission intensity in the Mexican industry by industrial branches from 1965 to 1982.

Figure 4. Attributions of M-LMDI-II effects in CO<sub>2</sub> emission intensity in the Mexican industry from 1965 to 1982, base 1965 (%).Figure 4. Attributions of M-LMDI-II effects in CO<sub>2</sub> emission intensity in the Mexican industry from 1965 to 1982, base 1965 (%).Table 10. Attribution results of M-LMDI-II structure effect in CO<sub>2</sub> emission intensity from 1965 to 1982 (base =previous year, %).

Mexican industry	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	Mean
Sugar	-0.58	0.56	-1.03	0.09	-0.96	0.44	-0.62	0.02	-0.22	-0.45	-0.26	-0.08	0.12	-0.38	-0.71	-0.33	0.14	-0.25
Petrochemical	0.72	0.82	1.01	0.32	0.08	0.90	0.71	0.03	1.30	0.26	0.45	-0.25	0.29	0.47	0.10	1.18	2.69	0.65
Chemical	0.14	0.14	0.53	1.01	0.03	0.24	0.61	0.14	0.43	-0.70	0.61	1.28	-0.37	-0.59	-0.03	-0.16	0.82	0.24
Cement	0.43	0.54	0.05	0.26	0.07	0.11	0.61	0.25	0.23	0.44	0.33	0.32	-0.38	-0.27	-0.04	0.14	0.90	0.24
Iron and steel	1.41	0.08	0.96	-0.64	-2.08	-0.22	1.11	-0.32	1.33	-0.79	-0.70	1.36	2.49	-1.09	-1.12	-0.94	-1.29	-0.03
Bottled water	0.01	0.01	0.00	0.04	0.01	-0.07	0.00	0.00	-0.04	0.06	-0.06	0.03	0.03	0.03	-0.01	-0.02	0.02	0.00
Aluminum	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	-0.03	0.01	-0.02	-0.01	0.01	-0.01	-0.01	-0.04	0.00
Automotive	0.11	-0.03	0.07	0.04	0.08	0.09	0.03	0.13	0.15	-0.03	-0.17	-0.08	0.16	0.06	0.05	0.11	-0.27	0.03
Pulp and paper	-0.05	0.00	-0.02	0.14	0.09	-0.15	0.07	0.14	0.24	-0.40	0.27	0.08	-0.03	-0.05	0.07	-0.25	0.17	0.02
Beer and malt	0.05	-0.03	-0.04	0.02	0.00	-0.12	0.07	0.05	0.09	-0.04	-0.04	0.09	-0.04	0.02	-0.01	-0.02	-0.01	0.00
Construction	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.02	0.01	0.02	0.00	0.01	0.00	-0.04	0.01	0.01	0.02	0.03	-0.03	0.00
Fertilizers	0.06	-0.02	0.05	0.09	-0.04	0.04	0.08	-0.03	-0.02	-0.01	0.04	0.03	-0.12	-0.01	-0.01	0.06	0.27	0.03
Rubber	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	0.03	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	-0.01	0.04	-0.03	0.02	-0.03	0.04	0.01
Mining	-0.29	-0.11	-0.22	-0.08	-0.12	-0.14	-0.28	-0.22	0.43	0.00	0.09	0.31	0.14	0.13	0.55	0.22	0.42	0.05
Tobacco	0.00	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Glass	0.33	0.06	0.29	-0.15	0.11	0.16	0.06	-0.22	0.00	0.38	0.14	0.26	-0.03	-0.13	0.03	-0.72	-0.27	0.02
'Other' industries	-0.92	-0.46	-0.12	-0.36	0.22	0.52	-0.35	-0.45	-0.50	-0.04	0.41	0.44	-0.60	-0.24	-0.49	-0.47	0.61	-0.16
% total change	1.44	1.57	1.54	0.77	-2.55	1.79	2.11	-0.46	3.45	-1.33	1.15	3.74	1.72	-2.05	-1.60	-1.20	4.18	0.84

Table 10. Attribution results of M-LMDI-II structure effect in CO<sub>2</sub> emission intensity from 1965 to 1982, base =previous year, (%).

Table 11. Attribution results of M-LMDI-II energy intensity effect in CO<sub>2</sub> emission intensity from 1965 to 1982 (base =previous year, %).

Mexican industry	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	Mean
Sugar	0.32	-0.32	0.11	-0.03	0.15	-0.36	-0.08	-0.18	0.27	-0.07	-0.10	0.07	0.12	0.14	0.16	-0.28	0.24	0.01
Petrochemical	0.32	-0.54	0.01	1.46	0.25	-0.40	-0.59	0.25	-0.84	1.02	-0.15	0.63	1.96	-0.62	0.48	0.93	2.33	0.38
Chemical	0.43	0.20	0.10	-0.45	0.42	0.69	-0.53	-0.45	0.10	1.05	-0.37	-0.75	-0.26	0.14	-0.15	-0.08	-0.11	0.00
Cement	0.01	0.02	-0.02	0.02	0.00	0.00	-0.01	-1.22	1.34	0.02	0.00	0.03	-0.03	0.01	-0.09	0.02	0.08	0.01
Iron and steel	0.20	0.81	-0.06	1.64	1.48	0.08	-0.07	0.56	-1.24	-0.24	0.49	-0.16	-1.82	-0.62	-1.49	0.52	0.23	0.02
Bottled water	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	0.02	-0.09	0.01	0.00	-0.01	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00
Aluminum	0.00	0.00	0.00	0.00	0.27	0.05	-0.04	-0.04	0.00	0.00	-0.01	0.02	-0.02	-0.04	0.03	0.04	0.11	0.02
Automotive	-0.05	0.01	-0.04	0.02	-0.17	0.01	-0.03	0.01	0.08	0.00	0.00	-0.08	0.06	-0.01	-0.03	0.05	-0.02	-0.01
Pulp and paper	0.01	0.04	0.02	-0.03	0.01	0.15	-0.10	-0.32	0.34	0.03	-0.02	0.19	-0.04	-0.01	-0.04	0.02	-0.01	0.01
Beer and malt	-0.07	0.01	0.00	0.00	-0.01	-0.01	-0.01	-0.08	0.06	0.00	0.00	-0.02	-0.01	-0.01	-0.01	-0.02	0.06	-0.01
Construction	0.00	0.00	0.00	0.07	0.07	0.09	0.03	0.01	0.04	0.03	0.03	0.08	-0.02	-0.02	-0.02	0.00	0.00	0.02
Fertilizers	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Rubber	0.02	-0.01	0.01	0.02	0.00	0.00	0.03	-0.02	0.01	0.01	0.04	-0.06	-0.01	-0.03	-0.09	0.03	0.00	0.00
Mining	0.24	0.40	0.31	-0.11	-0.33	0.55	0.25	-0.35	0.20	-0.02	-0.34	-0.29	-1.31	-0.60	-0.86	-0.75	-0.56	-0.21
Tobacco	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Glass	0.00	0.00	-0.12	0.13	0.00	0.00	-0.26	0.89	-0.90	0.35	0.00	0.01	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
'Other' industries	-0.17	-1.43	-3.00	0.08	-1.04	-1.51	-0.31	-0.74	0.36	2.03	2.60	-4.75	3.02	0.07	-2.25	2.78	-0.85	-0.30
% total change	1.25	-0.80	-2.68	2.81	1.10	-0.66	-1.72	-1.67	-0.16	4.11	2.19	-5.08	1.63	-1.60	-4.32	3.26	1.51	-0.05

Table 11. Attribution results of M-LMDI-II energy intensity effect in CO<sub>2</sub> emission intensity from 1965 to 1982 (base =previous year, %).Table 12. Attribution results of M-LMDI-II CO<sub>2</sub> coefficient effect in CO<sub>2</sub> emission intensity from 1965 to 1982 (base =previous year, %).

Mexican industry	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	Mean
Sugar	-0.27	0.37	-0.11	0.04	-0.15	0.37	0.05	-0.58	0.46	0.09	0.13	-0.07	-0.17	-0.16	-0.18	-0.02	0.22	0.00
Petrochemical	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Chemical	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.06	0.01	-0.04	0.05	0.08	-0.02	-0.03	0.07	-0.02	0.04	-0.08	0.03	0.01
Cement	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.06	0.01	-0.11	0.11	0.09	-0.03	-0.03	0.08	-0.03	0.04	-0.09	0.04	0.01
Iron and steel	0.17	0.14	0.28	0.32	-0.48	0.30	-0.12	0.23	-0.16	0.02	0.16	-0.02	-0.24	-0.16	-0.17	-0.20	0.14	0.01
Bottled water	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	-0.01	0.00	0.00
Aluminum	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.01	0.00	0.01	0.03	-0.01	-0.01	0.02	-0.01	0.01	-0.02	0.01	0.00
Automotive	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.04	0.01	0.00	0.01	0.06	-0.02	-0.01	0.04	-0.02	0.03	-0.06	0.02	0.01
Pulp and paper	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.01	-0.05	0.06	0.04	-0.01	-0.02	0.04	-0.01	0.02	-0.05	0.02	0.01
Beer and malt	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	-0.01	0.00	0.00
Construction	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	-0.01	0.00	0.00
Fertilizers	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	-0.01	0.01	0.00
Rubber	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	-0.01	0.00	0.00
Mining	0.00	-0.01	0.00	-0.01	0.05	0.19	0.04	0.02	0.03	0.24	-0.06	-0.07	0.17	-0.05	0.08	-0.16	0.06	0.03
Tobacco	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Glass	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.01	0.03	-0.01	-0.01	0.03	-0.01	0.02	-0.03	0.01	0.00
'Other' industries	-0.07	-0.63	-0.85	-0.94	-0.75	-0.39	0.57	-0.56	1.07	1.63	0.85	-1.26	0.46	-1.24	-0.60	-0.18	-0.67	-0.21
% total change	-0.17	-0.14	-0.68	-0.61	-1.25	0.74	0.60	-1.09	1.68	2.35	0.97	-1.55	0.54	-1.72	-0.68	-0.95	-0.10	-0.12

Table 12. Attribution results of M-LMDI-II CO<sub>2</sub> coefficient effect in CO<sub>2</sub> emission intensity from 1965 to 1982 (base =previous year, %).

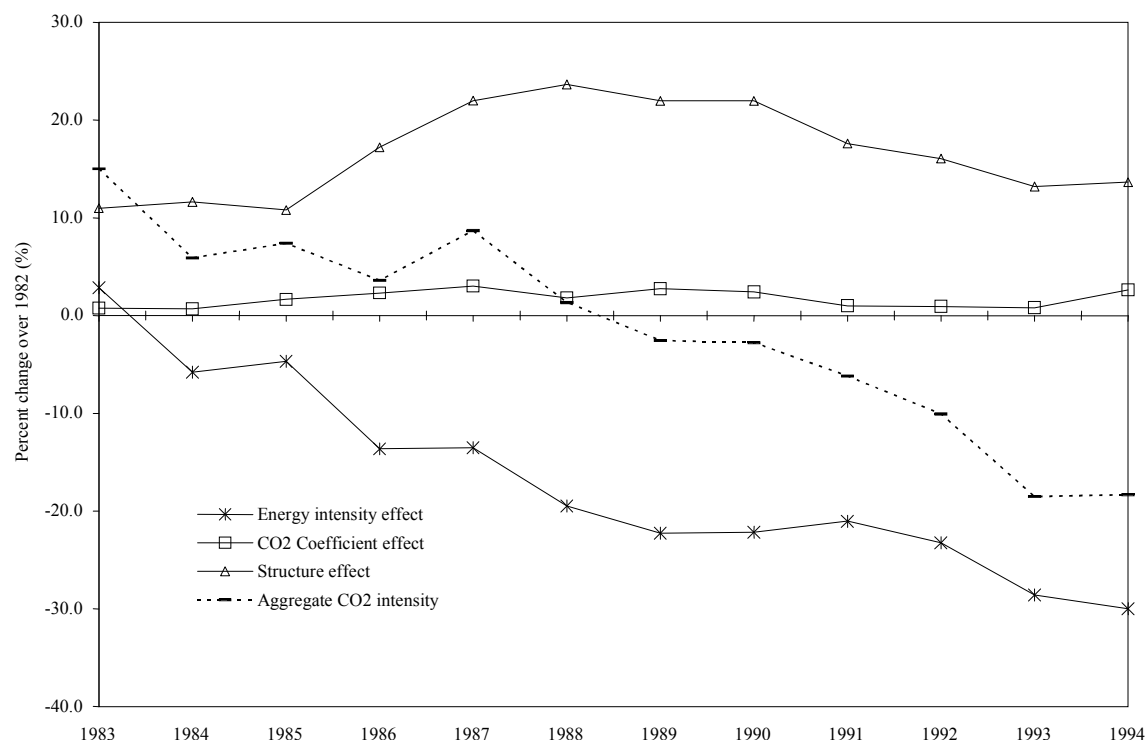
*Stage 1982-1994*

The attribution results of M-LMDI-II show that the energy intensity effect (-29.9%) took control of the CO<sub>2</sub> emission intensity decrease. Its contribution was in opposite sense to the contributions showed by the structure and CO<sub>2</sub> coefficient effects, which showed an increase of 13.6% and 2.6% respectively, see figure 5. The energy intensity effect was mainly carried out by petrochemical and iron and steel industries. In 1994 their attribution percentage change over 1982 was stated at -18.7% (-2.0% AAGR) and -3.3% (-0.3 AAGR) respectively; additionally, a significant participation of the 'other' industries was observed in the years: 1984, 1986, and 1988, see table 13. The energy intensity effect can be explained since the petrochemical industry and other state-owned industries (iron and steel, cement, sugar, among others) were opening to private investment (foreign and national) to step forward into international and open trading system (in 1986 Mexico entered to the GATT). The Mexican government throughout regulatory reforms reduced the activities of the basic petrochemical industry by reclassifying diverse products in 1986, 1988, 1989, and 1992, which were only produced by *Petróleos Mexicanos* (PEMEX) at that time. That circumstances, combined with the economic crises in 1982 and 1986, and the variability of oil prices produced a decrease in the total industrial energy consumption and related CO<sub>2</sub> emissions with moderated contributions to the industrial GDP that prevent an increase in the CO<sub>2</sub> emission intensity.

The M-LMDI-II structure effect in CO<sub>2</sub> intensity grew at 1.4% AAGR, where industries such as petrochemical, cement and iron and steel performed the main changes on it by 0.9%, 0.2%, and 0.1% AAGR respectively, see table 14. Significant structural changes carried out by the Mexican government toward an open economy took place in this stage; the energy intensive industries such as petrochemical, chemical cement, and iron and steel remained as the most significant industries into the Mexican economic framework. However, industries intended to export such as automotive, pulp and paper, glass and 'other' industries gained importance into the MIS, and into the economic development of the country.

The M-LMDI-II results of CO<sub>2</sub> emission coefficient effect grew at 0.2% AAGR. It was mainly carried out by the 'other' industries (0.2% AAGR). Its CO<sub>2</sub> emissions went from 13.4 Mt CO<sub>2</sub> in 1982 to 16.7 Mt CO<sub>2</sub> in 1994. It placed as the first industrial CO<sub>2</sub> emitter into the MIS. Its combined CO<sub>2</sub> emission by natural gas and electricity consumptions represented 86.0% in 1965, and 68.7% in 2003. Tables 13, 14, and 15 show the attribution results of M-LMDI-II effects in CO<sub>2</sub> emission intensity in the Mexican industry by industrial branches from 1982 to 1994.



Figure 5. Attributions of M-LMDI-II effects in CO<sub>2</sub> emission intensity in the Mexican industry from 1982 to 1994, base 1982 (%).Figure 5. Attributions of M-LMDI-II effects in CO<sub>2</sub> emission intensity in the Mexican industry from 1982 to 1994, base 1982 (%).Table 13. Attribution results of M-LMDI-II energy intensity effect in CO<sub>2</sub> emission intensity from 1982 to 1994 (base =previous year, %).

Mexican industry	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	Mean
Sugar	-0.38	0.42	-0.06	-0.47	0.20	0.37	0.08	0.35	-0.68	-0.10	-0.46	-0.31	-0.09
Petrochemical	-3.41	-2.32	-1.77	-1.48	-2.27	-0.18	-6.69	0.53	3.45	-2.15	-7.83	-0.51	-2.05
Chemical	-0.08	-0.22	-0.07	0.75	-1.58	-0.74	-0.03	-0.02	0.37	-0.13	-0.20	0.65	-0.11
Cement	-0.12	-0.11	0.21	-0.48	-1.11	-0.25	-0.30	0.40	0.00	-0.03	-0.60	-1.14	-0.29
Iron and steel	0.90	-1.17	-0.10	0.55	0.69	3.17	-2.13	-2.67	-0.72	-0.79	-1.65	-0.10	-0.33
Bottled water	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.02	-0.01	0.20	0.10	0.08	-0.05	-0.02	0.03
Aluminum	0.10	0.04	0.07	-0.30	0.03	0.11	0.03	0.00	-0.08	-0.14	-0.01	0.06	-0.01
Automotive	-0.15	-0.01	-0.05	-0.03	-0.04	-0.50	0.00	-0.02	-0.13	-0.01	0.12	-0.04	-0.07
Pulp and paper	0.23	0.06	0.10	0.06	0.08	-0.10	0.32	-0.29	-0.55	-0.40	-0.19	-0.09	-0.06
Beer and malt	0.22	0.00	-0.03	-0.01	-0.03	0.01	-0.09	0.05	-0.02	-0.06	-0.08	0.04	0.00
Construction	0.00	0.00	0.00	-0.01	0.01	0.01	0.19	-0.01	-0.01	0.00	-0.01	-0.03	0.01
Fertilizers	0.00	0.00	0.00	-0.02	0.06	0.05	0.10	0.01	-0.14	-0.03	0.38	-0.10	0.03
Rubber	0.06	0.00	0.00	-0.01	-0.02	0.05	0.04	-0.01	0.01	-0.02	-0.08	0.02	0.00
Mining	-0.12	-0.20	0.02	0.54	0.06	0.08	0.38	0.60	-0.34	-0.01	-0.07	-0.07	0.07
Tobacco	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Glass	-0.02	0.00	0.00	-0.20	0.05	-0.54	-0.19	0.01	-0.26	0.07	-0.15	-0.41	-0.14
'Other' industries	5.60	-5.00	2.59	-7.82	3.76	-8.03	3.98	1.65	0.72	0.68	1.16	-0.33	-0.08
% total change	2.86	-8.50	0.91	-8.93	-0.08	-6.47	-4.33	0.78	1.74	-3.04	-9.72	-2.37	-3.10

Table 13. Attribution results of M-LMDI-II energy intensity effect in CO<sub>2</sub> emission intensity from 1982 to 1994 (base =previous year, %).

Table 14. Attribution results of M-LMDI-II structure effect in CO<sub>2</sub> emission intensity from 1982-1994 (base =previous year, %).

Mexican industry	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	Mean
Sugar	1.04	-0.18	-0.01	0.95	0.02	-0.66	-0.45	-0.78	0.74	-0.33	0.60	-0.59	0.03
Petrochemical	6.36	-0.86	-0.12	3.25	2.13	0.64	1.50	0.75	-2.49	0.21	-0.93	0.22	0.89
Chemical	1.56	0.23	0.04	0.23	0.19	0.17	-0.23	-0.23	-0.20	0.00	-0.22	-0.19	0.11
Cement	-0.17	0.41	0.51	0.50	1.23	-0.27	-0.47	-0.53	0.11	0.33	0.27	0.65	0.21
Iron and steel	0.68	1.33	-0.96	-0.42	0.60	0.79	-0.87	0.59	-1.57	-0.50	0.96	0.80	0.12
Bottled water	0.02	-0.03	0.01	0.01	-0.02	0.02	0.05	-0.03	-0.01	-0.02	0.04	0.02	0.00
Aluminum	0.01	0.02	0.01	0.01	0.08	0.00	-0.02	-0.02	-0.04	-0.01	-0.01	-0.02	0.00
Automotive	-0.23	0.15	0.16	-0.20	0.08	0.14	0.05	0.04	0.05	0.03	-0.05	0.00	0.02
Pulp and paper	0.30	0.09	0.09	0.18	0.00	0.02	0.32	-0.04	0.03	-0.13	-0.12	-0.09	0.05
Beer and malt	-0.10	-0.01	0.02	0.10	0.04	0.01	0.06	-0.01	-0.01	0.03	0.05	-0.01	0.01
Construction	-0.06	0.00	-0.01	-0.02	0.00	-0.01	-0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.00
Fertilizers	-0.02	0.02	0.04	-0.01	0.14	-0.08	0.02	-0.13	-0.10	-0.33	-0.02	0.09	-0.03
Rubber	0.00	0.02	0.02	-0.04	0.00	0.01	0.00	-0.02	0.00	-0.01	-0.04	0.00	-0.01
Mining	0.33	-0.09	-0.17	0.06	0.08	-0.09	-0.29	-0.16	-0.11	-0.15	0.08	-0.12	-0.05
Tobacco	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Glass	0.25	-0.04	0.06	-0.05	0.30	-0.09	0.09	0.03	0.15	-0.06	-0.05	-0.05	0.05
'Other' industries	1.04	-0.38	-0.15	0.59	-0.38	-0.19	0.05	-0.13	-0.19	-0.16	0.00	-0.23	-0.01
% total change	11.00	0.69	-0.46	5.14	4.47	0.41	-0.21	-0.67	-3.64	-1.07	0.60	0.52	1.40

Table 14. Attribution results of M-LMDI-II CO<sub>2</sub> structure effect in CO<sub>2</sub> emission intensity from 1982 to 1994 (base =previous year, %).Table 15. Attribution results of M-LMDI-II CO<sub>2</sub> coefficient effect in CO<sub>2</sub> emission intensity from 1982 to 1994 (base =previous year, %).

Mexican industry	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	Mean
Sugar	0.25	0.05	0.36	-0.54	-0.43	0.92	0.14	0.28	-0.83	0.32	-0.78	0.02	-0.02
Petrochemical	0.00	-0.20	0.01	-0.01	-0.01	0.00	0.56	0.01	-0.08	0.05	0.26	-0.24	0.03
Chemical	0.04	-0.01	-0.02	0.09	0.21	-0.34	-0.01	-0.11	0.13	-0.11	0.07	0.21	0.01
Cement	0.04	-0.01	-0.02	0.11	0.19	-0.30	0.12	-0.11	0.12	-0.15	0.06	0.13	0.01
Iron and steel	0.06	-0.18	0.03	0.11	0.00	-0.76	0.30	-0.41	-0.04	0.10	0.31	0.31	-0.01
Bottled water	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.04	0.00	0.04	-0.04	0.02	0.00
Aluminum	0.01	0.00	-0.01	0.03	0.01	-0.01	-0.01	0.00	-0.01	0.00	0.00	0.01	0.00
Automotive	0.02	0.00	-0.01	0.03	0.01	-0.02	0.00	0.00	0.00	-0.02	0.00	0.03	0.00
Pulp and paper	0.02	0.00	-0.01	0.05	0.01	-0.01	-0.04	0.14	-0.33	-0.03	0.02	0.11	-0.01
Beer and malt	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.04	-0.03	-0.04	0.01	0.01	-0.01
Construction	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
Fertilizers	0.01	0.00	0.00	0.01	0.05	0.00	0.02	-0.02	0.03	-0.03	0.02	0.05	0.01
Rubber	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00
Mining	0.06	-0.01	0.09	0.14	-0.03	-0.01	-0.18	0.23	-0.17	-0.11	0.02	0.17	0.02
Tobacco	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Glass	0.00	0.00	-0.01	-0.02	0.03	0.10	0.01	0.06	-0.16	0.00	0.01	0.06	0.01
'Other' industries	0.25	0.28	0.57	0.71	0.47	-0.26	-0.20	-0.30	-0.22	-0.07	-0.20	1.22	0.19
% total change	0.76	-0.07	0.96	0.74	0.52	-0.69	0.70	-0.31	-1.58	-0.07	-0.24	2.13	0.24

Table 15. Attribution results of M-LMDI-II CO<sub>2</sub> coefficient effect in CO<sub>2</sub> emission intensity from 1982 to 1994 (base =previous year, %).

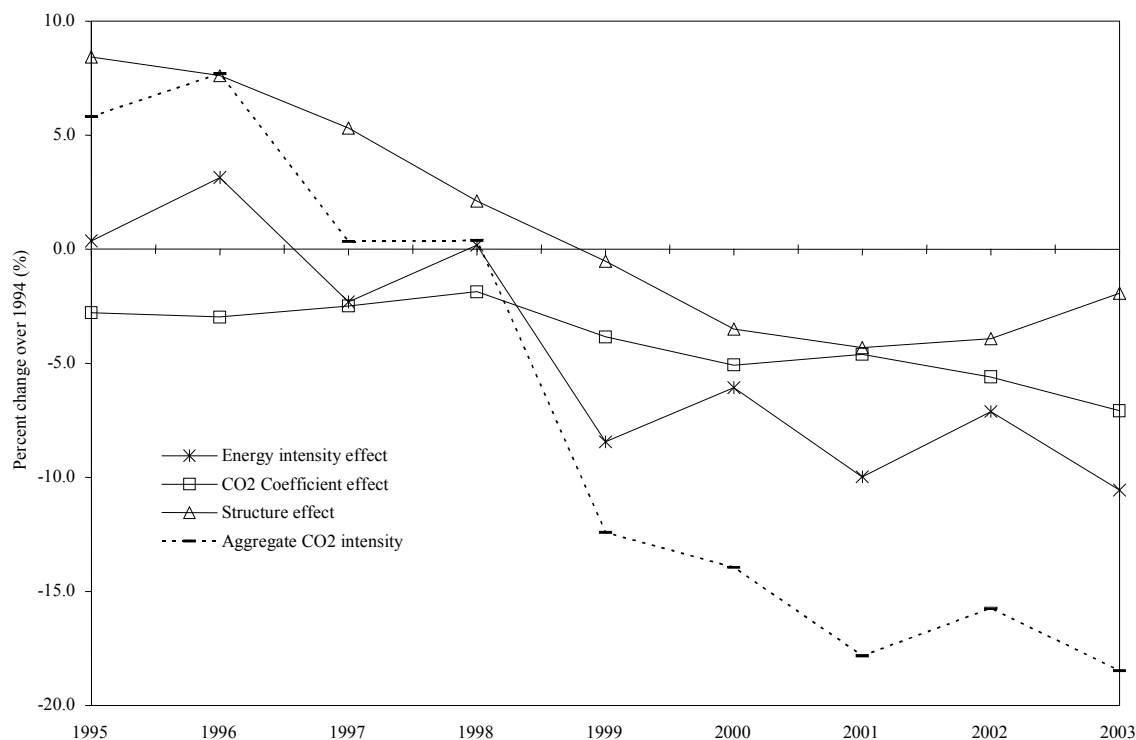
*Stage 1994-2003.*

The attribution results of M-LMDI-II show that the three effects in the CO<sub>2</sub> intensity in the Mexican industry work together in the same sense to decrease it. The energy intensity effect decreased the CO<sub>2</sub> intensity by 10.6% (-1.0% AAGR), the CO<sub>2</sub> coefficient effect by 7.1% (-0.8% AAGR), and the structure effect by 1.9% (-0.2% AAGR), see figure 6. In the case of the energy intensity effect, industries such as iron and steel (-0.8 AAGR), chemical (-0.3% AAGR) and pulp and paper (-0.2% AAGR) contributed to decrease the CO<sub>2</sub> intensity; while the 'other' industries (0.7% AAGR) contributed to increased it, see table 16.

The M-LMDI-II results of CO<sub>2</sub> emission coefficient effect show that it was mainly carried out by industries such as iron and steel, chemical, sugar, and 'other' industries, see table 17. At this stage, the CO<sub>2</sub> emitted by fuel oil consumption in the Mexican industry was reduced by 7.9%, which those industries reduced their shares of CO<sub>2</sub> emitted by 1.0%, 3.6%, 0.7%, and 2.3% respectively. Additionally, CO<sub>2</sub> emitted by electricity consumption increased by 9.1%.

The M-LMDI-II structure effect contributed to decrease the CO<sub>2</sub> intensity in the Mexican industry. It was carried out by industries such as petrochemical, cement and iron and steel. In 1994, it is observed a significant increase by 8.4%, where industries such as iron and steel, chemical, sugar and 'other' industries were the most representative sub-sectors of that change, see table 18.

The effects of energy intensity, CO<sub>2</sub> emission coefficient, and structure over CO<sub>2</sub> intensity in the Mexican industry can be explained, in part, because of an increase of foreign direct investment (FDI) that allowed to the industry acquire more efficient technology, apply energy saving programs, practice human resource training, etc., to face up the growingly competitiveness promoted by Mexico's entrance into the North American Free Trade Agreement (NAFTA) in 1994. In accordance to the Bank of Mexico, the FDI went from 10.9 billion dollars in 1994 to 26.7 billion dollars in 2001. Most of it was focused to manufacturing industries as metallic products, machinery and equipment, chemicals and derivatives, oil products, rubber, plastic, tobacco, etc. In 2003, the Mexican balance of energy reported that 76.4% (59.6% in 2002) of the Mexican industries accounted with a save energy program, and/or an energy substitute. In addition, because of NAFTA, in 1996 and 2001, the Mexican government modified the general law of ecological equilibrium (LGEE), promulgated in 1988, to induce the technological development, and promote new productive activities in a frame of efficiency and sustainability. From 29 environmental regulations focused to emissions to the atmosphere, 23 were specified to the manufacturing industry. Tables 16, 17, and 18 show the attribution results of M-LMDI-II effects in CO<sub>2</sub> emission intensity in the Mexican industry from 1994 to 2003.

Figure 6. Attributions of M-LMDI-II effects in CO<sub>2</sub> emission intensity in the Mexican industry from 1994 to 2003, base 1994 (%).Figure 6. Attributions of M-LMDI-II effects in CO<sub>2</sub> emission intensity in the Mexican industry from 1994 to 2003, base 1994 (%).Table 16. Attribution results of M-LMDI-II energy intensity effect in CO<sub>2</sub> emission intensity from 1994 to 2003 (base =previous year, %).

Mexican industry	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	Mean
Sugar	-0.02	-0.28	0.33	0.12	-0.30	-0.17	-0.41	0.20	-0.08	-0.07
Petrochemical	-0.26	0.29	-0.59	0.14	-0.04	-0.46	-0.70	0.09	-0.07	-0.18
Chemical	-1.33	1.17	-0.03	0.34	-1.18	1.49	-1.46	-0.86	-1.11	-0.33
Cement	0.33	-0.35	-0.46	0.66	-1.12	1.66	-0.09	-0.60	0.25	0.03
Iron and steel	-0.36	0.73	-1.03	-0.17	-0.97	1.71	-2.80	-2.60	-1.34	-0.76
Bottled water	-0.12	0.01	0.04	-0.03	0.04	0.00	-0.04	-0.04	0.01	-0.01
Aluminum	-0.01	0.01	0.08	-0.07	-0.03	0.02	-0.07	0.00	-0.02	-0.01
Automotive	-0.04	0.04	-0.01	0.00	0.09	-0.25	0.05	-0.04	-0.02	-0.02
Pulp and paper	-0.97	0.58	-0.52	0.19	-0.32	-0.43	-0.41	-0.23	-0.07	-0.24
Beer and malt	-0.24	0.30	0.00	0.05	-0.13	0.05	-0.09	-0.13	0.03	-0.02
Construction	0.00	0.06	-0.04	0.00	0.02	0.02	0.01	-0.02	0.00	0.00
Fertilizers	-0.32	0.19	0.03	-0.02	0.19	-0.49	-0.05	0.16	-0.03	-0.04
Rubber	0.00	0.04	0.02	-0.01	-0.04	0.02	0.10	-0.01	0.03	0.02
Mining	0.50	0.62	-0.45	0.36	-0.18	0.04	-0.36	-0.14	-0.92	-0.06
Tobacco	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	-0.01	0.00	0.01	0.00	0.00
Glass	-0.37	0.30	0.20	-0.16	-0.13	-0.11	0.43	-0.47	-0.17	-0.05
'Other' industries	3.59	-0.86	-2.79	0.95	-4.49	-0.17	2.07	7.74	0.06	0.68
% total change	0.37	2.85	-5.22	2.34	-8.57	2.92	-3.83	3.05	-3.47	-1.06

Table 16. Attribution results of M-LMDI-II energy intensity effect in CO<sub>2</sub> emission intensity from 1982 to 1994 (base =previous year, %).

Table 17. Attribution results of M-LMDI-II CO<sub>2</sub> coefficient effect in CO<sub>2</sub> emission intensity from 1994 to 2003 (base =previous year, %).

Mexican industry	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	Mean
Sugar	0.03	0.22	-0.31	0.30	-0.27	-0.51	-0.06	-0.18	-0.08	-0.09
Petrochemical	-0.01	0.01	0.02	-0.06	-0.05	-0.01	-0.01	0.00	0.01	-0.01
Chemical	-0.23	-0.11	0.02	0.05	-0.15	-0.25	0.04	-0.13	-0.31	-0.12
Cement	-0.10	-0.06	0.02	-0.01	-0.12	0.19	-0.11	-0.30	-0.25	-0.08
Iron and steel	-0.05	-0.52	0.08	0.02	0.01	-1.15	0.66	-0.05	-0.13	-0.13
Bottled water	-0.02	-0.01	0.00	0.01	-0.01	0.00	0.01	-0.01	0.00	0.00
Aluminum	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
Automotive	-0.03	0.00	0.01	0.01	-0.01	-0.01	0.00	-0.01	0.04	0.00
Pulp and paper	-0.18	0.04	0.02	0.04	-0.06	0.03	0.04	-0.02	0.01	-0.01
Beer and malt	-0.04	0.01	0.00	0.00	-0.01	0.03	0.01	0.03	0.00	0.00
Construction	-0.01	0.00	0.00	0.00	-0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Fertilizers	-0.04	0.00	0.00	0.00	-0.01	-0.05	0.00	0.00	0.00	-0.01
Rubber	-0.01	0.00	0.00	0.00	-0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
Mining	-0.19	-0.04	0.05	0.06	-0.07	0.04	0.12	-0.04	0.02	-0.01
Tobacco	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Glass	-0.02	-0.01	0.01	0.01	-0.01	-0.07	-0.75	0.89	0.00	0.01
'Other' industries	-1.86	0.25	0.55	0.23	-1.25	0.34	0.61	-1.17	-0.95	-0.36
% total change	-2.77	-0.21	0.49	0.69	-2.02	-1.42	0.59	-1.02	-1.63	-0.81

Table 17. Attribution results of M-LMDI-II CO<sub>2</sub> coefficient effect in CO<sub>2</sub> emission intensity from 1994 to 2003 (base =previous year, %).Table 18. Attribution results of M-LMDI-II structure effect in CO<sub>2</sub> emission intensity from 1994 to 2003 (base =previous year, %).

Mexican industry	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	Mean
Sugar	1.03	-0.09	-0.45	-0.12	-0.35	-0.40	0.67	-0.35	0.16	0.01
Petrochemical	0.85	-0.89	-1.10	-0.81	-0.69	-0.50	-0.12	-0.03	0.14	-0.35
Chemical	1.35	-0.46	-0.12	-0.47	0.05	-0.73	-0.72	0.23	0.33	-0.06
Cement	-1.37	0.19	-0.43	-0.36	-0.17	-0.16	-0.09	0.30	0.10	-0.22
Iron and steel	4.29	1.01	0.53	-1.03	-0.89	-0.72	-1.63	0.57	1.37	0.39
Bottled water	0.04	-0.04	-0.05	0.03	0.00	0.01	0.04	0.03	0.03	0.01
Aluminum	-0.02	0.06	0.00	0.01	-0.02	-0.01	0.01	-0.01	-0.01	0.00
Automotive	-0.04	0.09	0.03	0.02	0.04	0.09	-0.02	0.02	-0.04	0.02
Pulp and paper	0.42	-0.02	-0.17	-0.03	0.06	-0.17	0.04	0.02	0.06	0.02
Beer and malt	0.08	-0.05	-0.01	0.02	0.03	-0.03	0.12	0.06	0.06	0.03
Construction	-0.13	0.00	0.00	-0.01	0.00	-0.01	-0.02	0.02	0.03	-0.01
Fertilizers	0.28	0.02	-0.28	-0.19	-0.15	-0.23	-0.01	-0.14	-0.01	-0.08
Rubber	-0.01	0.03	0.00	0.03	-0.02	-0.02	-0.08	-0.03	0.02	-0.01
Mining	0.31	-0.11	-0.26	-0.20	-0.40	-0.13	0.31	0.03	0.22	-0.02
Tobacco	0.00	0.00	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Glass	0.26	-0.03	-0.04	0.05	-0.23	-0.06	0.09	0.23	-0.26	0.00
'Other' industries	1.10	-0.53	0.18	0.13	0.12	-0.08	0.11	-0.42	-0.31	0.03
% total change	8.44	-0.81	-2.19	-2.90	-2.60	-3.16	-1.29	0.52	1.90	-0.23

Table 18. Attribution results of M-LMDI-II structure effect in CO<sub>2</sub> emission intensity from 1994 to 2003 (base =previous year, %).

*Stage 2003-2010.*

The CO<sub>2</sub> emission intensity grew by 10.1%. The energy intensity effect was the main driving factor of that increase in the emission intensity, while the CO<sub>2</sub> coefficient effect contributed to raise it to a lesser extent. Those changes can be explained because of the prevailing economic model of the country. The Mexican economic model based on exports and free international trading rose the production in many areas of the productive base, with a consequent increase in demand of energy resources and related CO<sub>2</sub> emissions. Apart from the long-established industries such as iron and steel, cement, chemical, and petrochemical that are energy intensive consumers and emitters of greenhouse gases, the Mexican industry linked its development to industries preferably intended for exports such as automotive, beer and malt, glass, and 'other' industries. In the case of the automotive industry, it has become a strategic industry; its growth in the total exports of the country place it as the most important industry by surpassing the oil sector. In 2011, the automotive industry exported 22.5% of the total exports of the country. In general, the expansion of large, medium and small industries was a constant from 2003 to 2007; however from 2007 to 2009 that tendency was stopped by a decline in the manufacturing industries as a result of marked slowdown in external demand. The recovering process came from a gradual restitution in external conditions during the second half of 2009, in particular, higher levels of industrial activity in The United States. That point boosted the Mexican exports to consolidate the recovering process in 2010. As far the CO<sub>2</sub> emission coefficient effect, its evolution on CO<sub>2</sub> emission seems to be related to the price of fuel mix. In the period of crisis from 2007 to 2009, Mexican industries switched to low-cost fuels to maintain a stable operation in their processes.

**6. Policy implications.**

The Mexican industry has significantly changed, firstly through an import-substituting economic model in the seventies, secondly by a transition stage in the eighties, and thirdly by an open economy model based on free trade policies in the nineties up to date. At the present time, Mexico is the fourteenth largest economy in the world, and second in Latin America (International Monetary Fund, 2011). It takes part in the globalizing world by signing 11 free trade agreements with 43 countries, including the United States and Canada to establish the NAFTA (1994), the European Union (2000), and Japan (2004). Additionally, Mexico has made commitments to support the Kyoto Protocol, and it has joined efforts to help prevent climate change by voluntarily committed to reduce its CO<sub>2</sub> emissions by 50 million tons of CO<sub>2</sub> by 2012, 30% reduction in its greenhouse gas emissions by 2020, and 50% by 2050 as compared to 2000 levels. Thereby, as part of the efforts to accomplish those commitments, the Mexican government launched the Special Climate Change Program (PECC) in 2009 by projected an annual reduction of 51 Mt CO<sub>2</sub> by 2012. In the particular case of the Mexican industry, the CO<sub>2</sub> reduction target was stated by 0.52 Mt of CO<sub>2</sub> by 2012. In the most recent report of the Special Program to Climate Change in 2011 (PECC), managed by the Mexican Institute of Ecology (INE), was reported that the Mexican industry had decreased 0.10 million tons of CO<sub>2</sub> of the 0.52 Mt of CO<sub>2</sub> committed by 2012. Thus, the results of the present analysis might provide some help to the authorities to make decisions by indicating the industrial branches that are more receptive to get involved in policy strategies and programs intended to decrease the CO<sub>2</sub> emission intensity.

The analysis noticed that decreases of fuel oil consumptions have been restrained by environmental regulations, and by technological improvements that allow to several industries to switch it to alternative fuels such as natural gas and/or electricity. That point underlines that the renewable energy has been limited to the use of sugar cane bagasse (by the sugar industry), which has represented 7.0% (percentage average value) along the period (1965-2010). Therefore, the potential to promote and develop energy policies focused to reinforce a fuel mix consumption framework based on low-carbon content, and renewable energy might be helpful to reach low levels of CO<sub>2</sub> emissions. In addition, financial assistance, and appropriate regulatory framework should be considered to encourage

electricity self-generation based on renewable resources (wind power, solar/thermal, photovoltaic, etc) to improve the industrial processes and competitiveness to the path of a low carbon economy.

As for the structure, the change in the economic model has brought a clear point to remark: the export-oriented industries such as automotive, aluminum, glass, beer and malt, and 'other' industries have increased their significance but maintaining the activity level of large industries such as petrochemical, chemical, iron and steel, and cement. That change not only has improved the national economy through its contribution to the GDP but also has increased the CO<sub>2</sub> emitted and other greenhouse gases. It has been stimulated by governmental strategies focused to encourage the exports since 1994, and from 2006 to date the efforts to support the Mexican export industry have been reinforced through diverse governmental programs such as the manufacturing, Maquila and export services industry program (IMMEX), regulation system for foreign trade enterprises (ECEX), and systems for promoting and operating highly exporting companies (ALTEX), and Maquila export industries (FEMEX). Thus, Mexico has become an important export country in different kind of products at international level, which has put the Mexican industry as a focal point for economic development. With the aim of sustaining and improving the competitiveness and quality of the Mexican industry to face up the rising international markets, the government should impulse international cooperation programs for transferring and adoption of technologies beside of exchanging of experiences to get involved in continuous improvement. That not only might assist the continuous development of the industrial base but help reduce the effects of CO<sub>2</sub> emissions by also incorporating conservation energy programs, switching fuel mix to low-carbon content fuels, and human resource training by the industry itself.

On the subject of energy intensity, the Mexican government through the National Commission for Energy Saving (CONAE) and the Mexican Energy Saving Trust (FIDE) has supported the increase of energy efficiency in the industrial sector by implementing standards, regulations, and encouraging energy savings by substitution of lowering efficiency electric motors. However, still remain a lack of technology transfer programs, and innovation assistance that might allow the industry to reach and sustain a high-performance and high-efficiency. Programs and initiatives regarding to Research and Development (R&D), and Innovation and Demonstration (I&D) might help to improve not only the industrial processes efficiency but also achieve and sustain competitive advantage in the growingly global markets by reducing energy consumption, constraining the impact on environment, and adding value to the industrial production.

An important finding is that the Mexican trade liberalization policy has brought a mutually dependent relationship among Mexican economy and countries that have signed a free trade agreement with it, particularly with its major export trading partner: The United States. That fact not only has influenced, in a positive way, the economy development of the country but it also influenced the patterns of energy consumption and related CO<sub>2</sub> emissions, even more critical at a time of economic crisis. If those trends continue, it could be difficult for the country reach the targets committed against the global warming and climate change. In addition, with the proved reserves to production ratio (R/P) of oil estimated by 10 years, and considering that Mexico could be oil exporter at the middle-term, the national energy supply might be at risk. Therefore, the governmental authorities should establish programs, strategies and policies to ensure the national energy security in the short and middle-term by reducing negative effects of free trade to face up the future with confidence for a stable economy of the country.

## 7. Conclusions

As previous studies (Stern 1985 and 1987), the present one found that industries as petrochemical and 'other' industries grew rapidly during the sixties because of the Mexican oil boom. Also, as a result of abundant and subsidized energy focused on industrial development, the energy consumption by the Mexican industry grew at an accelerated rate. Furthermore, as it was indicated in the study

carried out by Sheinbaum and Rodriguez (1997) applied to the Mexican industry, and later extended to specific studies centered in industries such as cement (Sheinbaum and Ozawa, 1998) and iron and steel (Ozawa et al., 2002, and Sheinbaum et al., 2010a), the energy intensity was presented as the main driving force behind of decline in energy-related CO<sub>2</sub> emissions, and the findings of this study agree with that. However, recent aggregate data has showed that this pattern has changed as a result of the production growth for exports, in the context of an export-oriented economic policy framework, the energy-related CO<sub>2</sub> emissions growth was strongly linked to the demand for exporting products. The present analysis showed that carbon emission intensity declined significantly by 26.2% from 1965 to 2003, but it increased by 10.2% from 2003 to 2010.

From 1965 to 2003, the study showed that the energy intensity effect was the main influencing factor that contributed to decline the CO<sub>2</sub> intensity in the MIS because of strategies, programs, and improvements introduced into the industries, either as part of government policy or by the industry itself to go down the path of free trade economy model of the country. The CO<sub>2</sub> emission coefficient effect showed that the MIS switched its end-use fuel mix by low-carbon fuels such as natural gas and electricity instead of fuel oil, which allowed a slight decrease into the industrial CO<sub>2</sub> intensity. As for the structure effect, it contributed to increase the CO<sub>2</sub> intensity despite the fact that traditional intensive industries such as petrochemical, chemical, cement, and iron and steel lost significance into the economic structure of the industrial sector in favor of export-oriented industries such as automotive, glass, beer and malt, and 'other' industries. From 2003 to 2010, the energy intensity effect over the CO<sub>2</sub> emission intensity grew by reason of increases in the energy demand and the added value from exports to many countries, mainly to The United States, even despite of the global crisis from 2007 to 2009. The CO<sub>2</sub> emission coefficient effect showed that increases in the CO<sub>2</sub> intensity were influenced by the condition of fuel prices. If the price of the standard fuel rises significantly, the industries switch it to other one at the lower price, no matter its impact on the emissions.

At the first stage, the increase in CO<sub>2</sub> intensity was performed by structure effect as a result of strong production growth to satisfy diverse needs from the industrial sector and agricultural sector in a frame of import-substituting economic model, and availability of energy from oil discoveries at that time. The second stage showed important decreases in CO<sub>2</sub> intensity driven by the energy intensity effect; while CO<sub>2</sub> coefficient effect and structure effect influenced the increases of it. Those changes are explained because of the opening of state-owned industries to private investment (national and foreign) as a consequence of economic crises (1982, 1986), variability of oil prices, among other factors, which led to a restructuration of the national production base of the country. The third stage showed that the three analyzed effects over the CO<sub>2</sub> intensity contributed to decrease it. Since Mexico's economy was open to free trading, the Mexican industry had to improve their processes, and optimize their economic and human resources to face up the international markets. The fourth stage indicates that after a decline in the Mexican industrial activity at the beginning of 2000 because of an economic contraction of The United States, from 2003 to 2010, the Mexican industry expanded its capacity as a result of industries intended to export, which increased their production under a free trade policy of the country.

Thus, the analysis has exposed a view at the middle and long-term by showing the role of the main industrial branches into the Mexican industry. In addition, it identifies sub-sectors where diverse improvements (technologic, financing, policy, etc.) might be put into practice to impact the change of CO<sub>2</sub> intensity in the sector. The mitigation options in the Mexican industry react favorably to energy efficiency strategies, while, the economy model based on numerous free trade agreements has turned the country dependent from exports by underlining the relationship with The United States. Thereby, Mexican exports based on Maquila and manufacturing products need support to modernize their technologies, increase the efficiency, and the added value of their products to face up the local and foreign competitiveness. Additionally, considering that Mexico's oil proved reserves decline rapidly, regulatory measures focused to improve the energy efficiency by considering introduction of renewable and alternative fuels might be the key to reach the targets committed to reduce the CO<sub>2</sub>



emissions in the immediate future toward a sustainable development, and energy security of the country.

## References

- Ang, B.W., 2004. Decomposition analysis for policymaking in energy: which is the preferred method? *Energy Policy* 2004; 32 (9): 1131-1139.
- Ang, B.W., 2005. The LMDI approach to decomposition analysis: a practical guide. *Energy Policy* 33, 867-871.
- Ang, B.W., Choi, K.H., 1997. Decomposition of aggregate energy and gas emission intensities for industry: a refined Divisia index method. *The Energy Journal*; 18 (3): 59-73.
- Ang B.W., Huang H.C., Mu A.R., 2009. Properties and linkages of some index decomposition analysis methods. *Energy Policy*, 37, 11: 4624-4632.
- Ang B.W., Liu F.L., 2001. A new energy decomposition method: perfect in decomposition and consistent in aggregation. *Energy*; 26 (6): 537-548.
- Ang, B.W., Liu, N., 2007(a). Handling zero values in the logarithmic mean Divisia index decomposition approach. *Energy Policy*; 35: 238-246.
- Ang, B.W., Liu, N., 2007(b). Negative-value problems of the logarithmic mean Divisia index decomposition approach. *Energy Policy*; 35: 739-742.
- Ang, B.W., Zhang, F.Q., 2000. A survey of index decomposition analysis in energy and environmental studies. *Energy*; 25: 1149-1176.
- Ang, B.W., Zhang, F.Q., Choi, K.H., 1998. Factorizing changes in energy and environmental indicators through decomposition. *Energy*; 23 (6): 489-495.
- Balk, B.M., 2004. Decomposition of Fisher Indices. *Economics Letters* 82, 107-113.
- Boyd, G., McDonald, J.F., Ross, M., Hanson, D.A., 1987. Separating the changing composition of US manufacturing production from energy efficiency improvements: A Divisia index approach. *The Energy Journal*; 8 (2): 77-96.
- Boyd, G.A., Roop J.M., 2004. A Note on the Fisher Ideal Index Decomposition for Structural Change in Energy Intensity. *The Energy Journal*; 25(1):87-101.
- Centro de Estudios de las Finanzas Públicas, 2003. (CEFP, 2003). Encadenamiento de series históricas del Producto Interno Bruto de México 1970-2001. H. Congreso de la Unión, Cámara de Diputados. CEFP/012/2003.
- Choi, K.H., Ang, B.W. 2003. Decomposition of aggregate energy intensity changes in two measures: difference and ratio. *Energy Economics* 25, 615-624.
- Choi, K.-H., Ang, B.W., 2011. Attribution of changes in Divisia real energy intensity index — An extension to index decomposition analysis. *Energy Economics*, doi:10.1016/j.eneco.2011.04.011.
- Farla, J., Blok, K., Schipper, L.J., 1997. Energy efficiency developments in the pulp and paper industry —a cross-country comparison using physical production data. *Energy Policy*; 25 (7-9): 745-758.
- Galindo L.M., 2005. Short and Long-run demand for energy in Mexico: A cointegration approach. *Energy Policy*; 33 (9): 1179-1185.
- Hoekstra, R., Van der Bergh, J.C.J.M., 2003. Comparing structural and index decomposition analysis. *Energy Economics*; 25 (1), 39-64.
- Liaskas K., Mavrotas G., Mandaraka M., Diakoulaki D., 2000. Decomposition of industrial CO<sub>2</sub> emissions: The case of European Union. *Energy Economics*; 22 (4): 383-394.
- Liu, F.L., 2004 *Decomposition Analysis Applied to Energy: Some Methodological Issues*. Ph.D. Thesis, Department of Industrial and Systems Engineering, National University of Singapore, Singapore.

- 
- Liu Na, Ang, B.W., 2007. Factors shaping aggregate energy intensity trend for industry: energy intensity versus product mix. *Energy Economics*; 29; 609–635.
- Ozawa, L., 2000. Análisis del consumo de energía del Sector Industrial Mexicano y comparaciones internacionales: industria siderúrgica y cementera. Master degree thesis, UNAM. Thesis director: Sheinbaum, C.
- Ozawa, L., Sheinbaum, C., Martin N., Worrell E., Price L., 2002. Energy use and CO<sub>2</sub> emissions in Mexico's iron and steel industry. *Energy*; 27 (3): 225-239.
- Reinsdorf, M.B., 1996. Log-change indexes in fixed basket form. Working paper 278. U.S. Bureau of Labor Statistics, Washington, DC.
- Schipper, L.; Meyers, S.; Howard, R. and Steiner, R., 1992. *Energy Efficiency and Human Activity: Past Trends Future Prospects*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Stern, T., 1985. Structural change and technology choice: Energy use in Mexican manufacturing industry, 1970-1981. *Energy Economics*; 7 (2): 77-86.
- Stern, T., 1987. Energy use in Mexican Industry (El uso de la energía en la Industria Mexicana). El Colegio de México, A.C.
- Sheinbaum C., Rodríguez L., 1997. Recent trends in Mexican Industrial energy use and their impact on carbon dioxide emission. *Energy Policy*; 25 (7-9): 825-831.
- Sheinbaum C., Ozawa L., 1998. Energy use and CO<sub>2</sub> emissions for Mexico's cement industry. *Energy*; 23 (9): 725-732.
- Sheinbaum C., Ozawa L., Castillo D., 2010 (a). Using logarithmic mean Divisia index to analyze changes in energy use and carbon dioxide emissions in Mexico's iron and steel industry. *Energy Economics*; 32 (6): 1337-1344.
- Sheinbaum C., Ruiz B.J., Ozawa L., 2010 (b). Energy consumption and related CO<sub>2</sub> emissions in five Latin American countries: Changes from 1990 to 2006 and perspectives. *Energy*, in Press, Corrected Proof, Available online 30 August 2010.
- Sun J. W. 1998. Changes in energy consumption and energy intensity: A complete decomposition model. *Energy Economics*, 20 (1), 85-100.
- Zhang, F.Q., Ang, B.W., 2001. Methodological issues in cross-country region decomposition of energy and environment indicators. *Energy Economics*; 23: 179-190.

---

## Bibliografía.

---

- Ackoff R., 1984. *Rediseñando el futuro*. Limusa México.
- Albrecht J., Francois D., Schoors K., 2002. *A Shapley decomposition of carbon emissions without residuals*. Energy Policy 30; 727–736.
- Alcamo, J., A. Bouwman, J. Edmonds, A. Grübler, T. Morita, and A. Sugandhy, 1995. *An evaluation of the IPCC IS92 emission scenarios*. In Climate Change 1994, Radiative Forcing of Climate Change and An Evaluation of the IPCC IS92 Emission Scenarios, J.T. Houghton, L.G. Meira Filho, J. Bruce, Hoesung Lee, B.A. Callander, E. Haites, N. Harris and K. Maskell (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, pp. 233- 304.
- Alcántara V., Duarte R., 2004. *Comparison of energy intensities in European Union countries. Results of a structural decomposition analysis*. Energy Policy 32, 177-189.
- Alva de la Selva, M.G., 2004. *Competitividad en la industria siderúrgica mexicana*. VII Simposio y Exposición Avances en Tecnologías Siderúrgicas, Ixtapa, Guerrero. CANACERO.
- Ang B.W., 1994. *Decomposition of industrial energy consumption, The energy intensity approach*. Energy Economics 16, 3, 163-174.
- Ang B.W., 1995. *Multilevel decomposition of industrial energy consumption*. Energy Economics 17, 1, 39-51.
- Ang B.W., 1995. *Decomposition methodology in industrial energy demand analysis*. Energy 20, 11, 1081-1095.
- Ang B.W., 2004. *Decomposition analysis for policymaking in energy: which is the preferred method?* Energy Policy 32, 1131-1139.
- Ang, B.W., Choi, K.H., 1997. *Decomposition of aggregate energy and gas emission intensities for industry: a refined Divisia index method*. Energy Journal 18 (3), 59–73.

- Ang, B. W., Lee, S. Y., 1994. *Decomposition of industrial energy consumption: some methodological and application issues*. Energy Economics, 16(2), 83-92.
- Ang B.W., Pandiyan G., 1997. *Decomposition of energy-induced CO<sub>2</sub> emissions in manufacturing*. Energy Economics 19, 363-374.
- Ang, B.W., Liu, F.L., 2001. *A new energy decomposition method: perfect in decomposition and consistent in aggregation*. Energy 26 (6), 537-548.
- Ang B.W., Liu F.L., Chew E.P., 2003. *Perfect decomposition techniques in energy and environmental analysis*. Energy Policy 31, 1561-1566
- Ang B.W., Zhang F.Q., 2000. *A survey of index decomposition analysis in energy and environmental studies*. Energy 25, 1149-1176.
- Ang, B.W., Zhang, F.Q., Choi, K.H., 1998. *Factorising changes in energy and environmental indicators through decomposition*. Energy 23 (6), 489-495.
- Arjaree Ussanarassamee and Subhes C. Bhattacharyya, 2005. *Changes in energy demand in Thai industry between 1981 and 2000*. Energy, 30, 10, 1845-1857.
- Ansuategi A., Arto I., 2002. *La evolución de la intensidad energética de la industria vasca entre 1982 y 2001: Un análisis de descomposición*. Proyecto de Investigación del Ministerio de Ciencia y Tecnología número SEC2001-0687.
- Anzola Sérvulo, 2002. *Administración de pequeñas empresas*. México, McGraw Hill, 2ª Edición, 368 pp.
- Asia Pacific Energy Research Centre, 2001. *Energy Efficiency Indicators—A Study of Energy Efficiency Indicators in APEC economies, Tokyo*. [http://www.ieej.or.jp/aperc/2001/Efficiency Part1.pdf](http://www.ieej.or.jp/aperc/2001/Efficiency%20Part1.pdf), [http://www.ieej.or.jp/aperc/2001/Efficiency Part2.pdf](http://www.ieej.or.jp/aperc/2001/Efficiency%20Part2.pdf).
- Barkin D., 1999. *Libre Comercio y La Política Ambiental en México*. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco. Borderlines 60, Vol. 7, Núm. 9.
- Bhattacharyya, S., Ussanarassamee, A., 2005. *Changes in energy intensities of Thai industry between 1981 and 2000: a decomposition analysis*. Energy Policy 33, 995-1002.
- Box G.E., Jenkins G.M., 1970. *Time series analysis: Forecasting and control*. San Francisco: Holden-Day.
- Boyd G., McDonald J. F., Ross M., Hanson D. A., 1987. *Separating the changing composition of US manufacturing production from energy efficiency improvements: A Divisia index approach*. The Energy Journal 8, 2, 77-96.
- Boyd G. A., Hanson D.A., Sterner T., 1988. *Decomposition of changes in energy intensity: A comparison of the Divisia index and other methods*. Energy Economics, 10, 4, 309-312.
- Buchan D., Roberts A., 2002. *Energy study sees break-up of global trends*. Financial Times, 21 de enero, Londres.
- Caldera E., 1998. *Energías renovables en México: Potenciales, Aplicaciones y Mercados*. Sumario Ejecutivo, 1-21.
- Cámara Nacional del Cemento, CANACEM. [www.canacem.org.mx](http://www.canacem.org.mx)
- Cámara Nacional de las Industrias Azucarera y Alcohólica. <http://www.camaraazucarera.org.mx>
- Castañeda, Beatriz, 1999. *Un índice de bienestar sustentable para Chile, 1965-1968*. Programa Chile Sustentable, Santiago
- Centro de Estudios de las Finanzas Públicas, 2004. *Evolución del Sector Manufacturero de México, 1980-2003*. Cámara de Diputados, H. Congreso de la Unión. CEFP/002/2005.
- CEPAL, 1990. *Elementos para el Diseño de Políticas Industriales y Tecnológicas en América Latina*. Editado por CEPAL-ONU, Cuadernos de la CEPAL, Núm. 63.

- Chang Y.F., Lin S.J., 1998. *Structural decomposition of industrial CO<sub>2</sub> emission in Taiwan: an input-output approach*. Energy Policy, 26, 1, 5-12.
- Chiapetto R., Crescencio; 1999. *Economía, Sociedad y Territorio*. Vol. II, No. 5, 1-24.
- Chertow, Marian R. (2000). *The IPAT equation and its variants: changing views of technology and environmental impact*. Journal of Industrial Ecology, 4, 4. 13-29.
- Choi, K.H., Ang, B.W., 2001. *A time-series analysis of energy-related carbon emissions in Korea*. Energy Policy 29, 1155–1161.
- Choi, K.H., Ang, B.W., 2002. *Measuring thermal efficiency improvement in power generation: the Divisia decomposition approach*. Energy 27, 447–455.
- Choi Ki-Hong, Ang B.W., 2003. *Decomposition of aggregate energy intensity changes in two measures: ratio and difference*. Energy Economics 25, 615–624.
- Chung, H.S., Rhee, H.C., 2001. *A residual-free decomposition of the sources of carbon dioxide emissions: a case of the Korean industries*. Energy 26 (1), 15–30.
- Comisión de Estudios del Sector Privado para el Desarrollo Sustentable (CESPEDES), 1999. *Competitividad y Protección Ambiental: Iniciativa Estratégica del Sector Industrial Mexicano*. Consejo Coordinador Empresarial (CCE)
- Comisión de Estudios del Sector Privado para el Desarrollo Sustentable (CESPEDES), 1999. *Política Ambiental y Ecoeficiencia en la Industria: Nuevos Desafíos*. Consejo Coordinador Empresarial (CCE).
- Comisión de Estudios del Sector Privado para el Desarrollo Sustentable (CESPEDES), 1999. *Competitividad y Protección Ambiental: Iniciativa Estratégica del Sector Industrial Mexicano*. Consejo Coordinador Empresarial (CCE)
- CONABIO, 2006. *Capital Natural y Bienestar Social*. CONABIO, México.
- Consejo Nacional de Industriales Ecologistas, A.C. de México, 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 y Editado por: Diego Masera.
- Corona R. A., 2000. *Economía ecológica*. Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM. México. pp. 77-95.
- De la Garza Toledo, Enrique (Coordinador), 1998. *Modelos de industrialización en México*. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa. División de Ciencias Sociales y Humanidades. Colección CSH. Primera edición.
- Ehrlich P.R., Holdren J.P., 1971. *Impact of population growth*. Science, 171, 1212–1217.
- Eichhammer W, Schlomann B. 1998. *Methodological Issues and Relevance in a Policy Context of Energy Efficiency Indicators*. Proc. Workshop Energy Efficiency Indicators for Industry, Tokyo, pp. 52–62. Tokyo: Asia Pac. Energ. Res. Cent.
- Expert Report. Expert Group on Energy Efficiency, 2007. *Realizing the Potential of Energy Efficiency: Targets, Policies, and Measures for G8 Countries*. United Nations Foundation, Washington, DC, 72 pp.
- Farla J., Blok K., Schipper L.J., 1997. *Energy efficiency developments in the pulp and paper industry – a cross-country comparison using physical production data*. Energy Policy 25, 746.
- Farla J., Blok K. 2000. *The use of physical indicators for the monitoring of energy intensity developments in the Netherlands 1980–1995*. Energy Int. J. 25(7):609–38.
- Farla J., Blok K. 2000. *Energy efficiency and structural change in the Netherlands, 1980–1995*. J. Ind. Ecol. 4(1):93–117.
- Fernández-Busto R., J.M., 2001. *Desempeño Ambiental del Sector Industrial en Latinoamérica y el Caribe a 10 años de los Acuerdos de Río (Resumen)*. Consejo Nacional de Industriales Ecologistas, A.C. de México, CONIECO. Editado por Diego Masera.

- Fuentes, N., M. Rojas, 2001. *Economic Theory and Subjective Well-Being: Mexico*. "Economic Theory and Subjective Well-Being" in *Social Indicators Research*. Kluwer Academic Press, The Netherlands, Volume 53 (3), pp 289-314
- Gaffin, S. R., B.C. O'Neill, 1997. *Population and global warming with and without CO<sub>2</sub> targets*. *Population and Environment*, 18, 4, 389-413.
- Galindo L.M., 2005. *Short and Long-run demand for energy in Mexico: A cointegration approach*. *Energy Policy* 33, 1179-1185.
- Geremi G., Martínez M., 2004. *Mexico's Economic Transformation under NAFTA en Mexico's Democracy at Work: Political and Economic Dynamics*. Lynne Reiner Publishers, US.
- Greening, L. A., Davis, W. B., Schipper, L. J., 1996. *Decomposition of Aggregate Carbon Intensity for the Manufacturing Sector. Comparison of Declining Trends from Ten OECD Countries for the Period 1971 to 1991*. working paper, Lawrence Berkeley Laboratory, Berkeley, CA.
- Greening, L., Davis, W.B., Schipper, L.J., 1996. *Decomposition of aggregate carbon intensity for the manufacturing sector: comparison of declining trends from ten OECD countries for the period 1971 to 1991*. *Energy Economics* 18 (1), 43-65.
- Greening, L., Davis, W.B., Schipper, L.J., Khrushch, M., 1997. *Comparison of six decomposition methods: application to aggregate energy intensity for manufacturing in ten OECD countries*. *Energy Economics*. 19(3), 375-390.
- Gürer, N., J. Ban, 1997. *Factors affecting energy-related CO<sub>2</sub> emissions: past levels and present trends*. *OPEC Review*, XXI, 4, 309-350.
- Guzmán O.M.; Yúnez-Naua A.; Wionczek M.S., 1985. *Uso eficiente y conservación de la Energía en México*. El colegio de México.
- Hankinson G. A., J. M. W. Rhys, 1983. *Electricity consumption, electricity intensity and industrial structure*. *Energy Economics*, 5, 3, 146-152.
- Hetherington R., 1996. *An input-output analysis of carbon dioxide emissions for the UK*. *Energy Conversion Management* 37, 6-8, 979-984.
- Howarth R.B., Schipper L., Duerr P.A., Strøm S., 1991. *Manufacturing energy use in eight OECD countries: Decomposing the impacts of changes in output, industry structure and energy intensity*. *Energy Economics*, 13, 2, 135-142.
- IEA SHC – Tarea 33 IEA SolarPACES – Tarea IV. *Calor Solar para Procesos Industriales*. BOLETÍN No. 1 – Diciembre 2005.
- IIEC-UNAM, Instituto de Investigaciones Económicas, Universidad Nacional Autónoma de México, 2001. *Momento Económico*, boletín electrónico. Vol. 7, Ejemplar 12.
- Intergovernmental Panel of Climate Change, 1996. *Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, versión revisada en 1996*. Modulo 1, 1.7.
- Instituto Nacional de Ecología. *Programa para mejorar la calidad del aire del Valle de México, 1995-2000, Guadalajara 1996-2000, Monterrey 1997-2000 y Ciudad Juárez 1998-2000*.
- Instituto Nacional de Ecología. *El contexto de la relación industria y Medio Ambiente*. Véase: <http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/256/1.html>
- Instituto Nacional de Ecología. *Consideraciones y antecedentes para sustentar una estrategia ambiental para la industria en México: Contexto actual y requisitos estratégicos*. Provencio, E. Véase: <http://www.ine.gob.mx/publicaciones/libros/3/provencio.html>
- Instituto Nacional de Ecología. *Desarrollo Industrial y medio ambiente en México. La dinámica industrial en México*. Véase: <http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/36/cap3.html>

- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, (INEGI). *Banco de Información Económica*. Sistema de Cuentas Nacionales. [www.inegi.gob.mx](http://www.inegi.gob.mx)
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. Véase: <http://www.ipcc.ch>
- Irigoyen E., 2001. *Economía ambiental*. Universidad Iberoamericana. México. pp. 18-42.
- Jacco C. Farla M., Blok Kornelis, 2000. *Energy efficiency and structural change in the Netherlands, 1980-1995: Influence of Energy Efficiency. Dematerialization and Economic Structure on national energy consumption*. Journal of Industrial Ecology, 4, 1, 93-117.
- Jaime E., Barrón L., 1992. *Lo Hecho en México, Empresas mexicanas ante la apertura comercial*. Centro de Investigación para el Desarrollo, A.C.
- Karakaya E., Özcag M., 2005. Driving Forces of CO<sub>2</sub> Emissions in Central Asia: A Decomposition Analysis of Air Pollution from Fossil Fuel Combustion. ARID ECOSYSTEMS JOURNAL, 11, 26-27, 49-57.
- Kawasea Reina, Matsuoka Yuzuru, Fujino Junichi, 2006. *Decomposition analysis of CO<sub>2</sub> emission in long-term climate stabilization scenarios*. Energy Policy, 34, 15, 2113-2122.
- Kaya, Y., 1990. *Impact of carbon dioxide emission control on GNP growth: interpretation of proposed scenarios*. Paper presented at the IPCC Energy and Industry Subgroup, Response Strategies Working Group, Paris, France.
- Krackeler, T., Schipper, T., Sezgen, O., 1998. *Carbon dioxide emissions in OECD service sectors. The critical role of electricity use*. Energy Policy, 26, 15, 1137-1152.
- Leney T., Coles M., Grollman P., Vilu R., 2004. *Manual de escenarios*. Cedefop (Centro Europeo para el Desarrollo de la Formación Profesional), Dossier series, 9. Luxemburgo: Oficina de Publicaciones oficiales de las Comunidades Europeas.
- Liaskas K., Mavrotas G., Mandaraka M., Diakoulaki D., 2000. *Decomposition of industrial CO<sub>2</sub> emissions: The case of European Union*. Energy Economics 22, 383-394.
- Li Jing-Wen, Shrestha Ram M., Foell Wesley K., 1990. *Structural change and energy use, The case of the manufacturing sector in Taiwan*. Energy Economics, 109-114.
- Liu F.L., Ang, B.W., 2003. *Eight methods for decomposing the aggregate energy-intensity of industry*. Applied Energy 76, 15-23.
- Liu X.Q., Ang B.W., Ong H.L., 1992. *The Application of the Divisia Index to the Decomposition of Changes in Industrial Energy Consumption*. The Energy Journal 13, 4, 161-177.
- Macario, Carla, 1999. *La reestructuración en la industria: los casos de Chile, México y Venezuela*. División de Desarrollo Productivo y Empresarial, CEPAL. Revista de la CEPAL 67.
- Makridakis S., Wheelwright S.C., Hyndman R.J., 1998. *Forecasting: methods and applications*. New York: John Wiley & Sons.
- Mendoza M., Emma, 2006. *Energías renovables en México dentro del marco de APEC: estado actual y perspectivas*. Formación de recursos humanos. Estudios Internacionales.
- Ma Chumbo, Stern, David I., 2007. *China's changing energy intensity trend: A decomposition analysis*. Energy Economics. In Press, Corrected Proof, Available online 20 June 2007.
- Manzini F., Martínez M., 1999. *Using final energies to plan a sustainable future for México*. Energy 24, 945-958.
- Manzini F., Martínez M., 2001. *Reduction of greenhouse gases using renewable energies in Mexico 2025*. International Journal of Hydrogen Energy, 26, 145-149.
- Martínez A. J., Roca J. J., 2003. *Economía ecológica y política ambiental*. 2ª. Ed. Fondo de Cultura Económica. México. pp. 11-21.

- Mercado, A., Córdova, K., 2005. *Desarrollo sustentable –Industria: Mas controversias menos respuestas*. Ambiente & Sociedad, Vol. VIII, No. 1.
- Miketa A., 2001. *Analysis of energy intensity developments in manufacturing sectors in industrialized and developing countries*. Energy Policy 29, 769-775.
- Miklos T., Tello M. E., 1993. *Planeación interactiva, una estrategia para el logro empresarial*. Editorial Limusa-Noriega, México.
- Miklos T., 1998. *Criterios Básicos de Planeación*. Cuadernos de Orientación Metodológica 1. Instituto Federal Electoral (IFE).
- Ministerio de Economía, Secretaría de Estado de Energía, Desarrollo Industrial y de la Pequeña y Mediana Empresa, 2003. *Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2004-2012, Subsector Industria Química*.
- Mulás del Pozo, P. (Coordinador), 1995. *Aspectos tecnológicos de la modernización Industrial de México*. Academia de la Investigación Científica, A.C., Academia Nacional de Ingeniería, Fondo de Cultura Económica. México.
- Nacional Financiera, S.N.C.. *La Economía Mexicana en Cifras 1998*. 15ª. Edición. Coordinación de Información Técnica y Publicaciones. Dirección de Comunicación Social.
- Nakicenovic, N., A. Grübler, A. Inaba, S. Messner, S. Nilson, et al., 1993. *Long-term strategies for mitigating global warming*. Energy, 18, 5, 401-609.
- National Laboratory Directors for the U.S. Department of Energy, 1997. *Technology Opportunities to Reduce U.S. Greenhouse-Gas Emissions*. Véase: [http://www.ornl.gov/climate\\_change](http://www.ornl.gov/climate_change)
- ODYSSEE, 2005. (<http://www.odyssee-indicators.org/Overview/overview.html>).
- ODYSSEE, 1999. Aggregate energy efficiency indicators in ODYSSEE for industry. <http://www.odyssee-indicators.org/Publication/PDF/indic-ind.pdf>
- OECD, 2004. Esteve, Claudia F., Valencia Laura. *Estudios económicos de la OCDE: México 2003*. Editorial: Organization for Economic Cooperation and Development.
- OECD/IEA, 2007. *Tracking Industrial Energy Efficiency and CO<sub>2</sub> Emissions*. In support of the G8 Plan of Action. Energy Indicators.
- OECD/IEA, 2007. *Energy Technologies at the Cutting Edge*. International Energy Technology Collaboration. IEA Implementing Agreements
- Ogawa, Y., 1991: *Economic activity and greenhouse effect*. The Energy Journal, 12, 1, 23-34.
- Olivera Guillermo, 1999. *El auge exportador mexicano desde una perspectiva espacio-sectorial y de política*. Revista Mexicana de Sociología, Vol. 61, 4., 73-108.
- Onofre Torres C, 1987. *Prospectiva Herramienta del oficial de Estado mayor*. Revista de la Marina. 138 – 144.
- O'Neill, B.C., F.L. MacKellar, W. Lutz, 2000. *Population and Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Ozawa M., L., 2000. *Análisis del consumo de energía en el Sector Industrial Mexicano y comparaciones internacionales: Industria Siderúrgica y Cementera*. Tesis de Maestría, UNAM. Directora de tesis: Sheinbaum P., Claudia.
- Ozawa M., L., Sheinbaum C., Martin N., Worrell E., Price L., 2002. *Energy use and CO<sub>2</sub> emissions in Mexico's iron and steel industry*. Energy 27, 3; 225-239.
- Phylipsen G. J. M, Blok K., Worrell E., 1997. *International comparisons of energy efficiency-Methodologies for the manufacturing industry*. Energy Policy, 25, 7-9, 715-725.



- Pierce, D., B. Edward, A. Markandya, 1990. *Sustainable Development: Economics and Environmental in The Third World*. Earthscan Publications Ltd., London, UK.
- Parikh, J.K., 1994. *North-south issues for climate change*. Economic and Political Weekly, November 5-12, 2940-2943.
- Parikh, J.K., K.S. Parikh, S. Gokarn, J.P. Painuly, B. Saha, and V. Shukla, 1991. *Consumption Patterns: The Driving Force of Environmental Stress*. Report prepared for the United Nations Conference on Environment and Development (UNCED), IGIDR-PP-014, Indira Gandhi Institute for Development Research, Mumbai, India.
- Porter M., 1985. *Competitive Advantage*. Simon and Schuster, Nueva York.
- Raghuvanshi, S. P., Chandra A., Raghav A. K., 2006. *Carbon dioxide emissions from coal based power generation in India*. Energy Conversion and Management, 47, 4, 427-441.
- Ramachandra T.V., Subramanian D.K., 1997. *Industrial Energy utilization in Karnataka and Potential Savings*. Energy Conversion Management, 38, 6, 563-599
- Repetto, Robert et al., 1989. *Wasting assets: national resources in the national income accounts*. Washington D.C. World Resources Institute. 68 pp.
- Ringland G., 2002. *Scenarios in Business*. John Wiley and Sons, Chichester.
- Rodríguez Valencia, Joaquín, 2001. *Cómo Administrar Pequeñas y Medianas Empresas*. 4ª Edición, International Thomson Editores, México.
- Ruvalcaba E.R., Pérez S., Pérez A., R. *La Gestión Ambiental Rentable en pequeñas empresas Mexicanas*. Publicado en Revista Futuros, No 9, 2005, Vol. III.
- SEMARNAP, INE, PROFEPA, 2000. *Gestión ambiental hacia la industria: Logros y retos para el desarrollo sustentable 1995-2000*. Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, Instituto Nacional de Ecología, Procuraduría Federal de Protección al Ambiente. Primera edición. Véase: [www.ine.gob.mx/depsec/publicaciones.htm](http://www.ine.gob.mx/depsec/publicaciones.htm)
- Schaper, Marianne, 2007. *Los desafíos del desarrollo sostenible en las economías abiertas de América Latina y el Caribe*. Pensamiento Iberoamericano, Número 0, 2a. época.
- Schatan, Claudia, 1999. *Contaminación industrial en los países latinoamericanos pre y post reformas económicas*. División de Medio Ambiente y Asentamientos Humanos. Santiago de Chile. Serie Medio Ambiente y desarrollo. CEPAL.
- Schipper, L., Murtishaw, S., Unander, F., 2001. *Analyzing differences in carbon emissions in IEA countries*. The Energy Journal 22, 2, 35-75.
- Schipper, L., Unander, F., Murtishaw, S., Ting, M., 2001. *Indicators of energy use and carbon emissions: Explaining the energy economy link*. Annual Review of Energy and the Environment, 26, 49-81.
- Schipper L, Ting M, Khrushch M, Golove W., 1997. *The evolution of carbon dioxide emissions from energy use in industrialized countries: an end-use analysis*. Energy Policy 25, 7/9:651-72.
- Schipper L., Howard R., Anderson B., Price L., 1992. *Energy use in Denmark: an international perspective*. Lawrence Berkeley Laboratory, Report LBL-32362, Berkeley, CA.
- Schweiger H. et al., 1999. *The Potential of Solar Heat for Industrial Processes*. POSHIP. Final Report. Project No. NNE5-1999-0308. [www.aiguasol.com/poship.htm](http://www.aiguasol.com/poship.htm), [www.iea-ship.org](http://www.iea-ship.org)
- Sheinbaum C., Ozawa L., 1998. *Energy use and CO<sub>2</sub> emissions for Mexico's cement industry*. Energy 23, 9; 725-732.
- Sheinbaum C., Rodríguez V., L., 1997. *Recent trends in Mexican Industrial energy use and their impact in carbon dioxide emissions*. Energy Policy, 25, 7-9, 825-831.
- Shell, 2000. *People and Connections, Global Scenarios to 2020*. Londres.

- Schipper L., Scholl L., Price L., 1997. *Energy use and carbon emissions from freight in 10 industrialized countries: an analysis of trends from 1973 to 1992*. *Transpn. Res.-D*, 2, 1, 57-76.
- Schipper L.J.; Meyers S.; Howard R., Steiner R., 1992. *Energy Efficiency and Human Activity: Past Trends Future Prospects*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- 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.
- Se-Hark Park, Bruno Dissmann, Kee-Yung Nam, 1993. *A cross-country decomposition analysis of manufacturing energy consumption*. *Energy*, 18, 8, 843-858.
- Sterner, Thomas, 1985. *Structural change and technology choice, Energy use in Mexican manufacturing industry, 1970-1981*. *Energy Economics*, 77-86.
- Sterner, Thomas, 1987. *El uso de la energía en la Industria Mexicana*. El Colegio de México, A.C. Primera edición.
- Sun J. W., 1998. *Changes in energy consumption and energy intensity: A complete decomposition model*. *Energy Economics* 20, 85-100.
- Sun J.W., 1999. *Decomposition of Aggregate CO<sub>2</sub> Emissions in the OECD: 1960-1995*. *The Energy Journal*, International Association for Energy Economics, 20, 3.
- Sun J.W., Malaska P., 1998. *CO<sub>2</sub> emission intensities in developed countries 1980-1994*. *Energy* 23, 2, 105-112.
- Tezuka T., Kaya Y., 1984. *Energy Analysis of Japanese Industries, A Time Series Analysis*. *Technological Forecasting and Social Change* 25, 49-60.
- Torvanger Asbjorn, 1991. *Manufacturing sector carbon dioxide emissions in nine OECD countries. 1973-1987*. *Energy Economics*, 168-186.
- Ugur Soytaş, Ramazan Sari, 2006. *The relationship between energy and production: Evidence from Turkish manufacturing industry*. Received 13 February 2006; received in revised form 25 April 2006; accepted 10 May 2006.
- Unander, F., Ettestøl, I., Ting, M., Schipper, L., 2004. *Residential energy use: An international perspective on long-term trends in Denmark, Norway and Sweden*. *Energy Policy*, 32, 1395-1404.
- Unander, F., Karbuz, S., Schipper, L., Khrushch, M., Ting, M., 1999. *Manufacturing energy use in IEA countries: Decomposition of long-term trends*. *Energy Policy*, 27, 13, 769-778.
- Unión Nacional de Cañeros, A.C. – CNPR. <http://www.caneros.org.mx>
- Urquidi, V. L., (1999). *El gran desafío del siglo XXI: El desarrollo sustentable, alcances y riesgos para México*. Boletín Editorial No. 84:10-19. El Colegio de México.
- Urquidi, V. L., 2005. *Otro siglo perdido, las políticas de desarrollo en América Latina (1930-2005)*. Fondo de Cultura Económica.
- United Nations, 1987. *Report of the World Commission on Environment and Development*. General Assembly Resolution 42/187.
- Volkan S. Ediger, Ozkan Huvaz, 2006. *Examining the sectoral energy use in Turkish economy (1980-2000) with the help of decomposition analysis*. *Energy Conversion and Management*, 47, 732-745.
- Yabe Nobuko, 2004. *An analysis of CO<sub>2</sub> emissions of Japanese Industries during the period between 1985 y 1995*. *Energy Policy* 32, 595-610.
- Yamaji, K., R. Matsushashi, Nagata, Y. y Kaya, Y., 1991. *An Integrated Systems for CO<sub>2</sub>/Energy/GNP Analysis: Case Studies on Economic Measures for CO<sub>2</sub> Reduction in Japan*. Workshop on CO<sub>2</sub> Reduction and Removal: Measures for the Next Century, 19-21 March 1991. International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria.

- 
- Wack P., 1984. *Learning to design planning scenarios – the experience of Royal Dutch Shell*. Documento de trabajo, Harvard Graduate School of Business Administration, Harvard.
- Wack P., 1985. *Scenarios: Shooting the rapids*. Harvard Business Review 63 (6), 139–150.
- Wade, S.H., 2002. *Measuring change in energy efficiency for the annual energy outlook 2002*. Energy Information Administration, Washington, DC (<http://www.eia.doe.gov/oiaf/analysispaper/efficiency/pdf/efficiency.pdf>).
- Wionczek, Miguel S., (Coordinador), 1982. *Energía en México. Ensayos sobre el pasado y el presente*. El Colegio de México. Primera edición.
- Worrell E., Philipson D., Einstein D., Martin N., 2000. *Energy End Use and Energy Intensity in the U.S. Chemical Industry*. Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA, LBNL-44314.
- Zhang F.Q., Ang B.W., 2001. *Methodological issues in cross-country / region decomposition of energy and environment indicators*. Energy Economics 23 , 179-190.