



CENTRO DE ESTUDIOS DEMOGRÁFICOS,  
URBANOS Y AMBIENTALES

*Tendencias de la contaminación atmosférica en la Ciudad de México: un análisis de los efectos  
escala, composición y tecnológico.*

Tesis presentada por  
Acel Jardón Kojakhmetova

Para optar por el grado de  
Maestro en Estudios Urbanos

Director:  
Alfonso Mercado García

Lector:  
Oscar Alberto Fernández Constantino

Ciudad de México, D.F., agosto de 2013

Índice de cuadros	III
Índice de figuras	IV
Índice de gráficas	V
Índice de tablas	VI
<b>Introducción</b>	1
<b>1. Relación crecimiento económico-medio ambiente.</b>	5
1.1 La hipótesis de la Curva de Kuznets Ambiental.....	6
1.2 Argumentos a favor de la Curva de Kuznets Ambiental.....	8
1.3 Efectos escala, composición y tecnológico.....	10
1.3.1 Efecto escala.....	11
1.3.2 Efecto composición.....	11
1.3.3 Efecto tecnológico.....	12
1.4 Evidencia empírica de la CKA.....	13
1.5 Críticas econométricas y empíricas a la hipótesis de la CKA.....	15
1.5.1 Críticas teóricas.....	16
1.5.2 Críticas econométricas.....	17
1.6 Técnicas de descomposición.....	19
<b>2. Economía y Contaminación en el Distrito Federal.</b>	21
2.1 Condiciones generales de la Ciudad de México.....	21
2.2 Entorno económico del Distrito Federal.....	22
2.2.1 Manufacturas.....	24
2.3 Consumo energético en el Distrito Federal.....	26
2.3.1 Consumo energético industrial.....	27
2.4 Evolución de emisiones contaminantes en la Ciudad de México.....	27
2.4.1 Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> ).....	28
2.4.2 Monóxido de carbono (CO).....	29
2.4.3 Óxidos de nitrógeno .....	30
2.4.4 Emisiones contaminantes del sector manufacturero.....	30
2.5 Fuentes de Información de contaminantes criterio.....	33
2.5.1 Inventario Nacional de Emisiones (INEM).....	33
2.5.2 Sistemas de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México (SIMAT)...	34
2.5.3 Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA).....	35
2.6 El Políticas ambientales.....	35
2.6.1 Programas de abatimiento.....	35
2.6.2 Programa Integral Contra la Contaminación Atmosférica (PICCA).....	36
2.6.3 Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 1995-2000 (ProAire I).....	37
2.6.4 Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 2002-2010 (ProAire II).....	37
2.6.5 Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 2011-2020 (ProAire III).....	38
2.7 El Distrito Federal ante el cambio climático.....	38
2.7.1 Mitigación de emisiones en el sector industrial.....	39
2.7.2 Estrategia Local de Acción Climática (ELAC).....	40

2.7.2.1 Proyectos propuestos (ELAC).....	41
2.8 Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en el Distrito Federal.....	43
2.8.1 Emisiones de CO2 equivalentes en la manufactura.....	45
<b>3. Metodología y Modelo</b>	47
3.1 Descripción de la información.....	47
3.1.1 Datos económicos.....	47
3.1.2 Emisiones contaminantes y consumo energético.....	48
3.2 Modelo econométrico.....	49
3.2.1 Modelo para las emisiones de CO2 equivalente y para los contaminantes criterio.....	49
3.2.2 Modelos para las emisiones de CO2 equivalente y consumo energético.....	50
3.3 Modelo de descomposición.....	51
3.3.1 Descomposición con datos agregados, el enfoque de las eficiencias...	51
<b>4. Resultados</b>	55
4.1 Análisis gráfico .....	55
4.2 Resultados modelo econométrico.....	55
4.2.1 Emisiones de CO2 equivalente.....	55
4.3 Resultados modelo de descomposición para la emisiones de CO <sub>2</sub> equivalentes.....	58
4.4 Resultados, contaminantes criterio industriales.....	62
4.4.1 Modelo econométrico.....	62
4.4.2 Resultados del modelo de descomposición.....	63
<b>5. Conclusiones</b>	65
<b>Bibliografía</b>	68

## Índice de cuadros

---

2.1. Unidades económicas por sector.....	23
3.1a. Índice de precios, Distrito Federal.....	47
3.1b. PIB real y per cápita, Distrito Federal 200-2010.....	47
3.2a. Índice de precios manufacturas, Distrito Federal .....	48
3.2b. PIB real manufacturas, Distrito Federal.....	48

## Índice de figuras

---

1.1 Función cuadrática y cúbica de la estimación medioambiente, ingreso.....	8
2.1 ZMVM: Estancamiento de contaminantes y formación de ozono.....	22

## Índice de gráficas

---

2.1. PIB real del Distrito Federal.....	22
2.2. Transformación económica en el Distrito Federal.....	23
2.3. Estructura económica del D.F. por sector económico 2003-2010.....	24
2.4. Indicador Mensual Estatal de Manufactura en el D.F.....	25
2.5. Estructura Económica del Distrito Federal por Subsector de la Manufactura 2003-2010.....	25
2.6. Consumo energético histórico en el Distrito Federal 2000-2010.....	26
2.7. Consumo de energía por sectores en el D.F, 2010.....	27
2.8. Consumo de Combustibles en el Sector Manufacturero, D.F. 2000-2010.....	27
2.9. Número de días sucios y limpios en la Ciudad de México.....	28
2.10. Evolución de dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> ) en el D.F. 2000-2012.....	28
2.11. Evolución de monóxido de carbono (CO) en el D.F. 2000-2012.....	29
2.12. Evolución de monóxido de carbono (CO) en el D.F. 2000-2012.....	30
2.13. Evolución de las emisiones industriales en el D.F. 2000-2010.....	31
2.14. Emisiones de la industria manufacturera en el 2000.....	32
2.15. Emisiones de la industria manufacturera en el 2008.....	32
2.16. Emisiones de CO <sub>2</sub> equivalente por sector.....	44
2.17. Emisiones de GEI del sector industrial en el D.F, 2010.....	46
4.1. Evolución de las emisiones de CO <sub>2</sub> equivalente en el Distrito Federal 2000-2010.....	55
4.2. Tasas de variación de CO <sub>2</sub> equiv y componentes, Distrito Federal.....	59
4.3. Tasas de variación de CO <sub>2</sub> equiv y componentes, manufacturas.....	60
4.4. Evolución de las emisiones de CO 2000-2010 (manufacturas).....	63
4.5. Evolución de la emisión de contaminantes criterio (manufacturas), 2000-2010	64

## Índice de tablas

---

2.1. Emisiones totales de Gases de Efecto Invernadero, Distrito Federal-2010.....	44
2.2. Emisiones de GEI del sector industrial, D.F. 2010.....	45
4.1. Modelización de las emisiones de CO <sub>2</sub> equivalente para el D.F. (2000-2010)	56
4.2. Modelización de las emisiones de CO <sub>2</sub> equivalente para las industrias manufactureras. (2000-2010).....	56
4.3. Modelo de regresión.....	57
4.4. Descomposición de la tasa de crecimiento de las emisiones de CO <sub>2</sub> equiv para el periodo 2000-2010 (Total de la economía).....	59
4.5. Descomposición de emisiones de CO <sub>2</sub> equiv por sub-periodos, D.F.....	60
4.6. Descomposición de la tasa de crecimiento de las emisiones de CO <sub>2</sub> -equiv para el periodo 2000-2010 (Industrias manufactureras).....	61
4.7. Descomposición de emisiones de CO <sub>2</sub> equiv por sub-periodos, Manufacturas	61

La importancia del estudio entre el crecimiento económico y la contaminación ambiental queda justificada por varias razones. El crecimiento económico por sí mismo, pues mejora la calidad de vida con el paso de los años; el medio ambiente provee varios recursos importantes y necesarios para el bienestar humano que no son capturados en el ingreso: genera amenidades, sirve como una fuente de recursos renovables y no renovables para las actividades económicas, así como un sumidero de desechos y contaminación. El crecimiento económico no sólo es impulsado, sino que también induce a un cambio estructural y un progreso tecnológico, lo cual puede provocar más presión sobre el medio ambiente al aumentar la demanda de recursos y acumularse los subproductos dañinos de la actividad económica. Sin embargo, el crecimiento económico también puede crear los medios y la demanda para un medio ambiente mejor. Los ingresos más altos mejoran la calidad de vida de la población al darle acceso a más bienes y servicios. No obstante, el aumento en la producción y en el consumo de bienes genera más subproductos, entre ellos la contaminación. El crecimiento económico también implica un aumento en la demanda de energía y por lo tanto un aumento de las emisiones de contaminantes. La literatura económica no es conclusiva sobre la existencia y la forma particular de la relación entre ingresos y medio ambiente, aunque la idea de un crecimiento económico sustentable se encuentra detrás de este debate (Hannes Egli, 2005; Molina, 2005).

La mayoría de los modelos de crecimiento económico han pasado por alto la interacción entre el crecimiento económico y la calidad ambiental, en particular la contaminación atmosférica. La omisión del análisis ambiental implicaría que ningún contaminante es producido durante el proceso de producción de los agentes económicos, o dicho de otro modo, que si la contaminación es generada, no tiene efectos en el bienestar social; sin embargo, un aumento en la contaminación reduce las utilidades sociales y perjudica los objetivos del crecimiento económico. En consecuencia, un análisis de crecimiento económico



que no tome en cuenta efectos externos como lo es la contaminación no puede declararse completo.

Una de las hipótesis principales de la economía ambiental sugiere que a medida que el ingreso per cápita aumenta en una nación, la calidad del medio ambiente se deteriora inicialmente hasta llegar a cierto punto; después de ello, la calidad ambiental mejora en tanto los ingresos siguen elevándose. La relación tienen la forma de una U invertida y se conoce como “Curva de Kuznets Ambiental (CKA)” (Molina, 2005).

En la formación de CKA hay tres efectos clave para determinar la relación que guarda el ingreso y la contaminación/calidad ambiental: i) efecto escala, el cual plantea que un aumento en la producción demanda una mayor cantidad de insumos, lo cual implica mayores emisiones contaminantes; por lo tanto, se dice que el crecimiento económico tiene un impacto negativo sobre el medio ambiente; ii) efecto composición, conforme crece el nivel de ingreso en una economía, la estructura económica podría cambiar y, en consecuencia, puede haber una mayor participación de actividades más limpias o más sucias, por lo tanto, se dice que el efecto composición tiene un efecto ambiguo en sobre el medioambiente; iii) efecto tecnológico, los cambios en el nivel de ingreso podría llevar a cambios en las preferencias de los ciudadanos, lo cual, puede inducir a cambios en la política, que a su vez conducen a cambios en los métodos de producción y por lo tanto, se pueden reducir las emisiones por unidad de producción.

El efecto neto de estos tres efectos genera la Curva de Kuznets Ambiental (EKC). La distinción de los tres efectos es importante por las siguientes razones: En primer lugar, la confirmación de la hipótesis de la CKA no justifica una inacción política, pues algunos políticos argumentan que la mejora de la calidad ambiental se dará con el crecimiento económico. En general, los incentivos para reducir la contaminación y/o uso de recursos son derivados de los efectos tecnológicos, pues el intercambio entre el crecimiento económico y la calidad ambiental depende críticamente del efecto tecnológico. Por lo tanto, el grado del efecto tecnológico puede ser útil para un mejor entendimiento de las políticas ambientales necesarias, ya que si no hubiera incentivos, o estos fueran pocos, los

tomadores de decisiones necesitarían implementar medidas que incentivaran un cambio tecnológico o una transferencia tecnológica. Por lo tanto, si se encuentra que el efecto tecnológico no reduce de manera suficiente las emisiones de contaminantes, los tomadores de decisiones necesitarían reconsiderar si sus políticas son lo suficientemente fuertes. En segundo lugar, algunos estudios anteriores de la CKA no apoyan la existencia de una relación simple y previsible entre la contaminación ambiental y la renta per cápita porque intervienen varios factores, los cuales tienen que ser identificados (Tsurumi, 2010).

La contaminación atmosférica puede ser entendida como un efecto colateral de la modernidad; un producto inevitable del progreso, como una consecuencia no deseada del desarrollo industrial y como resultado de la masiva intervención humana en los ecosistemas y su modificación hasta constituirse como una realidad dependiente del quehacer y de las instituciones humanas, de la economía, de la cultura y de los arreglos políticos en los cuales se da la vida social (Lezama, 1997).

En las últimas décadas, el desarrollo urbano y la creciente industrialización han sido la causa principal de que la contaminación del aire se vuelva un problema importante en algunos países en desarrollo. (Mage et al, en Bravo y Torres, 2000). En el caso de la Ciudad de México, la contaminación atmosférica ha sido un problema significativo por más de una década, debido al crecimiento irrestricto de la población y la industria; las medidas de ozono y partículas suspendidas frecuentemente exceden los estándares establecidos para la calidad del aire en México, mientras que las medidas de dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre y monóxido de carbono ocasionalmente exceden los estándares (Hardie et al, 1995; Raga et al, 2001).

La Ciudad de México es sede de las instituciones políticas del país, de la mayor concentración de las inversiones económicas y de la mayor parte de la infraestructura industrial y financiera del país; el desarrollo de las actividades industriales, comerciales y de servicios que se desarrollan en ella, han apoyado de manera significativa a la economía, ya que a partir de esto se han creado empleos y se ha aportado al Producto Interno Bruto (PIB). Sin embargo, no se puede eludir

el impacto que esto ha producido en el medio ambiente (Molina, 2005; SMA-GDF, 2006).

La seriedad de la contaminación atmosférica en la Ciudad de México se volvió evidente a inicios de 1970 cuando se publicó la primera investigación alertando del problema. En los 1980s el crecimiento demográfico y la concentración económica aceleró la degradación del aire en el Valle de México. Los esfuerzos para medir los contaminantes iniciaron en 1960, cuando 14 estaciones de monitoreo de sulfuro fueron instaladas. Aunque se aumentó a 22 estaciones en 1970, éstas eran usadas esporádicamente. La medición de otros contaminantes y mayores esfuerzos del gobierno para combatirlos no iniciaron sino hasta la segunda mitad de 1980 (Garza, 1996).

El objetivo central del trabajo es analizar las principales tendencias de la contaminación atmosférica emitida por la industria manufacturera en la Ciudad de México en el periodo 2000-2010 y la relación que guarda con el crecimiento económico. Se estudiarán tanto las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes, así como los casos de tres contaminantes criterio (NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> y CO).

Más en particular, el trabajo pretende analizar el rol de los tres factores, escala, composición y tecnológico, de acuerdo a las siguientes hipótesis: i) La evolución de la contaminación atmosférica y la calidad del aire en la Ciudad de México se relacionan significativamente con los factores escala, composición y tecnológicos; ii) la importancia relativa de cada uno de los tres factores cambió, desplazando los efectos composición y tecnológicos al escala.

**RELACIÓN CRECIMIENTO ECONÓMICO-MEDIOAMBIENTE**

---

**1.1 La hipótesis de la Curva de Kuznets Ambiental.**

El fundamento de la teoría de la Curva de Kuznets Ambiental (CKA) se basa en las investigaciones de Simon Kuznets (1955), quién formuló una teoría que explica la evolución de la distribución del ingreso en los países a través de su proceso de desarrollo, planteando que en las primeras etapas de desarrollo, las economías presentan una distribución del ingreso bastante equitativa, sin embargo, conforme el proceso se acelera, esta relación equidad/ingreso, comienza a deteriorarse hasta alcanzar un nivel máximo, a partir del cual, el nivel de equidad comienza a mejorar conforme aumenta el ingreso (Gitli y Hernández, 2002).

A principios de los años noventa, esta teoría fue trasladada a los estudios económico-ambientales, surgiendo así, la hipótesis de la Curva de Kuznets Ambiental. De acuerdo con esta hipótesis, en las primeras etapas del desarrollo económico (etapa de industrialización), los recursos naturales se degradan rápidamente, y la contaminación se incrementa de manera considerable. En este periodo, los habitantes y las instituciones gubernamentales están más interesados en el aumento de la producción material, el empleo y el nivel de ingresos, que en la conservación del medio ambiente. En la siguiente etapa de industrialización, conforme crece la economía y consecuentemente el nivel de ingreso, los habitantes ponen mayor atención en el ambiente, las instituciones gubernamentales trabajan de forma más eficientemente, hay una mayor inversión en I & D, las industrias se vuelven más limpias y se implementan políticas ambientales exigentes, lo que trae como consecuencia que la calidad ambiental mejore, y la contaminación disminuya. De esta manera, se supone que existe una relación positiva entre el crecimiento económico y la calidad ambiental; esto implica que el indicador de impacto ambiental sea una función en forma de U

invertida del nivel de ingresos (Bruvoll, 2003; Dasgupta et al, 2002; Gómez-López et al, 2011; Gürlük, 2009; Kijima, 2010, Stern, 2004).

En su punto de vista más optimista, la hipótesis sugiere que el crecimiento económico por sí mismo es la solución a los problemas ambientales, porque la mejora ambiental será una consecuencia casi inevitable del crecimiento económico. Sin embargo, la degradación ambiental no es explicada únicamente por los flujos actuales de emisiones o concentraciones contaminantes, sino que dependen también de las presiones ambientales anteriores, las cuales afectan la capacidad de asimilación y recuperación de los ecosistemas (Roca et al, 2001).

### **Modelo estándar.**

Típicamente, en los estudio de la CKA se analiza una ecuación en forma reducida cuadrática o cúbica con el fin de probar la existencia de la forma de U invertida de la CKA.

El modelo de regresión convencional más utilizado analizar la CKA es el siguiente:

$$y = \alpha_i + \beta_1 x_{it} + \beta_2 x_{it}^2 + \beta_3 x_{it}^3 + \beta_4 z_{it} + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

donde  $y$  es el indicador ambiental,  $x_{it}$  es el ingreso y  $z_{it}$  son otras variables que influyen en la degradación ambiental. El subíndice  $i$  se refiere a un país o región,  $t$  es el tiempo,  $\alpha_i$  es la constantes del modelo, y  $\beta_k$  son los coeficientes de las  $k$  variables independientes.

Los resultados que se pueden obtener de la ecuación (1) son: (Diao, 2008; Soumayananda, 2004):

- i) Si  $\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 0$ . No existe relación entre el ingreso  $x$  y el ambiente  $y$ .
- ii) Si  $\beta_1 > 0$  y  $\beta_2 = \beta_3 = 0$ . Hay una relación lineal monótona creciente entre el ingreso  $x$  y el ambiente  $y$ .
- iii) Si  $\beta_1 < 0$  y  $\beta_2 = \beta_3 = 0$ . Hay una relación lineal monótona decreciente entre el ingreso  $x$  y el ambiente  $y$ .

iv) Si  $\beta_1 > 0$  ,  $\beta_2 < 0$  y  $\beta_3 = 0$ . Se da una relación de U-invertida, es decir, la CKA.

El punto de inflexión de la CKA se da en:  $x_i = -\frac{\beta_1}{2\beta_2}$

v) Si  $\beta_1 \leq 0$  ,  $\beta_2 > 0$  y  $\beta_3 = 0$ . Se da una relación cuadrática, generalmente descrita en forma de U.

El punto de inflexión se da en:  $x_i = -\frac{\beta_1}{2\beta_2}$

vi) Si  $\beta_1 \geq 0$  ,  $\beta_2 \leq 0$  y  $\beta_3 > 0$  ( $\beta_1$  y  $\beta_2$  no pueden ser cero al mismo tiempo). Se da un polinomio cúbico, que se describe como una figura en forma de N<sup>1</sup>. En este caso, los puntos de quiebre y el punto de inflexión, de acuerdo a las características de una ecuación cúbica, se pueden obtener en:

$$x_1 = \frac{-\beta_2 - \sqrt{\beta_2^2 - 3\beta_1\beta_3}}{3\beta_3}, x_2 = \frac{-\beta_2 + \sqrt{\beta_2^2 - 3\beta_1\beta_3}}{3\beta_3}, \text{ y el punto de inflexión } x_3 = -\frac{\beta_2}{3\beta_3}. \text{ Sin embargo cualquiera de estos puntos podría no existir y se puede mostrar una curva de crecimiento continuo.}$$

vii) Si  $\beta_1 \leq 0$  ,  $\beta_2 \geq 0$  y  $\beta_3 < 0$  ( $\beta_1$  y  $\beta_2$  no pueden ser cero al mismo tiempo). Se da un polinomio cúbico, que se describe como una figura en forma de N invertida. En este caso, los puntos de quiebre y el punto de inflexión, de acuerdo a las características de una ecuación cúbica, se pueden obtener en:

$$x_1 = \frac{-\beta_2 - \sqrt{\beta_2^2 - 3\beta_1\beta_3}}{3\beta_3}, x_2 = \frac{-\beta_2 + \sqrt{\beta_2^2 - 3\beta_1\beta_3}}{3\beta_3}, \text{ y el punto de inflexión } x_3 = -\frac{\beta_2}{3\beta_3}. \text{ Sin embargo cualquiera de estos puntos podría no existir y se puede mostrar una curva de decrecimiento continuo.}$$

En algunos casos, se utilizan variables logarítmicas:

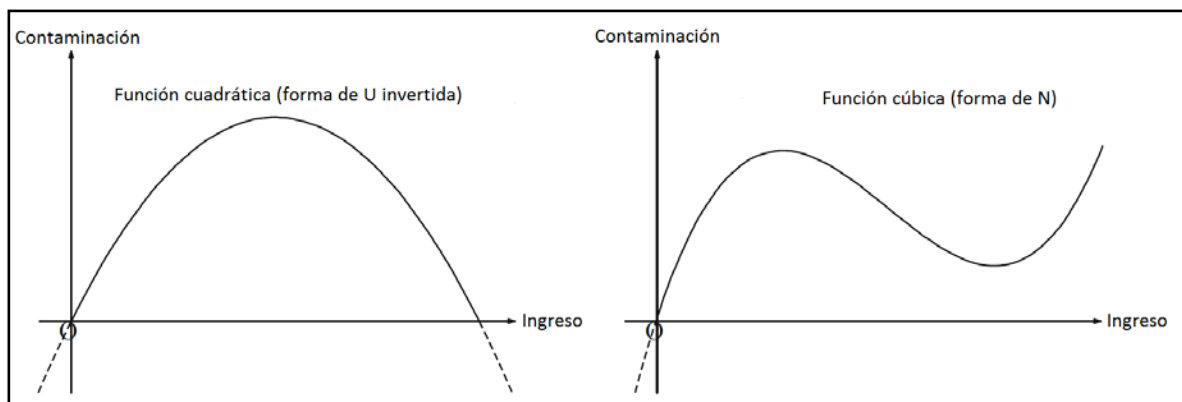
$$\ln(y) = \alpha_i + \beta_1 \ln(x_{it}) + \beta_2 \ln(x_{it}^2) + \beta_3 \ln(x_{it}^3) + \beta_4 \ln(z_{it}) + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

El punto de inflexión se da en:  $\tau = \exp[-\beta_1/(2\beta_2)]$

---

<sup>1</sup> La CKA en forma de N hace que la relación negativa en la parte media de la curva sea un fenómeno transitorio, porque la forma de U invertida es seguida por una fase en la que aumenta la degradación del medio ambiente. Esta es una situación que usualmente se refiere a países con ingreso muy elevados (Andreoni et al, 2008).

**Figura 1.1.** Función cuadrática y cúbica de la estimación medioambiente, ingreso.  
(Las líneas punteadas indican niveles de contaminación negativos)



Fuente: Kijima Masaaki, 2010.

## 1.2 Argumentos a favor de la Curva de Kuznets Ambiental.

Varias son las explicaciones y factores responsables de la existencia de la CKA, sin embargo, hay que considerar que las explicaciones no son ni independientes ni excluyentes entre sí y todas presentan limitaciones (Ekins, 1997 en Capó, 2009). Considerando que los otros factores permanecen constantes, i.e. *ceteris paribus*: los principales argumentos a favor de la formación de una CKA ambiental son:

### **-Composición de la producción en diversas etapas de desarrollo económico.**

Las etapas del desarrollo económico pueden ser identificadas de la siguiente manera: desde la economía de subsistencia a la sociedad agrícola, desde la sociedad agrícola a la sociedad industrial y de la sociedad industrial a la sociedad de servicios e información. En esta última etapa, se supone que la presión ambiental debería verse reducida debido principalmente a los nuevos métodos y tecnologías de producción. En esta hipótesis se argumenta que el proceso de desarrollo económico es independiente de las políticas económicas practicadas, y dependen más de la formación de capital y de la acumulación de capital humano en una economía. Este argumento se considera en la interpretación de la hipótesis de la CKA (Seppälä, 2001).

Sin embargo esta hipótesis olvida que el sector servicios es un agregado que incluye actividades con un fuerte impacto ambiental (tales como el transporte

aéreo o el turismo en masa). Además, los cambios en la composición de la producción podría explicar la disminución del impacto ambiental por unidad de PIB, pero no explicarla en términos absolutos. (Roca et al, 2001; de Bruyn, 1998).

#### **-El medio ambiente como bien de lujo.**

La calidad ambiental como un bien de lujo se expresa técnicamente diciendo que la elasticidad renta de la demanda es mayor que uno, es decir, conforme los individuos alcanzan cierto nivel de ingreso, se produciría un cambio en las preferencias de los consumidores y adoptarían patrones de consumo menos perjudiciales para el medio ambiente, estarían dispuestos a destinar una mayor parte de su ingreso en calidad ambiental, y a su vez, demandarían una mejor calidad ambiental, lo cual derivaría en cambios estructurales en la economía que tienden a reducir la degradación ambiental, ya sea a través de los mercados o de la políticas regulatorias (Aldy, 2004; Capó, 2009; Castro, 2008, Roca, 2003; Soumyananda, 2004).

A pesar de la coherencia de este argumento, no se ha podido constatar a ciencia cierta que un mayor nivel de ingreso aumente la disposición a pagar por bienes ambientales amigables; además, algunos consideran que en muchas ocasiones es posible demostrar que son las familias más pobres y no las ricas las que tienen una mayor demanda por el ambiente. La gente pobre y de zonas de dependen directamente del ambiente tienden a protegerlo más rápidamente cuando éste se degrada. Este tipo de personas no necesitan volverse ricas para adquirir una sensibilidad ambiental (Gitli, 2002).

#### **-Cambios institucionales.**

Otra explicación de la formación de la CKA es el cambio institucional que adoptan los países más avanzados para mejorar su calidad ambiental, dichas políticas incluyen: políticas ambientales estrictas, niveles de educación ciudadana, protección de los derechos de propiedad privada, entre otras.

#### **-Reasignaciones internacionales.**

Cuando los países más avanzados introducen regulaciones medioambientales más estrictas, las empresas más contaminantes buscan trasladarse a otros países para evitar incurrir en mayores costes (Castro, 2008). Esta hipótesis lleva a la



discusión de un efecto desplazamiento, en donde se plantea que la reducción en los niveles de contaminación de los países desarrollados estaría asociada a un aumento de las emisiones de contaminantes en los países en vías de desarrollo. De acuerdo a Gitli (2002), algunas posiciones críticas se pueden tomar al respecto, el argumento central es que el desplazamiento de actividades contaminantes hacia otros países generalmente menos desarrollados o con menores regulaciones ambientales no justifica la veracidad de la hipótesis de la CKA, pues la contaminación ambiental no está disminuyendo, tan sólo se está trasladando.

#### **-Comercio internacional.**

El comercio lleva a un incremento en el tamaño de la economía, lo cual incrementa la contaminación, entonces, el comercio es causa del deterioro ambiental, *ceteris paribus*. Pero varios economistas han argumentado que el comercio no es la principal causa del daño ambiental, sino que puede tener efectos contradictorios en la calidad ambiental. Por un lado la calidad ambiental podría declinar a través del efecto escala como un incremento en el tamaño del volumen del comercio (especialmente la exportación) aumenta el tamaño de la economía, lo cual incrementa la contaminación. Por otro lado, el comercio puede mejorar la calidad ambiental a través de otros efectos, tales como la composición de la economía o las mejoras tecnológicas (Gitli, 2002).

#### **-Regulación ambiental.**

Las regulaciones ambientales forman parte de un grupo de variables muchas veces no incluidas en los modelos que tratan de probar la validez de la CKA. Sin embargo, en la mayor parte de los casos, el deterioro ambiental disminuye como respuesta a reformas institucionales o internacionales en materia de ambiente. Esto se debe a que las reformas permiten a los usuarios privados tomar en cuenta el costo social de sus acciones (Gitli, 2002).

### **1.3 Efectos escala, composición y tecnológico.**

Como Stern (2004) menciona, la relación entre el ingreso per cápita y la calidad ambiental depende principalmente de los efectos escala, composición y tecnológico.

### **1.3.1 Efecto escala.**

El efecto escala surge del hecho de que en el proceso de desarrollo económico, un aumento en la producción requiere mayores insumos y por lo tanto, una mayor demanda de recursos naturales. Una mayor producción implica a la vez una mayor emisión contaminantes por producción, lo cual, contribuye a la degradación de la calidad ambiental. Por lo tanto, si no hubiera cambios en la estructura o tecnología de la economía, el puro crecimiento en la escala de la economía resultaría en un crecimiento proporcional en la contaminación y otros impactos ambientales (Bouvier, 2004; Stern, 2004).

### **1.3.2 Efecto composición.**

El crecimiento económico puede tener un efecto ambiguo a través del efecto composición. Conforme el ingreso aumenta, la estructura de la economía puede cambiar; consecuentemente, puede haber un incremento de las industrias más limpias o más sucias. En el caso general de los contaminante industriales, la degradación ambiental tiende a incrementarse durante la transformación estructural de una economía que pasa de una fase agrícola a una industrial y subsecuentemente, comienza a descender con el cambio estructural de una economía intensiva en energía hacia una economía intensiva en tecnología, basada en los servicios y el conocimiento (Tsurumi, 2010). Esta situación implica que en las economías desarrolladas, el desplazamiento que se hace del sector industrial al sector servicios sea “sinónimo” de una menor emisión de contaminantes, puesto que las actividades por excelencia intensivas en consumo de energía y emisiones tóxicas son las industriales (Hettige et al., 2000 y Rothman, 1998, en Gitli, 2002).

Gitli (2002) menciona a Ekins, quien luego de analizar la evidencia respecto al efecto composición sugiere:

1. El efecto composición se agrega al efecto escala a menores niveles de ingreso, es decir, causa un incremento de la contaminación ambiental más rápido que el crecimiento del ingreso.
2. El efecto composición actúa en contra pero no contrarresta totalmente el efecto escala a altos niveles de ingreso.
3. Los efectos 1) y 2) pueden responder en cierta medida al desplazamiento de industrias sucias de países de alto ingreso a los países de bajo ingreso, debido a regulaciones ambientales más estrictas en los primeros, lo cual erosiona la ventaja comparativa de tales países en estas industria.

### **1.3.3 Efecto tecnológico.**

El progreso tecnológico es una de las principales causas de crecimiento económico pero, a su vez es un efecto de éste, pues conforme se crece económicamente, se puede invertir en Investigación y Desarrollo. De esta manera, los efectos positivos en el medioambiente derivados de una mejora tecnológica, pueden darse de diferentes formas: i) en primer lugar un aumento en la eficiencia de los procesos productivos conduciría a reducir la cantidad de insumos requerida para producir la misma o incluso mayor cantidad de bienes; ii) en segundo lugar, el progreso tecnológico puede aumentar la capacidad de sustitución de los recursos altamente contaminantes o degradantes del medioambiente por otros más amigables; iii) en tercer lugar la transferencia tecnológica realizada por los países en vías de desarrollo, ocasiona que sus patrones de crecimiento generen menores impactos ambientales negativos que antes, e incluso menores que los que registraron los países desarrollados en sus etapas iniciales de industrialización (Capó, 2009; Gitli 2002).

#### 1.4 Evidencia empírica de la CKA.

El primer estudio empírico en el que se fundamenta la CKA es el de Grossman y Krueger (1995), basado en datos procedentes de varios países, parte de un trabajo que discutía las posibles implicaciones ambientales del Tratado de Libre Comercio de América del Norte. A grandes rasgos, se discute si el mayor comercio internacional producía un mayor crecimiento económico para México, también supondría finalmente menor degradación ambiental.

En otro estudio de Panayotou (1997) e Islan, Vincent, y Panayotou (1999), se identificaron tres fuerzas estructurales que afectan al medioambiente: a) la escala de la actividad económica. B) la composición o la estructura de la actividad económica y c) el efecto del ingreso en la demanda y oferta de los esfuerzos de abatimiento de la contaminación. Ellos nombraron a los tres efectos respectivamente: el efecto escala o nivel, efecto estructura o composición, y el efecto puro del ingreso o efecto de abatimiento.

Algebraicamente:

$$\begin{pmatrix} \text{Nivel de} \\ \text{contaminación} \\ \text{ambiental} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{PIB por} \\ \text{unidad de} \\ \text{área} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \text{Composición} \\ \text{del PIB} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \text{Esfuerzos} \\ \text{de} \\ \text{abatimiento} \end{pmatrix}$$

Selden y Song realizan una regresión, para las emisiones per cápita de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, partículas suspendidas y CO, para datos panel de 30 países en el periodo de 1973-1984. Sus regresiones confirman la existencia de una CKA para partículas suspendidas, SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>, con puntos de inflexión a niveles de ingreso per cápita de \$9811, \$10681 y \$1204.

## **Estudios empíricos con descomposición de efectos escala, composición y tecnológicos.**

Panayotou (1997) analiza las concentraciones de  $\text{SO}_2$ , descomponiendo la calidad ambiental en los tres efectos. Las variables que utiliza son el PIB por  $\text{km}^2$ , PIB per cápita y la participación del sector industrial en el PIB como variable proxy de los efectos escala, tecnológico y composición respectivamente. Encuentran que el efecto escala incrementa las concentraciones de  $\text{SO}_2$  a tasas decrecientes, el efecto tecnológico disminuye las concentraciones a tasas crecientes, y respecto al efecto composición encuentran una curva cúbica con partes crecientes (Tsurumi y Managi, 2008).

Tsurumi y Managi (2008), realizan una descomposición en los tres efectos mediante un método semiparámetro, para analizar las emisiones de  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}_2$  y uso de energía, con las variables PIB per cápita, PIB real, y tasa capital trabajo como variables proxy de los efectos tecnológico, escala y composición respectivamente. Los resultados que encuentran son que el efecto tecnológico es suficiente para reducir las emisiones de  $\text{SO}_2$ , pero no para la reducción del  $\text{CO}_2$ , el efecto composición no tiene una relación lineal, y el efecto escala tiene impactos negativos (para los 3 contaminantes).

Rachel Bouvier (2004) hace un análisis para varios países de América y Europa con emisiones de monóxido de carbono, dióxido de carbono, dióxido de azufre y partículas suspendidas. Estima las tendencias del PIB per cápita y sus fluctuaciones, bajo el supuesto de que los efectos tecnológicos y composición operan únicamente a través de la tendencia: se espera que estos efectos afecten la relación ingreso-degradación ambiental gradualmente, con poca sensibilidad a las fluctuaciones anuales del PIB. El efecto escala, por otro lado, se hace evidente en las fluctuaciones anuales alrededor de la tendencia. Las variaciones a corto plazo del PIB, a diferencia del largo plazo, se espera que no afecten la composición de la producción o tecnología. Sus resultados son que el efecto

escala es mayor que los efectos composición y tecnológico en los casos de dióxido de carbono y partículas suspendidas, y que observa resultados inversos para los casos de monóxido de carbono y dióxido de azufre.

### **1.5 Críticas econométricas y empíricas a la hipótesis de la CKA.**

Varias son las críticas y contraargumentos a la CKA, entre los principales están:

Seppälä (2001) menciona entre las principales las señaladas por Ekins (1997):

i) Los agentes del mercado toman sus decisiones de compra de acuerdo con la información de los precios en el mercado. A menudo, los recursos medio ambientales están depreciados a pesar de tener un valor social. Es decir, los recursos medioambientales se utilizan antieconómicamente, extrayéndose en exceso. Como consecuencia, a menudo se explotan recursos más allá de un límite de seguridad.

ii) El desarrollo económico en general puede indicar que el uso del medio ambiente disminuye en relación con el crecimiento económico. Sin embargo, en términos absolutos, la situación del medioambiente puede degradarse.

iii) La política ambiental es sólo un sector de la arena política. No se garantiza que una política ambiental eficiente sea práctica.

iv) En particular, en los países en desarrollo, algunos de los problemas ambientales son verdaderas amenazas para la salud. La existencia de la degradación del medioambiente no quiere decir que la gente no esté dispuesta a pagar por un mejor medioambiente. En cambio, el factor limitante es la restricción presupuestaria. La creciente demanda de un mejor ambiente debido a un aumento de los ingresos también puede ser perjudicial para el medio ambiente. Por ejemplo, el "eco-turismo" afecta a la flora y fauna original de destinos turísticos.

Díaz (2007) menciona otras dos críticas fundamentales que ponen en tela de juicio la validez de la hipótesis de la CKA:

i) La imposibilidad de una disociación permanente entre crecimiento económico y deterioro medioambiental. Esta hipótesis supone que la CKA no se podría mantener a largo plazo ya que la disociación entre crecimiento económico y deterioro medioambiental (*de-linking hypothesis*) sería sólo temporal y existiría un determinado punto en el que la renta y el deterioro medioambiental exhibirían de nuevo una relación creciente (curva con forma de N).

ii) El problema de la irreversibilidad. La CKA no toma en cuenta los problemas de irreversibilidad que se producen cuando el impacto medioambiental traspasa determinados umbrales. *“Claramente, cuando un impacto medioambiental tiene efectos secundarios que son irreversibles, el hecho de que se caracterice por una relación CKA tranquiliza poco, a menos que se sepa que el PC (Punto de inflexión) ocurre antes de que se produzcan esos efectos secundarios”* (Stern et al, 1996, en Díaz, 2007).

### **1.5.1 Críticas teóricas.**

Aunque la teoría de la CKA describe esencialmente una trayectoria dinámica de la calidad ambiental y crecimiento económico para una sola economía, la mayoría de los análisis empíricos de la CKA han usado datos entre países, asumiendo implícitamente que los países incluidos en la muestra siguen la misma trayectoria contaminación-ingreso. Sin embargo, la relación de U invertida entre la contaminación y el ingreso estimada a partir de los datos entre países, no necesariamente es seguida por los países específicos de forma individual. Además la CKA presenta una gran sensibilidad respecto a los períodos de tiempo, el tamaño de muestra de los países y las formas funcionales, lo cual, a menudo pone en duda la conveniencia de utilizar la CKA entre países para interpretar la relación contaminación-ingreso para un país individual (He y Wang, 2011).

Díaz (2007) menciona críticas a la generalización de estudios, señalando que si bien, la hipótesis de la CKA hace referencia a la relación entre el ingreso y la calidad ambiental, la mayoría de los estudios econométricos se realizan sobre

determinados contaminantes o recursos ambientales tomados de forma aislada, lo cual lleva a introducir las siguientes consideraciones: i) el hecho de que la hipótesis se cumpla para algunos contaminantes no implica que se cumpla para todos, máxime cuando los contaminantes seleccionados suelen ser precisamente aquellos para los que se han establecido objetivos políticos explícitos, pues es de los que se suele disponer más y mejores datos; ii) el hecho de que la hipótesis se cumpla para algunos contaminantes no implica que se cumpla para el conjunto del medio ambiente. Por un lado, los estudios sobre contaminantes aislados no tienen en cuenta las posibilidades de sustitución de materiales y de emisiones, esto es, si el indicador ambiental no permite recoger una situación global de medio ambiente pueden pasar desapercibidas situaciones en las que la reducción de un contaminante se traduce en el aumento de otro. Por otro lado, las estimaciones sobre la CKA tampoco están teniendo en cuenta la diferencia espacial y temporal que existe entre la actividad económica y el impacto medioambiental.

### **1.5.2 Críticas econométricas**

La ecuación utilizada en muchos estudios de la CKA es un modelo de forma reducida (ecuación (1)) cuyo polinomio representa una única ecuación que captura la influencia que tienen el ingreso, la composición de producción económica, la tecnología y la política ambiental, y los cambios entre estos factores en la presión ambiental.

Las ventajas de trabajar con un modelo de forma reducida son un menor requerimiento de datos y la influencia del ingreso sobre la presión ambiental se estima de manera directa.

Algunas de las desventajas que presenta el modelo en forma reducida como la ecuación (1) tal como lo señalan Grossman y Krueger (1995), es que no está claro por qué existe la relación estimada y, especialmente, qué tipo de interpretación se debe dar a los coeficientes estimados del polinomio de la ecuación. Debido a la falta de capacidad explicativa del modelo, las explicaciones de los coeficientes se dan *ex post*, es decir, se ven obligados a los resultados de la regresión, pero no se



han probado, por lo tanto, resulta difícil sacar conclusiones generales de la relación que guarda la contaminación y el ingreso (Ansuategi, 2004; de Bruyn, 1997; Bruvoll y Medin, 2003). Por lo tanto el modelo resulta ser puramente descriptivo y no responde a la cuestión de si la reducción de los contaminantes se logra mediante políticas ambientales más ambiciosas (que incluso pueden estar relacionadas con el crecimiento económico), o por los cambios estructurales y tecnológicos autónomos (De Bruyn, 1998).

En el aspecto econométrico del modelo, Stern (2004) clasifica las principales críticas econométricas en cuatro categorías: heterocedasticidad, simultaneidad, sesgo por variables omitidas y problemas de cointegración.

i) **Heterocedasticidad.** Es un problema relevante en el contexto de regresiones de corte transversal con datos agrupados, pues en general se considera que los datos de un país son la suma o promedio de las observaciones para todas las regiones, industrias o habitantes dentro de un país. Los problemas de heterocedasticidad pueden verse reflejados en residuales pequeños, los cuales pueden ser asociados con los países con un mayor nivel de PIB y población. Si la heterocedasticidad es tomada en cuenta en la fase de estimación, parece ser que se mejora significativamente la calidad de ajuste de las emisiones globales a las emisiones reales. Muchos de los estudios sobre la CKA estiman el modelo por MCO y no ofrecen resultados de los contrastes de heterocedasticidad de forma que, si ésta existe, los resultados de las estimación por MCO son ineficientes, aunque insesgados.

ii) **Simultaneidad.** El problema de simultaneidad al estimar la CKA puede surgir porque el aumento en el uso de energía impulsa un incremento en el nivel de ingresos, pero el aumento en el ingreso puede llevar a una mayor demanda de energía en las actividades de consumo. Además, si la degradación ambiental es lo suficientemente grave, puede reducir la renta nacional, mientras que el efecto escala implica que el aumento en la renta provoca un incremento en la degradación ambiental (Díaz, 2007).

**iii) Sesgo por variables omitidas.** El problema de sesgo por variables omitidas es una de las principales críticas a los modelos de la CKA, ya que se puede tratar de un modelo mal especificado, y en concreto, algunos autores apuntan a una existencia general de un sesgo por variables omitidas. Stern y Common (2001) plantean que al centrar la atención en una variable específica para explicar la evolución de un indicador de deterioro medioambiental, existe el riesgo potencial del sesgo por variables omitidas. Como estos autores señalan, aunque en los últimos estudios sobre la CKA han aumentado considerablemente los contrastes estadísticos utilizados, lo cierto es que los resultados de los contraste se han empleado para seleccionar estimadores y no para abordar la cuestión de si el modelo básico CKA está correctamente especificado. Estos autores prestan atención a tres cuestiones que podrían estar evidenciando la existencia del problema citado, que son: a) las diferencia entre los coeficientes estimados en las diferentes sub-muestras; b) las diferencias entre los parámetros de los modelos con efectos fijos y los modelos con efectos aleatorios; y c) los resultados de los contraste de correlación serial (Díaz, 2007).

**-Problemas de cointegración.** En cuanto a la cointegración, si las regresiones sobre la CKA contienen variables no cointegradas, las estimaciones obtenidas pueden ser espurias.

## **1.6 Técnicas de descomposición.**

Como se ha mencionado, la principal desventaja de trabajar con una ecuación de forma reducida es que no está claro por qué existe la relación y cuál sería la correcta interpretación de los coeficientes de regresión, por lo tanto, resulta difícil sacar conclusiones generales acerca de la relación entre el ingreso y la contaminación medioambiental.

Debido a este problema, se ha propuesto en la literatura el uso de técnicas de descomposición para estudiar los orígenes de los cambios de la contaminación (Bruvold y Medin, 2003).

Díaz (2007) hace una revisión exhaustiva de las diversas técnicas de descomposición, entre las cuales distingue cuatro:

- Análisis de descomposición con datos agregados.
- Análisis de descomposición basada en índices (Index Decomposition Analysis)
- Análisis de descomposición estructural (Structural Decomposition Analysis)
- Análisis de descomposición econométrica.

“Desde una perspectiva medioambiental, estas técnicas de descomposición se han aplicado fundamentalmente a contaminantes atmosféricos derivados de la producción y uso de la energía (en especial, al CO<sub>2</sub> y al SO<sub>2</sub>), a la intensidad energética y al consumo de energía, considerando a este último como un indicador representativo del gran número de contaminantes asociados a los procesos de producción y consumo de energía” (Díaz, 2007).

En este trabajo se empleará un análisis de descomposición con datos agregados, el cual se describe en el capítulo 3.

### **2.1 Condiciones generales de la Ciudad de México.**

La Ciudad de México está localizada en una cuenca que cubre 9560 km<sup>2</sup> a una altitud de 2240m sobre el nivel del mar; está situada entre 19 y 20° latitud norte, y 98 y 99° latitud oeste. La ZMVM tienen una extensión de más de 2000km<sup>2</sup> y está enclavada sobre la porción suroeste de una cuenca lacustre de fondo plano limitada por grandes complejos montañosos de origen volcánico; al oriente, por la Sierra Nevada, cuyas cimas más elevadas sobrepasan los 5000m; al sur, por las serranía del Ajusco y Chichinautzin, que virtualmente llegan a los 4000m; y al poniente, por la Sierra de las Cruces, donde se superan los 3000m. La parte media de la cuenca queda bloqueada por la Sierra de Guadalupe, donde los cerros más altos alcanzan los 2600m (Garza, 1996; Quadri et al, 1994).

Entre los principales factores fisiográficos y climáticos que afectan la calidad del aire de la cuenca destacan los siguientes (SMA, Gestión Ambiental del Aire, 2006):

- El entorno montañoso que la rodea, constituye una barrera natural que dificulta la libre circulación del viento y la dispersión de los contaminantes. Por lo cual, se considera una región propicia para la acumulación de los contaminantes atmosféricos.
- Por su altitud, frecuentemente ocurren inversiones térmicas en un importante porcentaje de los días del año. Este es un fenómeno natural que causa un estancamiento temporal de las masas de aire en la atmósfera, con lo cual se inhibe la capacidad de autodepuración de ésta y favorece la acumulación de contaminantes.
- Por su posición continental entre dos océanos, son frecuentes los sistemas anticiclónicos que se registran continuamente en la región centro del país, los cuales tienen la capacidad de generar grandes masas de aire inmóvil en áreas que pueden abarcar regiones mucho mayores que el Valle de México.

-Debido a su latitud, la intensa radiación solar que se registra en el Valle de México a lo largo de todo el año favorece la formación del ozono.

**Figura 2.1.** ZMVM: Estancamiento de contaminantes y formación de ozono.

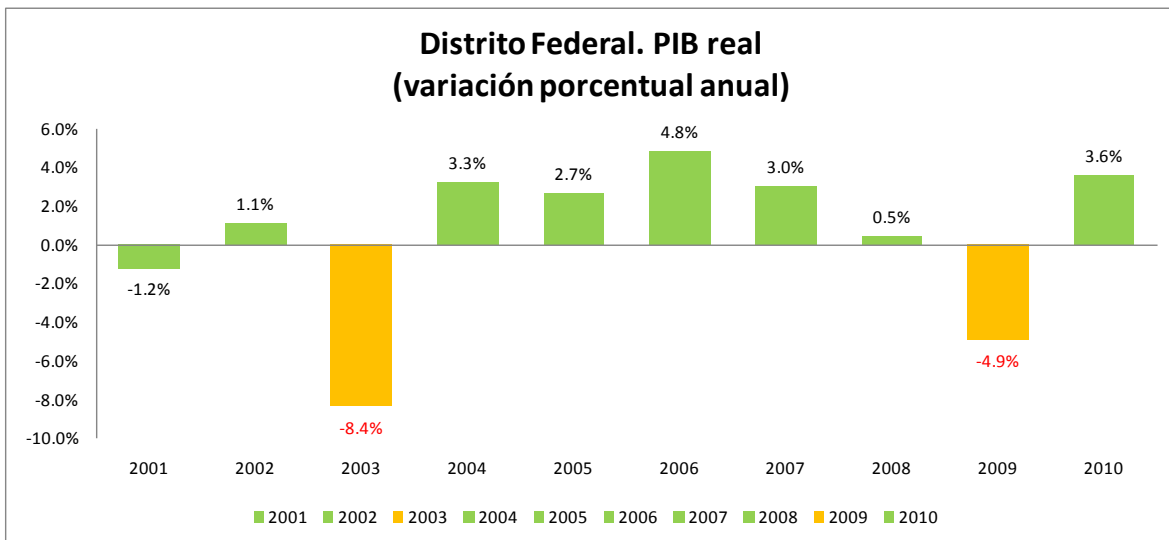


Fuente: Rodolfo Lacy, et al(2001), Contaminación atmosférica y conciencia ciudadana; Simoni/compiladora, Santiago de Chile, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2003.

## 2.2. Entorno económico del Distrito Federal

De acuerdo a la información más reciente publicada por el INEGI (2010), el PIB del Distrito Federal representó el 17.92<sup>2</sup> por ciento del PIB nacional, siendo el estado con mayor aportación del país.

**Gráfica 2.1** PIB real del Distrito Federal.

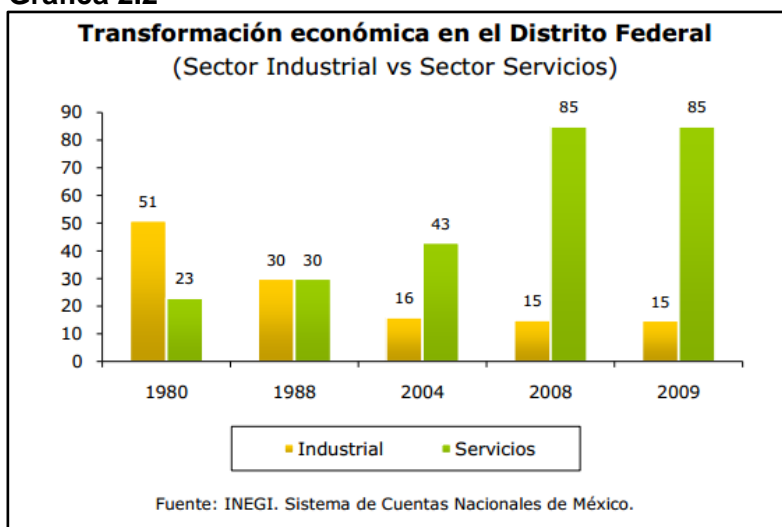


Fuente: Elaboración propia con información del SCN (INEGI).

<sup>2</sup> Con año base 2003=100.

En los últimos 30 años, la economía del Distrito Federal ha experimentado una transformación en la participación de los sectores productivos en la economía capitalina; la estructura económica sectorial de la Ciudad de México se mantuvo, de 1960 hasta fines del siglo XX, en cifras más o menos constantes. A principios siglo XXI, se aprecian significativas modificaciones en las participaciones de los sectores económicos en el PIB, en favor de las actividades relacionadas con los servicios, mientras que las pertenecientes a la industria disminuyeron de manera importante. (Sánchez, 2012; GDF, 2012).

**Gráfica 2.2**



También se observa una disminución en el número de unidades económicas de las manufacturas, mientras que ha aumentando el número de unidades del sector servicios.

**Cuadro 2.1.** Unidades económicas por sector.

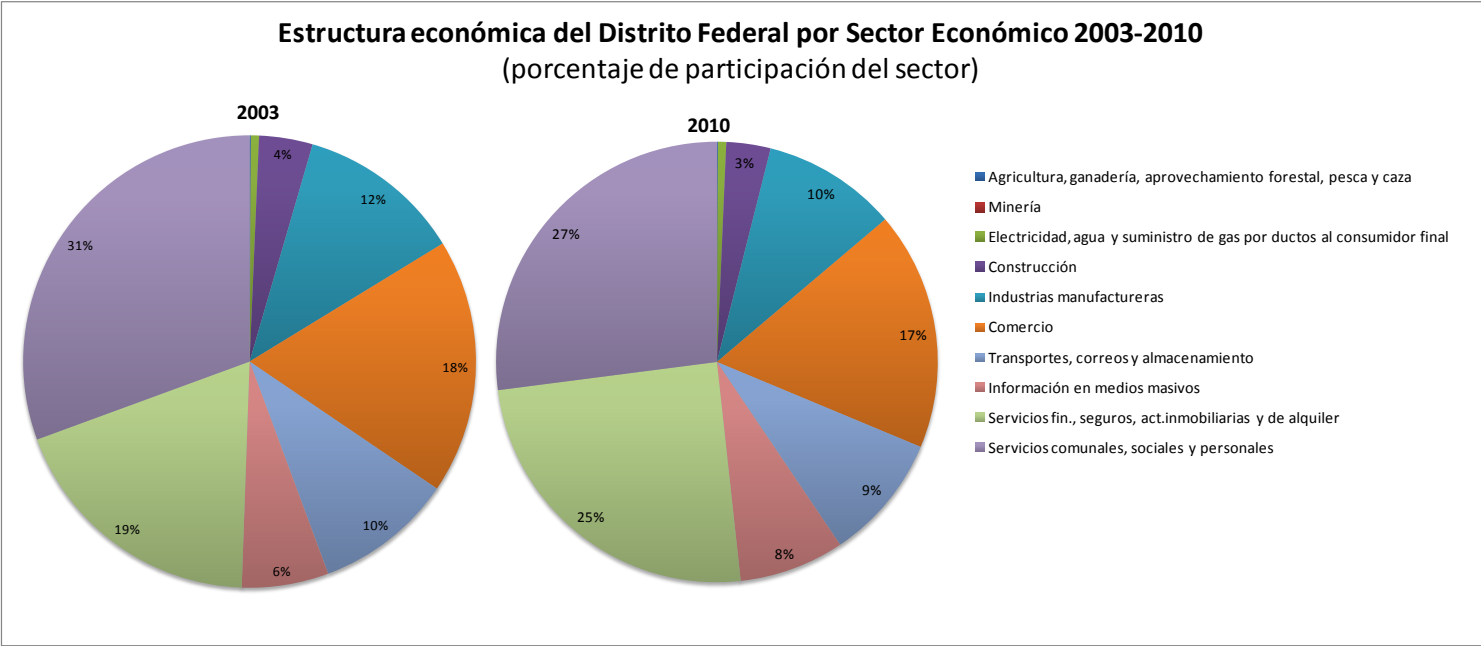
Unidades económicas	1999	2003	2008
Manufacturas	31,068	27,727	30,934
Comercio	60,137	53,451	59,860
Servicios	127,966	129,374	151,017
<b>Total</b>	<b>219,171</b>	<b>210,552</b>	<b>241,811</b>

Fuente: Elaboración propia con información de los Censos Económicos, INEGI.

Respecto a la composición de la producción, en el 2010 destacan los sectores de servicios financieros, seguros, actividades mobiliarias y de alquiler, e información

de medios masivos, que incrementaron su aportación en la entidad; en detrimento de otros sectores que disminuyeron su participación como la industria manufacturera y los servicios comunales.

**Gráfica 2.3.** Estructura económica del D.F. por sector económico 2003-2010

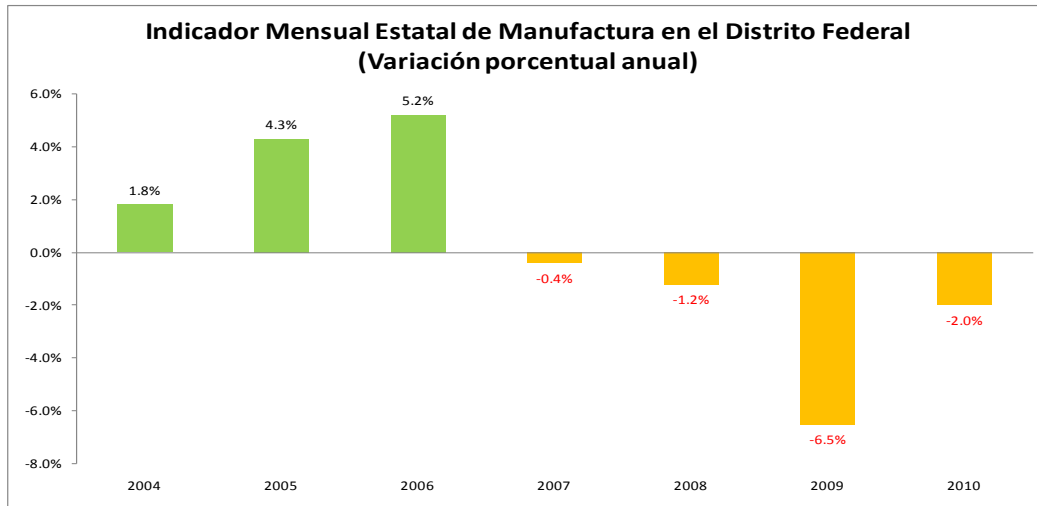


Fuente: Elaboración propia con información del INEGI, SCN

**2.2.1 Manufacturas**

La industria manufacturera ha presentado en los últimos años una tendencia con tasas de contracción, este comportamiento puede ser explicado por dos razones: por un lado, la estructura económica de la Ciudad de México está basada principalmente en el sector servicios, y por otro lado, la oferta manufacturera exportable del Distrito Federal hacia Estados Unidos no registró ninguna caída significativa (GDF,2012).

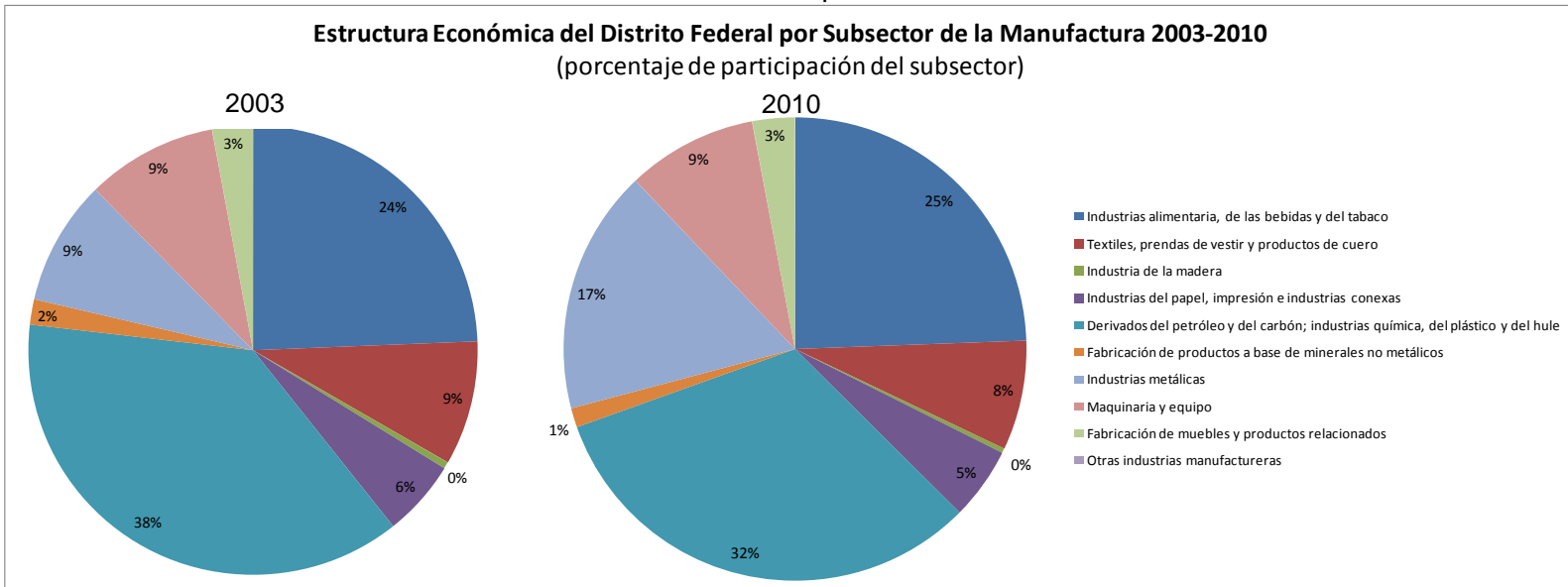
**Gráfica 2.4.** Indicador Mensual Estatal de Manufactura en el D.F.



Fuente: Elaboración propia con información del INEGI.

En los últimos años, el PIB de la industria manufacturera ha modificado su estructura de participación, según los subsectores que la componen. En el 2010 el 32 por ciento del PIB de esta industria fue generado por los derivados del petróleo y del carbón; industria química, del plástico y del hule; el 25 por ciento por la industria alimentaria, de las bebidas y el tabaco; y el 17 por ciento por la industria metálica.

**Gráfica 2.5.** Estructura Económica del Distrito Federal por Subsector de la Manufactura 2003-2010.



Fuente: Elaboración propia con información del INEGI, SCN

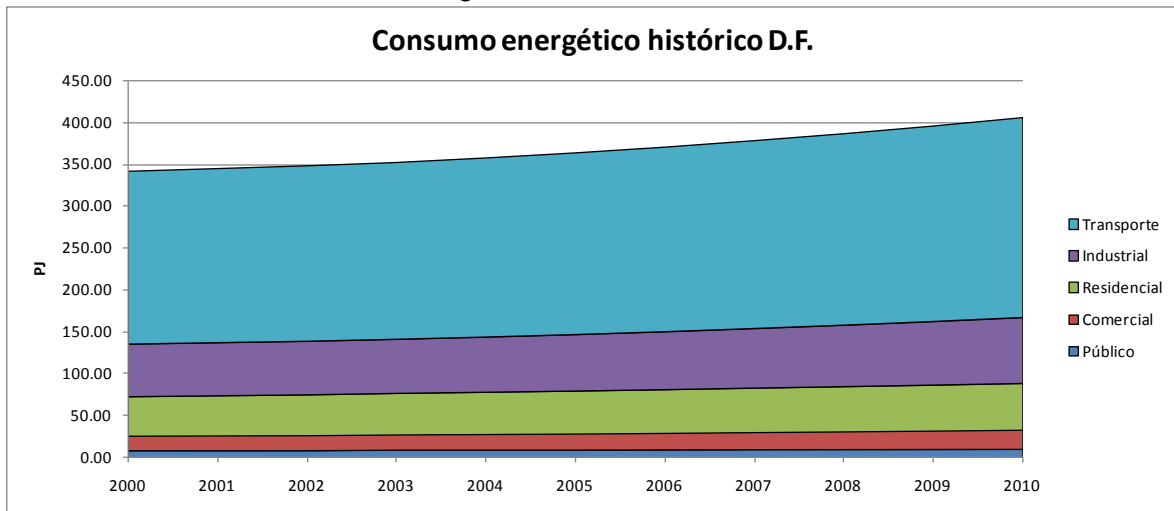


### 2.3 Consumo energético en el Distrito Federal.

De acuerdo a las proyecciones del ELACC (2006), el consumo energético total en el DF pasó de 343 PJ en el 2000 a 406 PJ en el 2010, lo que representa un incremento del 25% en ese periodo. Cada uno de los sectores mostrados incluye el consumo eléctrico correspondiente, aún cuando casi el 99% de la electricidad consumida en el Distrito Federal se genera fuera de ella.

Del total de los 406 PJ consumidos en el 2010, 340 PJ se originaron del consumo de combustibles y 67 PJ de electricidad.

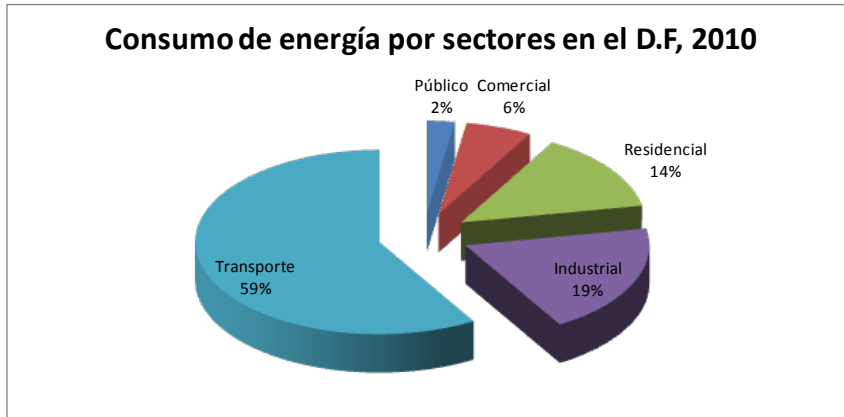
**Gráfica 2.6.** Consumo energético histórico en el Distrito Federal 2000-2010



Fuente: Elaboración propia con información del ELACC, proyecciones escenario medio, año base 2000.

El transporte es por mucho el mayor consumidor de energía, seguido por el sector industrial y el consumo residencial. Estos tres sectores utilizaron el 92% de la energía en el Distrito Federal en el 2010.

**Gráfica 2.7.** Consumo de energía por sectores en el D.F, 2010

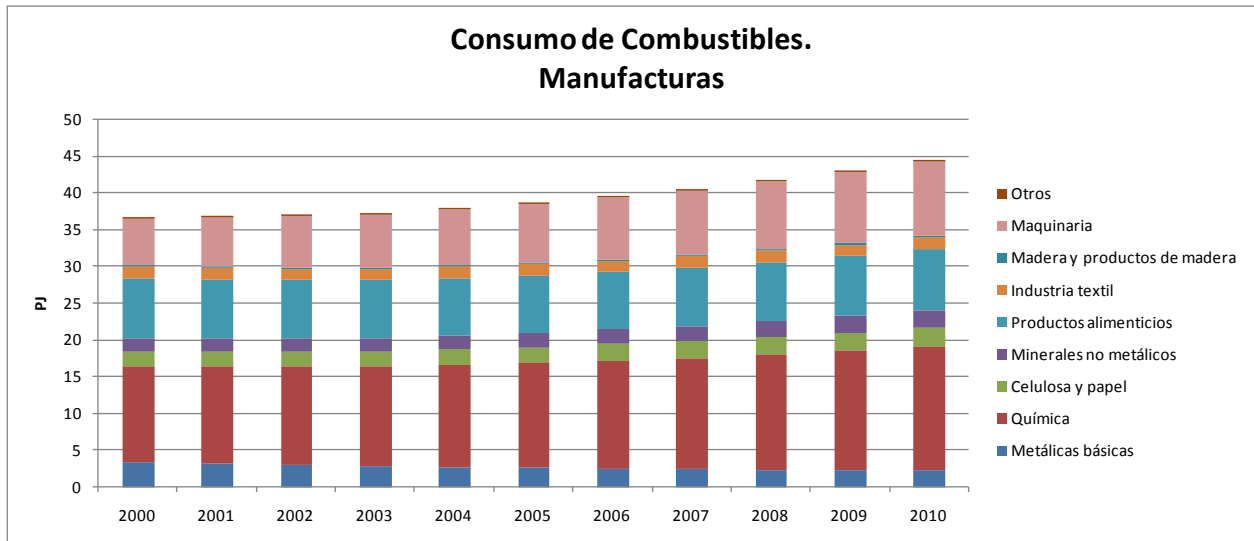


Fuente: Elaboración propia con información del ELACC, proyecciones escenario medio, año base 2000.

### 2.3.1. Consumo energético industrial

El consumo energético de combustibles del sector manufacturero pasó de 36.728 PJ en el 2000 a 78.549 en el 2010, lo que representa un incremento de 21.08%, siendo la industria química el mayor consumidor de combustibles.

**Gráfica 2.8.** Consumo de Combustibles en el Sector Manufacturero, D.F. 2000-2010



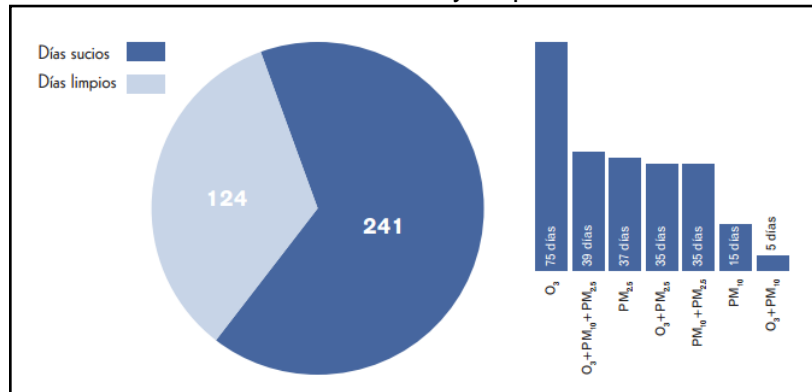
Fuente: Elaboración propia con información del ELACC, proyecciones escenario medio, año base 2000.

### 2.4 Evolución de emisiones contaminantes en la Ciudad de México.

Durante 2010 se registraron 124 días con una calidad del aire favorable, en estos días ningún contaminante excedió el umbral de 100 puntos en la escala del

índice de calidad del aire, el ozono rebasó el valor de 100 puntos en 154 días, mientras que PM2.5 en 146 días.

**Gráfica 2.9.** Número de días sucios y limpios en la Ciudad de México

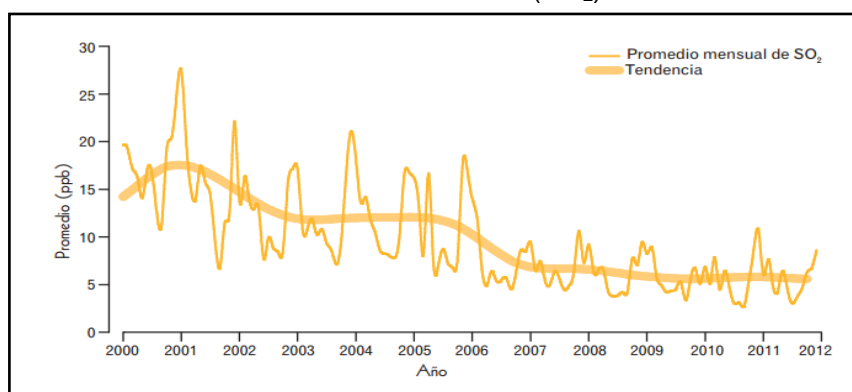


Hay que destacar que en 114 días se reportaron niveles de riesgo para más de un contaminante, esto es importante por los efectos sinérgicos que puede tener la combinación de varios contaminantes en altas concentraciones.

#### 2.4.1 Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).

Históricamente el dióxido azufre es uno de los contaminantes que ha mantenido una tendencia descendente. En los últimos 10 años la concentración promedio anual se ha reducido en un 68%. Con respecto al año previo la concentración disminuyó en un 4%. (Calidad del aire en la Ciudad de México, Informe 2011).

**Gráfica 2.10.** Evolución de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) en el D.F. 2000-2012



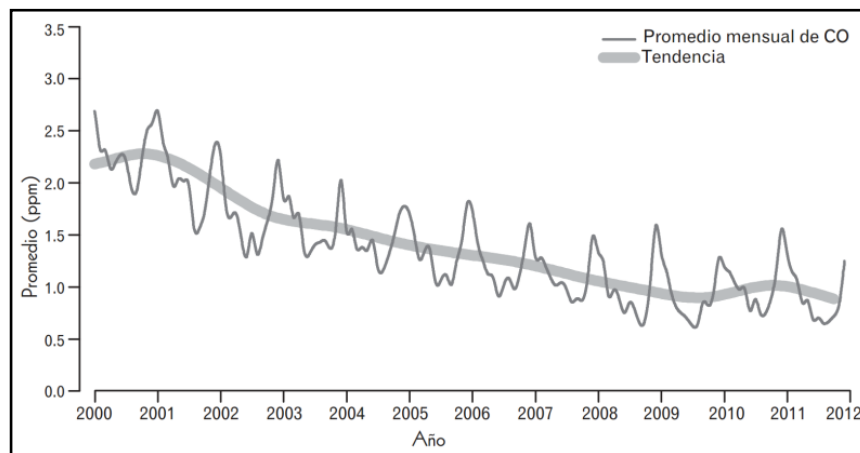
Fuente: SMADF.

La exposición al dióxido de azufre genera síntomas como irritación de nariz y garganta, seguido de bronco-constricción y disnea, especialmente en individuos asmáticos y se incrementa la susceptibilidad a infecciones respiratorias; estos síntomas se ven agravados si se dan en combinación con el ejercicio físico (Kampa y Castanas, 2008 en PROAIRE 2011-2020).

#### 2.4.2 Monóxido de carbono (CO).

El monóxido de carbono, es uno de los contaminantes en cuyo comportamiento las estrategias de control implementadas, han generado los mejores resultados. En comparación con los niveles que se tenían en el año 2000 el valor del promedio anual del contaminante ha disminuido en un 61%. En comparación con 2010 el promedio anual se redujo en un 15%. (Calidad del aire en la Ciudad de México, Informe 2011).

**Gráfica 2.11.** Evolución de monóxido de carbono (CO) en el D.F. 2000-2012



Fuente: SMADF.

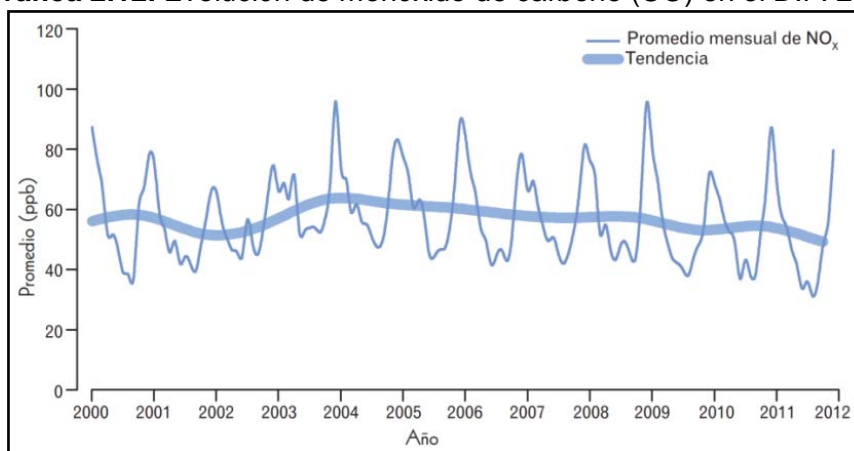
Los efectos agudos del CO reducen la disponibilidad de oxígeno y pueden afectar el funcionamiento de diferentes órganos, especialmente el cerebro y el corazón por ser más sensible al oxígeno, lo cual provoca dificultades para concentrarse, bajos reflejos y confusión (Kampa y Castanas, 2008 en PROAIRE 2011-2020).

### 2.4.3 Óxidos de nitrógeno.

Después de exposiciones a  $\text{NO}_2$  se presentan síntomas como irritación de nariz y garganta, seguidos de bronco-constricción y disnea, especialmente en individuos asmáticos y se incrementa la susceptibilidad a infecciones respiratorias (Kampa y Castanas, 2008 en PROAIRE 2011-2020). La exposición crónica a este contaminante puede disminuir las defensas contra infecciones respiratorias.

Con respecto al promedio anual del año 2000, en el año 2011 se alcanzó una reducción de 15%. En comparación con el año 2010, la concentración de este contaminante fue menor en un 11%. A pesar de que la mayor parte de las emisiones de monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno tienen fuentes comunes, los sistemas de control de emisiones de óxidos de nitrógeno en los vehículos y la industria no son tan eficientes como en el caso del monóxido de carbono, por lo que las emisiones de este contaminante no han disminuido en una proporción similar. (Calidad del aire en la Ciudad de México, Informe 2011).

**Gráfica 2.12.** Evolución de monóxido de carbono (CO) en el D.F. 2000-2012

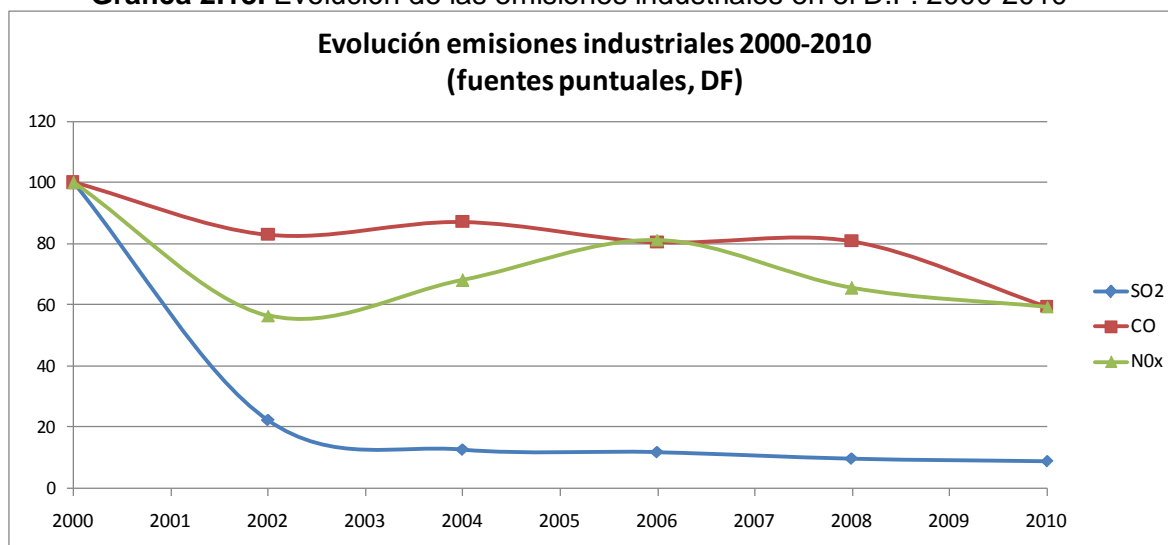


Fuente: SMADF.

### 2.4.4 Emisiones contaminantes del sector manufacturero.

Un primer análisis de la evolución de los contaminantes emitidos por el sector manufacturero nos permite avanzar en las conclusiones acerca de los supuestos de que a mayores niveles de ingreso (en este caso, se analiza la producción del sector manufacturero), el crecimiento económico favorece la calidad del medioambiente.

**Gráfica 2.13.** Evolución de las emisiones industriales en el D.F. 2000-2010



Fuente: Elaboración propia con información de los Inventarios de Emisiones, SMADF.

En el caso del sector manufacturero en el Distrito Federal, se observa una disminución general en la emisión de los contaminantes criterio, siendo la disminución más significativa la del dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).

Respecto a la participación de cada uno de los subsectores de la industria manufacturera en la emisión de contaminantes, también se observan cambios significativos en el periodo 2000-2008.<sup>3</sup>

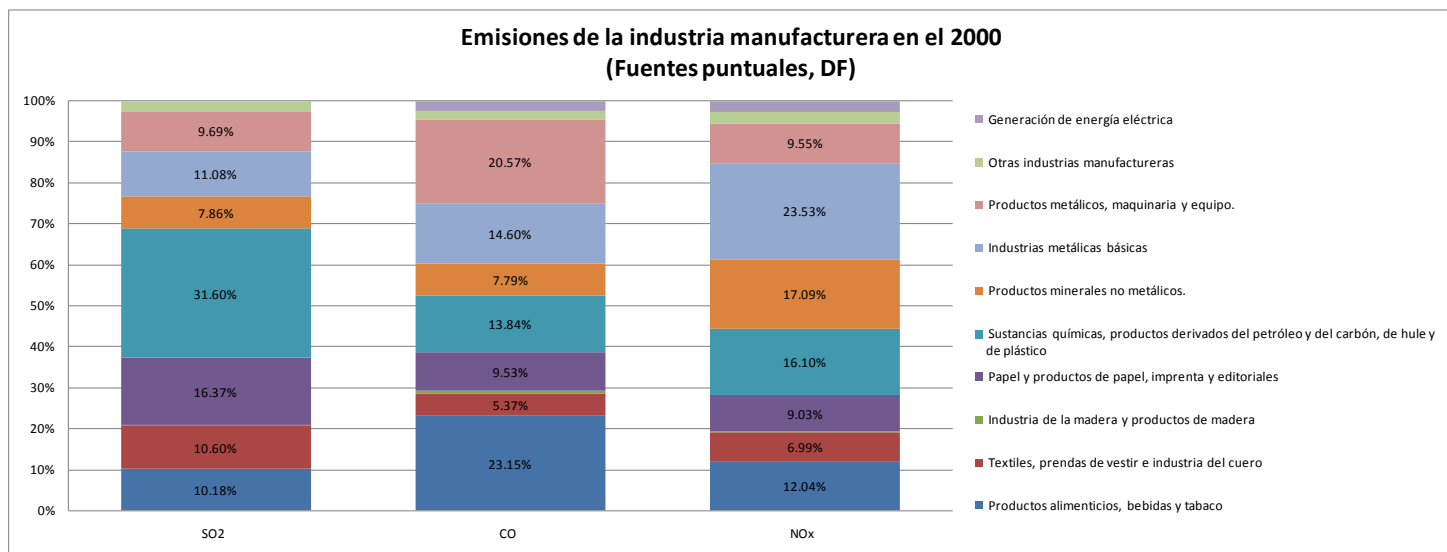
En el año 2000 el subsector que más contribuyó a la emisión de dióxido de azufre fue el de sustancias químicas, productos derivados del petróleo y del carbón, de hule y de plástico; mientras que en el 2008, el subsector que más aportó fue la industria metálica básica, con un 31.6% y 33.05% respectivamente.

En el caso del monóxido de carbono (CO), en el año 2000 el subsector que más emitió fue el de productos metálicos, maquinaria y equipo, con un 20.57 por ciento; mientras que en el 2008, fue el subsector de industrias metálicas en el que más contribuyó, con un 21.72 por ciento. Para el caso del óxido de nitrógeno (NOx), la situación fue similar. En el 2000 fue el subsector de industrias metálicas básicas la que más aportó, con un 23.53 por ciento; mientras que en el 2008, el subsector de

<sup>3</sup> La comparativa se realiza hasta el 2008 y no hasta el 2010 debido a la falta de información por subsectores para el 2010.

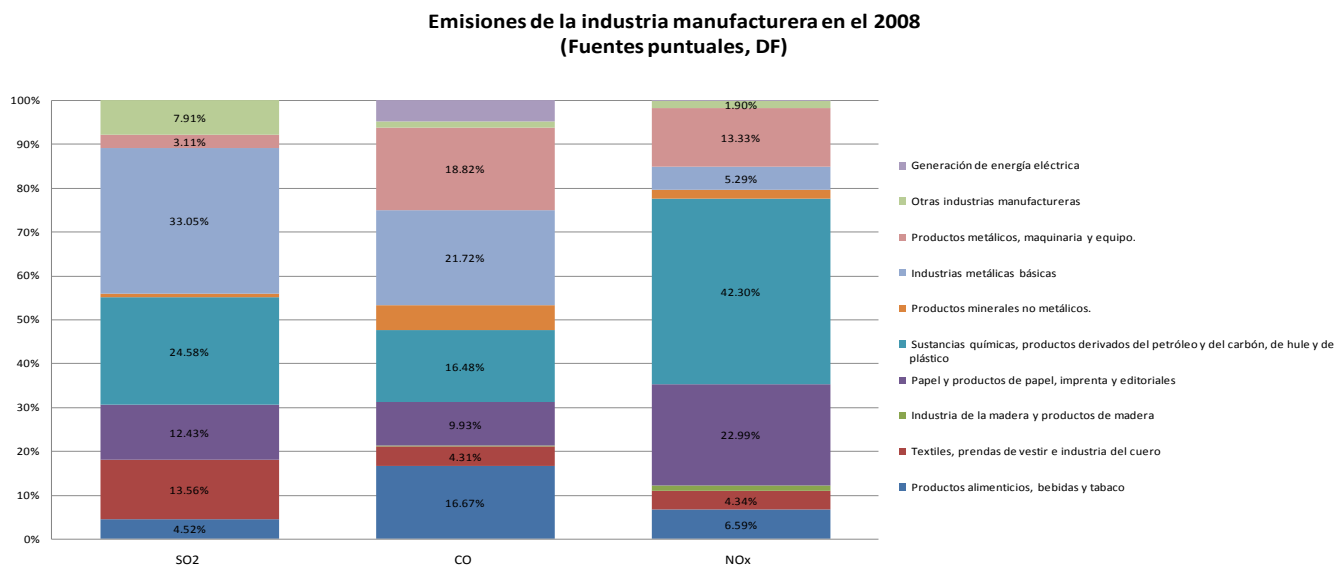
sustancias químicas, productos derivados del petróleo y del carbón, de hule y de plástico contribuyó con un 42.3 por ciento del total de emisiones.

**Gráfica 2.14.** Emisiones de la industria manufacturera en el 2000.



Fuente: Elaboración propia con información de los Inventarios de Emisiones, SMADF.

**Gráfica 2.15.** Emisiones de la industria manufacturera en el 2008.



Fuente: Elaboración propia con información de los Inventarios de Emisiones, SMADF.

## **2.5 Fuentes de información de contaminantes criterio.**

### **2.5.1 Inventario Nacional de Emisiones (INEM)**

El inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos es un instrumento estratégico para la gestión del aire; permite conocer las fuentes de contaminantes, así como el tipo y la calidad de contaminantes que emite cada una de ellas.

Los contaminantes incluidos en un inventario de emisiones están determinados por el propósito que cumple dicho inventario. Por ejemplo, cuando se busca conocer el origen de la mala calidad del aire en una zona urbana, se hace un inventario de contaminantes criterio, que puede incluir monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx), óxidos de azufre (SOx), partículas (menores a 10 micrómetros -PM10- y menores a 2.5 micrómetros -PM2.5-), compuestos orgánicos volátiles (COV), hidrocarburos (HC), y plomo (Pb). (SEMARNAT, 2012).

Los inventarios están integrados por:

#### **-Fuentes puntuales.**

Se refiere a aquellas fuentes que tienen una localización espacial precisa y fija. En esta categoría se engloba la industria en general. De los contaminantes emitidos por este sector, la mayor parte corresponde a compuestos orgánicos totales (COT), seguida por óxidos de nitrógeno (NOx).

#### **-Fuentes móviles.**

Se refiere a aquellas fuentes que no tienen una localización espacial fija, incluye todas aquellas unidades motrices que sirven como medio de transporte. La mayor cantidad de los contaminantes generados por las fuentes móviles es aportada por autos particulares.

#### **-Fuentes de área.**

Comprende fuentes numerosas y dispersas, por lo que sus emisiones se agrupan en las siguientes categorías: combustión en fuentes estacionarias; fuentes móviles que no circulan por los caminos y vialidades; uso de solventes; almacenamiento y transporte de productos derivados de petróleo; fuentes industriales ligeras (que



trabajan a pequeña escala) y comerciales; manejo y tratamiento de residuos y fuentes de área misceláneas.

#### **-Fuentes naturales.**

Esta categoría incluye las emisiones generadas por: la vegetación, que libera hidrocarburos (principalmente isoprenos y monoterpenos); el suelo, que libera óxidos de nitrógeno considerados precursores del ozono. También en esta fuente se incluye la erosión eólica del suelo que produce partículas que se liberan a la atmósfera.

### **2.5.2 Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México (SIMAT).**

El SIMAT es el sistema que la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal (SMA-GDF) emplea para la vigilancia y el monitoreo de la calidad del aire en la Zona Metropolitana del Valle de México.

Actualmente el SIMAT está integrado por la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA) que cuenta con 24 estaciones; la Red Manual de Monitoreo Atmosférico (REDMA) que consta de 12 estaciones; la Red de Depósito Atmosférico (REDDA) que tienen 16 sitios de muestreo y la Red de Meteorología y Radiación Solar (REDMET) que opera con 16 estaciones. (SIMAT, 2012).

Los contaminantes medidos por cada una de las estaciones son:

-RAMA. Realiza mediciones continuas y permanentes de ozono ( $O_3$ ), dióxido de azufre ( $SO_2$ ), óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ), monóxido de carbono (CO), partículas menores a 10 micrómetros ( $PM_{10}$ ) y partículas menores a 2.5 micrómetros ( $PM_{2.5}$ ).

-REDMA. Realiza mediciones cada seis días y su principal objetivo es obtener muestras de Partículas Suspendidas Totales (PST), Partículas Menores a 10 micrómetros ( $PM_{10}$ ) y Partículas Menores a 2.5 micrómetros ( $PM_{2.5}$ ).

-REDDA. Obtiene muestras de depósito húmedo y depósito seco en la Ciudad de México. El estudio del depósito atmosférico, permite evaluar indirectamente el desempeño ambiental de las acciones de prevención y control de la contaminación en la Ciudad de México.

-REDMET. Tiene como función principal proporcionar información de los parámetros meteorológicos para elaborar el Pronóstico meteorológico y modelos de dispersión, con la finalidad de analizar el desplazamiento de los contaminantes a través del tiempo.

### **2.5.3 Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA).**

El IMECA es una escala a dimensional que sirve para calificar la calidad del aire con respecto a los contaminantes atmosféricos considerados criterio. Se reporta cada hora para cada una de las estaciones automáticas de monitoreo de la calidad del aire del SIMAT y para cada una de las 5 zonas en las que se divide la Ciudad de México y su Zona Metropolitana. Si en alguna estación de una zona cualquiera, la calidad del aire es mala o muy mala, entonces se considera que toda la zona tienen mala calidad del aire para esa hora (SIMAT, 2012).

En noviembre del 2006 se publicó en la Gaceta Oficial del Distrito Federal la Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-009-AIRE-2006, que establece los requisitos para elaborar el IMECA de los contaminantes criterios, ozono ( $O_3$ ), partículas menores a 10 micrómetros ( $PM_{10}$ ), partículas menores a 2.5 micrómetros ( $PM_{2.5}$ ) dióxido de azufre ( $SO_2$ ), dióxido de nitrógeno ( $NO_2$ ) y monóxido de carbono (CO).

## **2.6. Políticas ambientales.**

### **2.6.1 Programas de abatimiento.**

Los primeros intentos por llevar un registro de las emisiones de contaminantes en la ZMVM datan de 1966, cuando la entonces Dirección General de Higiene Industrial de la Secretaría de Salubridad y Asistencia, integro la primera red de monitoreo para medir  $SO_2$  y partículas suspendidas en cuatro estaciones.

Posteriormente, el Gobierno de la Ciudad publicó en 1986 las 21 Acciones para Disminuir la Contaminación Atmosférica, y la 100 Medidas Necesarias propuestas para reducir las emisiones contaminantes en 1987 (Álvarez et al, 2010).

Las 21 Acciones para Disminuir la Contaminación Atmosférica dieron origen a esfuerzos importantes, entre los que destacaron el inicio de la sustitución de combustóleo con alto contenido de azufre por gas natural en las termoeléctricas y la reducción del contenido de plomo en la gasolina. Surgió el *Programa Un Día sin Auto*, una iniciativa voluntaria que más tarde se transformaría en el *Programa Hoy No Circula* en forma obligatoria. (Programa para Mejorar la Calidad del Aire en la ZMVM 2002-2010).

En el periodo de 1990 a 2011 se pusieron en práctica cuatro programas gubernamentales para enfrentar el problema de la contaminación del aire: 1) Programa Integral contra la Contaminación atmosférica de la Zona Metropolitana de la ciudad de México (PICCA), 1990; 2) Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México, 1995-2000 (PROAIRE); 3) PROAIRE 2002-2010 y 4) PROAIRE 2011-2020.

### **2.6.2 Programa Integral Contra la Contaminación Atmosférica 1990 (PICCA).**

En el año de 1990, el departamento del Distrito Federal, PEMEX, el Instituto del Petróleo el gobierno del Estado de México y la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, crearon el Programa Integral contra la Contaminación Atmosférica, PICCA (Evaluación de Proaire 1995-2000,1998).

Los esfuerzos del PICCA se dirigieron a la reducción de las emisiones de plomo, bióxido de azufre, monóxido de carbono, hidrocarburos y óxidos de nitrógeno, así como de las partículas generadas por la destrucción de bosques, erosión de zonas deforestadas, tiraderos clandestinos y calles sin pavimentar. Para ello, las estrategias del PICCA se concentraron en: a) el mejoramiento en la calidad de los combustibles, b) la reducción de emisiones en vehículos automotores, c) la modernización tecnológica y el control de emisiones en las industrias privadas y servicios, y d) la restauración ecológica de las áreas boscosas que circundan al Valle de México (PROAIRE,2002-2010).

Los logros más importantes que se consiguieron después de la aplicación del PICCA fueron: se mejoró la calidad de los combustibles, se introdujo la instalación

de 4 tipos de dispositivos anticontaminantes a los vehículos, se establecieron normas más estrictas de emisión de contaminantes, se redujeron las emisiones a la atmósfera de plomo en más de 98%, partículas atmosféricas, dióxido de azufre, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno (SMADF: PROAIRE 2002-2010; PROAIRE 2011-2020).

### **2.6.3 Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 1995-2000 (PROAIRE I).**

El objetivo de este programa estuvo enfocado explícitamente a la reducción de las concentraciones pico y promedio de ozono, con la finalidad de reducir el riesgo a la salud asociado con la exposición de corto y largo plazo a este contaminante (PROAIRE 2002-2010).

Algunas de las estrategias utilizadas fueron: el mejoramiento, incorporación de nuevas tecnologías y sustitución de energéticos en la industria, servicios y vehículos automotores; ampliar la oferta de transporte público seguro y eficiente; incentivos económicos; información y educación ambiental y participación social e integración de políticas metropolitanas (desarrollo urbano, transporte y medio ambiente).

Como resultado de este programa, a través de la década de los noventa se registró una reducción importante de emisiones a la atmósfera y se logró contener los altos niveles de contaminación atmosférica en la ZMVM, a pesar del continuo crecimiento de la población y el aumento en el consumo de combustibles (Álvarez et al, 2010).

### **2.6.4 Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 2002-2010 (PROAIRE II)**

El programa en general, planteaba las metas de reducción de emisiones y concentración de los contaminantes para lograr aumentar los días en que éstos estén dentro del rango aceptable por la norma vigente establecida.

Las estrategias que se implementaron para alcanzar las metas fueron, entre otras, la reducción de emisiones generadas por el transporte y la industria a través de la modernización y mejoramiento tecnológico; preservación y restauración de los recursos naturales y prevención de la expansión de la mancha urbana; presencia de la exposición de la población a la contaminación, mediante la evaluación y comunicación de riesgos; fortalecimiento de la educación ambiental, investigación y desarrollo tecnológico; y un fortalecimiento institucional para la gestión de la calidad del aire.

### **2.6.5 Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 2011-2020 (PROAIRE III)**

El enfoque que se propone en el nuevo programa se consolida en la definición de un eje rector y un paquete de estrategias, que son las que trazan la ruta a seguir en el mapa del trabajo que debe realizarse para avanzar cuantitativa y cualitativamente en la gestión de la calidad del aire. En el marco de ese eje rector, el PROAIRE III está constituido por 8 estrategias, mismas que contienen en total 81 medidas y 116 acciones (PROAIRE 2011-2020). Las estrategias que sigue el programa son:

- Ampliación y refuerzo de la protección a la salud.
- Disminución estructural del consumo energético de la ZMVM.
- Calidad y eficiencia energéticas en todas las fuentes.
- Movilidad y regulación del consumo energético del parque vehicular.
- Cambio tecnológico y control de emisiones.
- Educación ambiental, cultura de la sustentabilidad y participación ciudadana.
- Manejo de áreas verdes, reforestación y naturación urbanas.
- Fortalecimiento institucional e investigación científica.

### **2.7 El Distrito Federal ante el cambio climático.**

Aunque en México no existe normatividad específica para limitar, reducir y mitigar la emisión de gases de efecto invernadero, las normas que, con el fin de mejorar

la calidad del aire, controlan otras emisiones contaminantes a la atmosfera, han influido positivamente en la reducción de emisiones de GEI. Destaca la norma NOM-085-ECOL-1994 que establece niveles máximos permisibles de emisiones a la atmósfera de diversos gases y de material articulado. El cumplimiento de esta norma conduce a la sustitución de combustóleo y otros combustibles sólidos por combustibles más limpios como el gas natural y en la optimización de los procesos de combustión en la industria (ELAC, 2006).

Respecto al Distrito Federal, el gobierno no está obligado por los convenios internacionales vigentes a reducir las emisiones que se originan en la Ciudad de México, no obstante, ha establecido políticas públicas y ha desarrollado acciones locales a través de proyectos específicos para contribuir al esfuerzo global por mitigar el cambio climático (ELAC, 2006).

En el marco del Plan Verde, se instrumentó el Programa de Acción Climática de la Ciudad de México (PACCM) 2008-2012, el cual integra las principales acciones que se realizan en la Ciudad para reducir las emisiones de GEI (inventario de emisiones GEI, 2010).

Algunos de los programas implementados incluyen algunas medidas para el ahorro y el uso eficiente de los recursos naturales; para la regulación y el uso eficiente de equipos; para la sustitución de combustibles y la promoción de combustibles alternos; para la utilización de nuevas tecnologías y fuentes renovables de energía; el desarrollo de acciones en el sector forestal para la captura de carbono y prácticas más eficientes que impactan los sectores con mayor contribución de emisiones. Los proyectos representativos para el sector industrial son: la reconversión energética en la industria, y la promoción del uso de energía solar en sustitución de combustibles fósiles.

### **2.7.1 Mitigación de emisiones en el sector industrial.**

Las opciones de mitigación planteadas por el gobierno del Distrito Federal para el sector industrial son:

1. Establecimiento de políticas energéticas menos contaminantes, desarrollo de programas de gestión ambiental de carácter voluntario que permitan una mejora continua del desempeño de las empresas y en beneficio de la sociedad en su conjunto.
2. Desarrollo de normatividad que promueva el uso de combustibles limpios, la eficiencia energética e imponga valores máximos de emisiones, sin comprometer los objetivos de desarrollo económico y generación de empleo en la Ciudad de México. De forma paralela se deberán realizar auditorías ambientales y se podrán otorgar estímulos o certificados de desempeño ambiental a las industrias limpias.
3. Eficiencia energética, cogeneración y enfoque preventivo que minimice la emisión de contaminantes y ahorre energía y recursos.
4. Introducción y aplicación de tecnologías limpias, por ejemplo para la sustitución de combustibles y el mejoramiento de procesos. Promoción de los beneficios que las industrias pueden obtener al utilizar dichas tecnologías.
5. Para las industrias energéticas y de generación de energía eléctrica, una opción de mitigación es la generación de energía eléctrica, a pequeña escala, a través del uso de biogás (metano) proveniente de rellenos sanitarios.
6. Disminución en el consumo de materiales a través, por ejemplo, de mayor eficiencia en su utilización (reciclaje, diseño más eficiente de los productos y sustitución de materiales). (ELAC, 2006)

**Recomendaciones:**

Debido a que el consumo de combustibles fósiles y electricidad es el principal generador de GEI, es indispensable instrumentar estrategias y acciones para reducir la dependencia a estos energéticos, además de promover el uso de fuentes alternas de energía.

**2.7.2 Estrategia Local de Acción Climática (ELAC).**

Como parte de las acciones que ha tomado el Distrito Federal, para hacer frente al problema del calentamiento global, en 2006 se presentó la Estrategia Local de Acción Climática (ELAC), que se constituyó como una herramienta importante

para la toma de decisiones en la aplicación de acciones que reduzcan emisiones de contaminantes globales a la atmósfera.

El ELAC plantea acciones innovadoras, tanto en el ámbito de competencia de la Secretaría del Medio Ambiente, como de otras dependencias del GDF. En el caso del PROAIRE 2002-2010, las principales acciones enmarcadas en una estrategia de acción local en materia de cambio climático son la sustitución de combustibles por aquellos con menor contenido de carbono; la promoción del uso de fuentes renovables de energía y las medidas de eficiencia y conservación de energía fósil. Entre las acciones propias del ELAC está el ahorro en el consumo de energía eléctrica que, si bien no representan una reducción significativa de las emisiones locales porque las centrales generadoras se encuentran en su mayoría fuera del territorio del Distrito Federal, sí disminuye las emisiones nacionales de GEI.

El objetivo de la ELAC es reducir las emisiones de los gases de efecto invernadero en el Distrito Federal, a través del establecimiento de un marco institucional que promueva y opere medidas para el ahorro y uso eficiente de los recursos naturales; la regulación y el uso eficiente de equipos; la sustitución de combustibles de mayor uso y la promoción de combustibles alternos y de las fuentes renovables de energía; y el desarrollo de acciones en el sector forestal para la captación de carbono.

#### **2.7.2.1 Proyectos propuestos (ELAC).**

El Gobierno del Distrito Federal, a través de la Secretaría del Medio Ambiente ha implementado los siguientes proyectos con el fin de reducir las emisiones de GEI.

##### **-Promover y desarrollar instrumentos económicos de fomento ambiental para los establecimientos industriales y de servicios en la ZMVM.**

Implantar instrumentos económicos que promuevan un mejoramiento del desempeño ambiental en la industria y en los servicios, que fortalezcan la autorregulación ambiental con base en el principio de “el que contamina paga.



Las acciones pueden conducir tanto a un mejoramiento de la cultura ambiental en los establecimientos industriales y de servicios, como a una mayor certidumbre en la operación de éstos.

**Actores involucrados.** SMA y SEDECO del GDF, Secretarías de Ecología y de Desarrollo económico del GEM. SEMARNAT, INE, y Secretaría de Economía del Gobierno Federal e instituciones financieras.

**Periodo de ejecución.** De 2001 a 2010.

#### **-Instrumentación de programas de producción más limpia.**

El objetivo del programa es incidir en la reducción de emisiones contaminantes del aire mediante la aplicación y programas de producción más limpia en la industria de la ZMVM.

**Actores involucrados.** SMARNAT, SMA, SEDECO, SEGEM, SHCP, Agencias de cooperación técnica, Centro Mexicano para la Producción Más Limpia, y asociaciones y cámaras de industriales.

**Periodo de ejecución.** De 2002 a 2010.

#### **-Incentivo solar para la industria.**

El objetivo es inducir en los establecimientos industriales el uso de tecnología solar, que contribuya a disminuir las emisiones de contaminantes en el sector.

**Actores involucrados.** SEMARNAT, SMA, SHCP.

**Periodo de ejecución.** De 2002 a 2010.

#### **-Reconversión energética en la industria.**

El objetivo del programa es reducir las emisiones asociadas a equipos de combustión mediante la promoción de la sustitución de combustibles líquidos por gaseosos y la aplicación de otros mecanismos de reconversión tecnológica. Diversos organismos e instituciones ambientales han realizado estudios que muestran que la sustitución de los combustibles por gas natural tendrá efectos benéficos en la calidad del aire dado que las emisiones se reducirían considerablemente.

La reconversión significaría una reducción en la emisión anual de contaminantes a la atmósfera de 1,015 toneladas de NO<sub>x</sub>; 4,190 toneladas de SO<sub>2</sub> y 8 toneladas de PM<sub>10</sub>

**Actores involucrados.** SMA, SEGEM, SEMARNAT, SENER.

**Periodo de ejecución.** De 2002 a 2010.

## **2.8 Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en el Distrito Federal.**

Los tres principales GEI de origen antropogénico son el bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>) y el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O).

Por su capacidad para retener radiación infrarroja y por lo tanto para potenciar el efecto invernadero en la atmósfera, un gramo de metano equivale a 21 gramos de bióxido de carbono en una escala de tiempo de 100 años, mientras que un gramo de óxido nitroso equivale a 310 gramos de bióxido de carbono. Estas diferencias se deben a sus propiedades moleculares y al tiempo promedio que permanecen en la atmósfera antes de ser absorbidos por los ecosistemas.

A la suma ponderada de estos tres GEI se le llama bióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub> equivalente) y permite comparar fuentes con emisiones de gases diferentes. Se le llama CO<sub>2</sub> equivalente porque el CH<sub>4</sub> y el N<sub>2</sub>O se calculan en su equivalente de CO<sub>2</sub> de acuerdo con el potencial de calentamiento de estos gases (ELAC,2006).

Durante el año 2010. El Distrito Federal emitió 36 Mton de CO<sub>2</sub>, lo que representa aproximadamente 60% de las emisiones totales de la ZMVM. Esta cantidad incluye además de las emisiones generadas en del Distrito Federal, las que se emiten fuera del área de estudio por la generación de energía eléctrica, así como las emisiones debidas a la disposición final de la basura en el relleno sanitario del Borde Poniente (SMADF, 2012).

**Tabla 2.1.** Emisiones totales de Gases de Efecto Invernadero, Distrito Federal-2010.

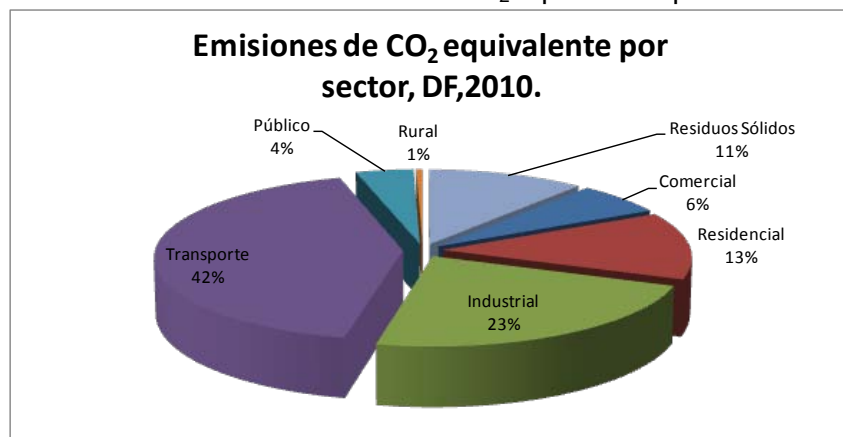
Sector	Emisiones		
	[t CO <sub>2</sub> -eq]	[%]	
<b>Gobierno local</b>	Edificios	167,545	0.5
	Instalaciones	547,609	1.5
	Transporte	2,789,037	7.7
	Residuos	6,264,460	17.4
	Otras emisiones	21	N/S
	<b>Total Gobierno</b>	<b>9,768,672</b>	<b>27.1</b>
<b>Comunidad</b>	Residencial	4,019,200	11.2
	Comercial	1,978,725	5.5
	Industria	6,210,483	17.3
	Transporte	13,593,716	37.8
	Residuos	405,951	1.1
	Otras emisiones	24,756	0.1
	<b>Total Comunidad</b>	<b>26,232,831</b>	<b>72.9</b>
<b>Total (gobierno + comunidad)</b>	<b>36,001,503</b>	<b>100.0</b>	

Fuente: Inventario de GEI-DF 2010, SMADF.

La energía, entendida como el consumo de combustibles incluidos los destinados a la generación de electricidad, es la principal fuente de emisiones de GEI en el Distrito Federal. Mientras que el consumo de electricidad es responsable de la emisión del 30.24% del total de las emisiones de GEI, el uso de combustibles lo es del 58.49%.

Las principales fuentes de emisión de GEI en el Distrito Federal, fueron el sector transporte (42%), el industrial (23%), el residencial (16%) y residuos sólidos (11%).

**Gráfica 2.16.** Emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente por sector



Fuente: Elaboración propia con información del ELACC, proyecciones escenario medio, año base 2000.

### 2.8.1 Emisiones CO<sub>2</sub>-equiv en la manufactura.

De acuerdo al *Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México Gases de Efecto Invernadero y Carbono Negro 2012* (SMADF, 2010), el sector industrial<sup>4</sup> emitió un total de 2,215,153 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente.

**Tabla 2.2** Emisiones de GEI del sector industrial, D.F. 2010.

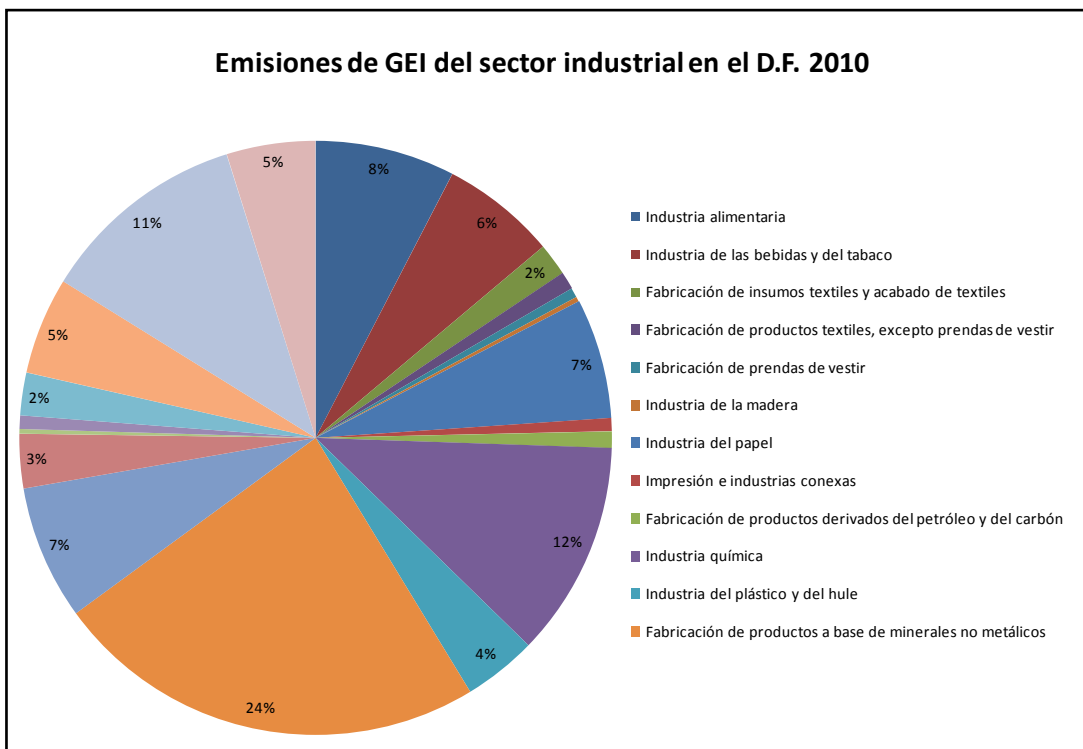
Sector	[t CO <sub>2</sub> -eq/año]
Industria alimentaria	168,756
Industria de las bebidas y del tabaco	138,751
Fabricación de insumos textiles y acabado de textiles	38,654
Fabricación de productos textiles, excepto prendas de vestir	21,447
Fabricación de prendas de vestir	11,649
Industria de la madera	5,797
Industria del papel	144,931
Impresión e industrias conexas	15,815
Fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón	20,030
Industria química	260,160
Industria del plástico y del hule	88,923
Fabricación de productos a base de minerales no metálicos	523,878
Industrias metálicas básicas	161,974
Fabricación de productos metálicos	65,572
Fabricación de maquinaria y equipo	5,607
Fabricación de accesorios, aparatos eléctricos y equipo de generación de energía eléctrica	16,270
Fabricación de equipo de transporte	51,626
Fabricación de muebles, colchones y persianas	117,032
Otras industrias manufactureras	251,078
Generación de energía eléctrica	107,203
<b>Total</b>	<b>2,215,153</b>

Fuente: Inventario de Emisiones de la ZMVM, GEI 2010.

El sector que más aportó en la emisión de GEI fue la industria de fabricación de productos a base de minerales no metálicos, con un 24% de las emisiones totales. Los otros dos sectores que tuvieron emisiones significativas fueron el sector de la industria química y otras industrias manufactureras, con un 12 y 11 por ciento respectivamente.

<sup>4</sup> En el inventario se incluyeron 4,857 industrias que han presentado su Licencia Ambiental Única (LAU) a las autoridades ambientales.

**Gráfica 2.17.** Emisiones de GEI del sector industrial en el D.F, 2010



Fuente: Inventario de Emisiones de la ZMVM, GEI 2010.

### 3.1 Descripción de la información.

La presente investigación estudia el caso de la emisión de contaminantes para el total de la economía del Distrito Federal y para el total de la Industria Manufacturera en el Distrito Federal en el periodo de 2000 a 2010. Se analizan tres contaminantes criterio: óxido de nitrógeno (NOx), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y monóxido de carbono (CO). También se analizan los de gases de efecto invernadero agrupadas en las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente.

#### 3.1.1 Datos económicos

La fuente de información del PIB fue el Sistema de Cuentas Nacional, PIB por entidad federativa 1999-2004, 2003-2007 y 2007-2010. Debido al cambio en la metodología de cálculo del PIB y el cambio de año base que pasó de 1993=100 a 2003=100, fue necesario estimar el PIB real para el periodo 2000-2010, con año base 2003=100.

Para el cálculo del PIB real per cápita, se tomó en cuenta la población del Distrito Federal publicada en los Censos de Población y Vivienda 2000, 2005 y 2010, posteriormente se realizó una estimación de la población a mitad de año, para obtener datos de la población anual en el periodo 2000-2010.

**Cuadro 3.1a** Índice de precios, Distrito Federal

Índice de precios			
Año	1993=100	2003=100	
2000	3.4226	0.7748172	
2001	3.6332	0.82249338	
2002	4.0654	0.92033595	
2003	4.4173	1	1
2004	472.03	1.096918544	1.09691854
2005		1.130587419	1.13058742
2006		1.187097324	1.18709732
2007		1.242304797	1.2423048
2008		1.316716842	1.31671684
2009		1.387481408	1.38748141
2010		1.426009904	1.4260099

**Cuadro 3.1b** PIB real y per cápita, Distrito Federal 200-2010

PIB precios corrientes		PIB real	Población	PIB real per cápita
Año	Dato			
2000	1,121,855,818	1,447,897,418.59	8,612,943	168,107.16
2001	1,176,371,821	1,430,250,810.55	8,633,251	165,667.69
2002	1,331,089,413	1,446,308,177.31	8,653,607	167,133.57
2003	1,325,151,578	1,325,151,578.00	8,674,010	152,772.65
2004	1,500,899,253	1,368,286,880.24	8,694,462	157,374.53
2005	1,588,130,518	1,404,695,020.73	8,712,476	161,228.00
2006	1,747,885,579	1,472,402,931.15	8,740,642	168,454.77
2007	1,884,649,771	1,517,059,078.80	8,768,900	173,004.49
2008	2,006,764,758	1,524,067,053.33	8,797,249	173,243.59
2009	2,010,774,918	1,449,226,566.71	8,825,690	164,205.46
2010	2,141,311,730	1,501,610,700.29	8,852,509	169,625.44

Fuente: Elaboración propia, con información del SCN y Censos de Población y Vivienda 2000, 2005 y 2010

**Cuadro 3.2a.** Índice de precios manufacturas, Distrito Federal

Índice de precios				
Año	1993=100		2003=100	
	2000	2.9661		0.85387339
2001	3.1786		0.91504736	
2002	3.318		0.95517748	
2003	3.4737	1	1	
2004	3.6681	1.0777	1.0777	
2005		1.1383	1.1383	
2006		1.2487	1.2487	
2007		1.3151	1.3151	
2008		1.3681	1.3681	
2009		1.4458	1.4458	
2010		1.5403	1.5403	

**Cuadro 3.2b.** PIB real manufacturas, Distrito Federal

PIB precios corrientes		PIB real
Año	Dato	
2000	175,141,308	205,113,907.69
2001	175,130,760	191,389,832.32
2002	183,638,450	192,255,842.00
2003	147,534,873	147,534,873.00
2004	161,922,538	150,248,249.05
2005	178,342,315	156,674,264.25
2006	205,855,148	164,855,568.19
2007	215,939,073	164,199,736.14
2008	221,836,298	162,149,183.54
2009	219,106,924	151,547,187.72
2010	228,720,620	148,490,956.31

Fuente: Elaboración propia, con información del SCN

### 3.1.2 Emisiones contaminantes y consumo energético.

La fuente de información de las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente fue el Anexo 8 “Línea base de emisiones de Gases de Efecto Invernadero y Consumo de Energía del Distrito Federal, Escenario Medio, año base 2000<sup>5</sup>” de la Estrategia Local de Acción Climática de la Ciudad de México (ELACC). Es importante destacar, que a pesar de las limitaciones que puede presentar esta fuente de información, al ser emisiones estimadas a partir del año base 2000, cabe mencionar que es la única fuente de información disponible hasta el momento en donde se presentan emisiones de GEI para el Distrito Federal, con información a partir del año 2000<sup>6</sup>.

La información sobre las emisiones de contaminantes criterio fueron los inventarios de emisiones publicados por la Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal. La publicación de los inventarios se hace de forma bianual, por lo

<sup>5</sup> En este escenario medio, se considera un crecimiento del PIB del 1.5% anual respecto al 2000, y un crecimiento en las emisiones de GEI de un 28% respecto al año 2000.

<sup>6</sup> Para mayor información acerca de la metodología de estimación de las emisiones industriales de CO<sub>2</sub> equivalente en el Distrito Federal, consultar la *Estrategia Local de Acción Climática de la Ciudad de México*, página 190.

tanto, fue necesario realizar una desagregación temporal de la información<sup>7</sup>, para tener los datos disponibles en el periodo 2000-2010.

Finalmente, los datos de consumo energético del Distrito Federal y de las industrias manufactureras fueron obtenidos del Anexo 8 de la Estrategia Local de Acción Climática de la Ciudad de México (ELACC). Los datos son presentados en pentajoules (PJ).

### **3.2 Modelo econométrico.**

Se analiza la relación entre el crecimiento económico entre el crecimiento económico y la contaminación atmosférica en el Distrito Federal, tanto para el total de la economía del Distrito Federal, como para la Industria Manufacturera, en el periodo 2000-2010. El estudio abarca ese periodo debido a que es el único periodo para el que se tiene información completa tanto de las emisiones, el consumo energético y el PIB<sup>8</sup>.

#### **3.2.1 Modelo para las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente y para los contaminantes criterio.**

El primer modelo econométrico aplicado es un modelo de regresión en forma logarítmica<sup>9</sup>, con el fin de probar la posible existencia de una CKA para el Distrito Federal y la Industria Manufacturera:

$$\ln(E_t) = \beta_0 + \beta_1 \ln(Y_t) + \beta_2 \ln(Y_t)^2 + \varepsilon \quad (1)$$

---

<sup>7</sup> Se utilizó el método matemático de Boot y Feibes, en donde se utiliza como insumo las primeras y segundas diferencias de la serie. Para realizar la descomposición se utilizó el programa Ecotrim 1.01.

<sup>8</sup> Todos los cálculos fueron realizados con el paquete estadístico Stata 11.1

<sup>9</sup> Como las series están en funciones logarítmicas, se pueden interpretar los coeficientes como elasticidades: el porcentaje de incremento en la variable independiente podría causar una variación del uno por ciento en la variable dependiente.



donde  $E_t$  son las emisiones contaminantes,  $Y_t$  es el PIB, y  $\varepsilon$  es el término aleatorio de error. En caso de que se cumpla la hipótesis de la CKA para el caso del total de la economía del Distrito Federal o para el caso de la Industria Manufactures, el punto de inflexión se da en:  $\tau = \exp\left(-\frac{\beta_1}{2\beta_2}\right)$

Debido a posibles problemas de cointegración y con el fin de evitar una regresión espuria, se estima el modelo en primeras diferencias:

$$\Delta \ln(E_t) = \beta_0 + \Delta \beta_1 \ln(Y_t) + \Delta \beta_2 \ln(Y_t)^2 + \varepsilon \quad (2)$$

### 3.2.2 Modelo para las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente y consumo energético.

Con el fin de probar la relación entre las emisiones, el crecimiento económico y el consumo energético, se propone la siguiente ecuación en forma reducida<sup>10</sup>:

$$\ln\left(\frac{E_t}{E_{t-1}}\right) = \beta_0 + \beta_1 \ln\left(\frac{Y_t}{Y_{t-1}}\right) + \beta_2 \ln Y_{t-1} + \beta_3 \ln\left(\frac{CE_t}{CE_{t-1}}\right) \quad (3)$$

donde,  $E$  son las emisiones de CO<sub>2equiv</sub>,  $Y$  es el PIB per cápita,  $CE$  es el consumo energético.

Si  $\beta_0$  es significativamente menor que cero, la disminución en las emisiones debido a los cambios tecnológicos y estructurales son constantes a lo largo del periodo analizado, indicando así un “cambio tecnológico exógeno”.

El coeficiente  $\beta_1$  representa la influencia que tiene el crecimiento económico en el nivel de emisiones, entonces, si  $\beta_1 > 0$ , el crecimiento económico tendría una influencia positiva en las emisiones; si el crecimiento económico por sí mismo fomenta políticas ambientales estrictas, podríamos esperar que el coeficiente fuera negativo.

Si el coeficiente  $\beta_2$  toma valores significativamente menores que cero, indicaría que la reducción en la intensidad de uso depende del nivel de ingreso, el cual

<sup>10</sup> El modelo econométrico utilizado en este trabajo está basado en el modelo propuesto por de Bruyn et al (1998).

puede ser un indicador de cambios en los procesos estructurales y de aumentos en los esfuerzo de I&D.

Si  $\beta_3$  es significativamente menor que cero, las reducciones en la intensidad de uso pueden ser explicadas por cambios en los patrones de consumo energético.

### **3.3 Modelo de descomposición.**

Una de las principales críticas que ha recaído en los estudios empíricos que analizan la relación entre el crecimiento económico y la degradación ambiental es que los modelos econométricos empleados son ecuaciones de forma reducida, cuyo polinomio no permite descomponer los efectos agregados entre sus componentes.

Por tal motivo, se ve la necesidad de emplear técnicas de descomposición como un método empírico alternativo que complemente el análisis<sup>11</sup>.

Aplicaremos la técnica de descomposición, en primer lugar a las tasas de crecimiento de las emisiones en el periodo 2000-2010, con la finalidad de detectar el factor dominante durante toda esa etapa, y en segundo lugar, se aplicará a 2 subperiodos.

#### **3.3.1 Descomposición con datos agregados, el enfoque de las eficiencias.**

Este análisis, propuesto por Proops *et al* (1993) descompone la tasa de crecimiento de las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes considerando la actividad económica agregada, es decir, sin tener en cuenta los pesos relativos de los diferentes sectores productivos. El análisis considera la existencia de una relación entre la evolución de las emisiones de CO<sub>2</sub> y otras variables de carácter económico. Para ello, se identifican tres variables que influirían en la evolución temporal de emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente, que son:

---

<sup>11</sup> Las técnicas de descomposición cubren un amplio abanico de métodos de estática comparativa que se resumen en dos grupos principales: los métodos de descomposición estructural (MDE), y los métodos de descomposición basados en índices (MDBI). Los primeros efectúan el análisis de descomposición utilizando datos procedentes de tablas input-output, mientras que los segundos lo hacen con datos sectoriales (Ansuategi, 2004).

- i) El cociente entre las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente y el uso de energía en la economía ( $E$ ), al que representan por  $C/E$ .
- ii) El cociente entre el uso de energía de la economía ( $E$ ) y el PIB ( $Y$ ), que representan por  $E/Y$ .
- iii) El PIB de la economía.

Estas variables se relacionan en la siguiente igualdad:

$$C \equiv \left(\frac{C}{E}\right) \left(\frac{E}{Y}\right) Y \quad (4)$$

Al aplicar logaritmos en ambos lados de la ecuación, se tiene:

$$\ln(C) \equiv \ln\left(\frac{C}{E}\right) + \ln\left(\frac{E}{Y}\right) + \ln(Y) \quad (5)$$

Diferenciando respecto al tiempo se tiene:

$$\frac{d(C)}{C} = \frac{d\frac{C}{E}}{\frac{C}{E}} + \frac{d\frac{E}{Y}}{\frac{E}{Y}} + \frac{dY}{Y} \quad (6)$$

La ecuación (3) representa el ratio de cambio de las emisiones. El cual viene explicado a partir de las variaciones relativas de los tres términos influyentes: el ratio de cambio en la emisión por unidad de consumo energético, el ratio de cambio en el consumo energético por unidad de producción económica y la tasa de cambio en la producción.

La ecuación (3) está en tiempo continuo, por lo que la aproximan a tiempo discreto por la diferencia, considerando que:

$$\dot{x} \equiv \frac{dx}{dt} \approx \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (7)$$

Si se supone que  $\Delta t = 1$ , se tiene:

$$\frac{\dot{x}}{x} \approx \frac{\Delta x}{x} \quad (8)$$

Al final se tiene la siguiente ecuación:

$$\frac{\Delta C}{C} \approx \frac{\Delta(C/E)}{(C/E)} + \frac{\Delta(E/Y)}{(E/Y)} + \frac{\Delta Y}{Y} \quad (9)$$

Al tratarse de una aproximación discreta, el resultado de ambos miembros no coincidirá y siempre quedará un resto, el cuál será más importante cuanto mayor sea el periodo de tiempo considerado, sin embargo, dado que se trata de una forma lineal simple, se puede asumir que el residuo es “conjuntamente creado e igualmente distribuido”, lo que implicaría que la magnitud relativa de la contribución de los diferentes factores sobre el aumento de las emisiones no estaría sesgada por el residuo, por lo tanto, los resultados pueden interpretarse correctamente (Díaz, 2007).

Según la ecuación la variación de las emisiones de CO<sub>2</sub> estaría influida por las siguientes variables.

- i) La variación del cociente C/E, *ceteris paribus* estaría recogiendo la modificación de la mezcla de combustibles utilizada, relacionado con la eficiencia de las emisiones.
- ii) La variación del cociente E/Y, *ceteris paribus*, esto es, la modificación de los requerimientos energéticos para producir una unidad de PIB. La variación del ratio E/Y podría producirse por un aumento en la eficiencia en el uso de la energía o porque se modifica la estructura productiva hacia sectores con requerimientos energéticos menores. La variación de Y, *ceteris paribus*, es la variación del Producto Interno Bruto de la economía.

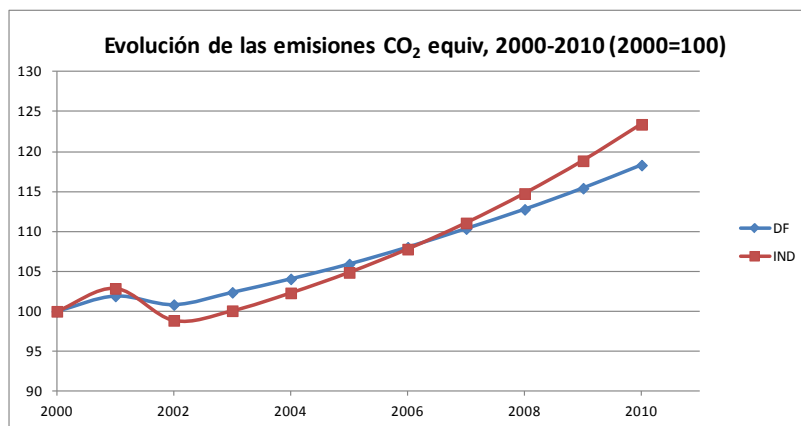
Si se tienen en cuenta los tres factores escala, composición y tecnológico, se podría decir que tomando el miembro derecho de la ecuación, el primer término recogería parte del efecto tecnológico; el segundo término recogería el resto del efecto tecnológico (el relacionado con la mejora en la eficiencia en el uso de los recursos) y el efecto composición; el tercer término recogería el efecto escala.

Aunque Proops propone esta descomposición para el CO<sub>2</sub>, puede ser utilizada para cualquier contaminante relacionado con el uso de energía (Díaz, 2007).

## 4.1 Análisis gráfico

Un primer análisis de la tendencia de las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente durante el periodo 2000-2010, permite obtener algunas conclusiones sobre el supuesto de que a altos niveles de crecimiento económico se presenta una menor presión ambiental. Como se puede observar en la gráfica, las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente en el Distrito Federal se incrementaron aproximadamente un 19%, mientras que las emisiones de la industria manufacturera se incrementaron casi un 25%.

**Gráfica 4.1.** Evolución de las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente en el Distrito Federal 2000-2010



## 4.2 Resultados modelo econométrico

### 4.2.1 Emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente.

Como se mencionó en el capítulo anterior, se realizó un modelo econométrico, siguiendo la metodología y criterios empleados en la mayoría de los estudios empíricos encontrados en la literatura, con una función de regresión para probar la posible existencia de una CKA para el Distrito Federal y/o la Industria

Manufacturera. Cabe mencionar, que *a priori* esperamos que el modelo de regresión sea no significativo debido a la limitación en el número de variables observables, que en este caso son únicamente diez.

La tabla 4.1 muestra los resultados del modelo de regresión (1) entre las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente y el PIB real para el total de la economía del Distrito Federal:

**Tabla 4.1.** Modelización de las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente para el D.F. (2000-2010).

Source	SS	df	MS			
Model	.01387086	2	.00693543	Number of obs = 11		
Residual	.01903217	8	.002379021	F( 2, 8) = 2.92		
Total	.032903031	10	.003290303	Prob > F = 0.1119		
				R-squared = 0.4216		
				Adj R-squared = 0.2770		
				Root MSE = .04878		
LNC02DF	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
LnPIBDF	-335.2321	332.5766	-1.01	0.343	-1102.155	431.6909
LnPIBDF2	7.970745	7.889046	1.01	0.342	-10.22143	26.16292
_cons	3528.322	3505.078	1.01	0.344	-4554.403	11611.05

El resultado de la modelización, como se esperaba *a priori* resultó ser estadísticamente no significativo, por lo tanto, el modelo no proporciona información válida de la relación que puede tener la calidad ambiental en el Distrito Federal a través de las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente.

Respecto al caso de las Industrias Manufactureras en el Distrito Federal, se realizó el mismo modelo de regresión (1), la tabla 4.2 muestra los resultados obtenidos:

**Tabla 4.2.** Modelización de las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente para las industrias manufactureras. (2000-2010).

Source	SS	df	MS			
Model	.016957047	2	.008478523	Number of obs = 11		
Residual	.03987377	8	.004984221	F( 2, 8) = 1.70		
Total	.056830817	10	.005683082	Prob > F = 0.2423		
				R-squared = 0.2984		
				Adj R-squared = 0.1230		
				Root MSE = .0706		
LnC02	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
LnPIBreal	32.5493	57.21207	0.57	0.585	-99.38196	164.4806
LnPIBreal 2	-1.363474	2.372046	-0.57	0.581	-6.833423	4.106475
_cons	-192.172	344.9491	-0.56	0.593	-987.6261	603.2822

El resultado del modelo, al igual que en el caso del Distrito Federal, resultó no ser estadísticamente significativo, por lo tanto, no se puede establecer una relación válida entre el crecimiento económico del sector manufacturero y sus emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente.

Debido a que una de las principales críticas econométricas de la modelización de la regresión (1) es que no se realizan pruebas de cointegración y, por lo tanto la regresión puede resultar espuria, se realizó un análisis de series de tiempo con el fin de evitar las regresiones espurias.

Se realizaron pruebas de raíz unitaria mediante la prueba de Dickey y Fuller (ADF). La conclusión fue que las series son no estacionarias de orden distinto, por lo tanto, no se puede hacer una correcta estimación de la relación entre los contaminantes y el ingreso; es decir, no es adecuado realizar un modelo de regresión para probar la relación entre el ingreso y la calidad ambiental. Este problema se puede deber principalmente al reducido número de observaciones con las que se cuenta.

Adicionalmente, se realizó una modelización para analizar la relación entre las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes, el consumo energético, y el PIB.

El modelo fue estimado para el patrón de emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente en el Distrito Federal para el periodo de tiempo 2000-2010.

**Tabla 4.3.** Modelo de regresión.

Emisiones	Crecimiento económico ( $\beta_1$ )	Intensidad de uso		Consumo ( $\beta_3$ )	Lag ( $\beta_4$ )	Estadísticos
		Constante ( $\beta_0$ )	Ingreso ( $\beta_2$ )			
CO <sub>2</sub> equiv	1.391 (1.75)***		-0.00323 (-5.28)*	3.17 (8.77)*	-.90 (-4.64)*	$\bar{R}^2=94.10\%$ DW=1.4 hDW(p)=.9618

Se realizaron dos regresiones adicionales con las restricciones de parámetros  $\beta_0 = 0$  y  $\beta_2 = 0$  respectivamente, de estas tres regresiones, se seleccionó el mejor ajuste. Debido a que los residuales de la regresión estaban autocorrelacionados, el modelo se volvió a estimar utilizando el primer lag del crecimiento de las emisiones, representado en el parámetro  $\beta_4$ .



El parámetro  $\beta_1$  que representa el efecto del crecimiento económico en las emisiones es significativo y positivo, lo cual sugiere que el crecimiento económico tiene una influencia positiva en el crecimiento de las emisiones, con aproximadamente un aumento del 1% en el crecimiento económico resultaría en un incremento de 1.3% en las emisiones, si todos los demás factores permanecen constantes.

El parámetro  $\beta_2$  al ser estadísticamente significativo y menor a cero, a pesar de ser muy bajo el valor del coeficiente, indicaría que las reducciones se vuelven más importantes conforme aumenta el ingreso.

El parámetro  $\beta_3$  indica que ante un aumento de 1% en el consumo energético tiene un efecto del 3.17% en el incremento de las emisiones.

#### **4.3. Resultados modelo de descomposición para la emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes.**

En este caso, se realizó una descomposición para los gases de efecto invernadero, el CO<sub>2-equ</sub>, para el periodo 2000-2010 en el Distrito Federal, para el total de la economía y para el sector manufacturero.

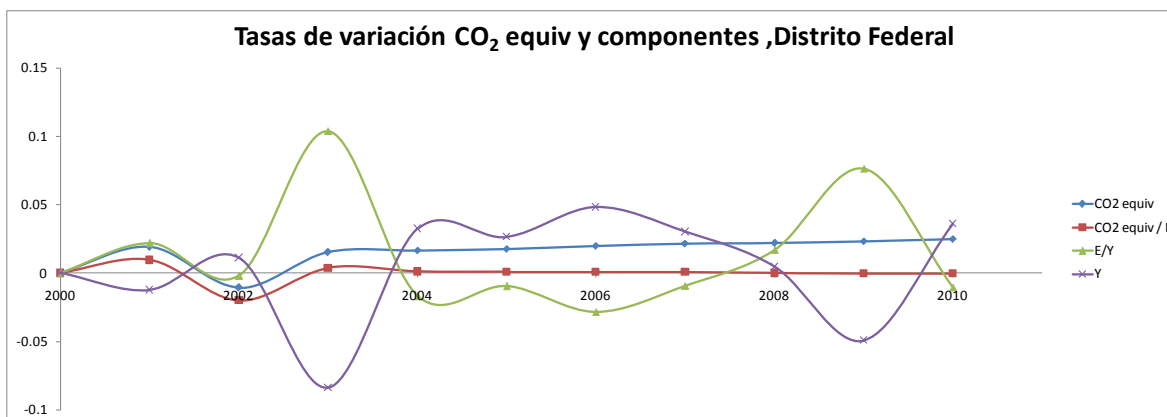
##### **-Datos.**

Para el total de la economía en el Distrito Federal, se utiliza: CO<sub>2-equiv</sub> en Mton;  $Y$ : PIB real;  $E$ : consumo energético en PJ.

Para las industrias, se considera: CO<sub>2-equiv</sub> en Mton emitidas por el sector industrial (total de manufacturas);  $Y$ : PIB real del sector manufacturero;  $E$ : consumo energético en PJ del sector manufacturero.

**-Total de la economía del Distrito Federal:**

**Gráfica 4.2.**



**Tabla 4.4.** Descomposición de la tasa de crecimiento de las emisiones de CO<sub>2</sub> equiv para el periodo 2000-2010 (Total de la economía).

$\Delta\text{CO}_2 \text{ equiv}$	$\Delta(\text{CO}_2 \text{ equiv} / \text{E})$	$\Delta(\text{E}/\text{Y})$	$\Delta\text{Y}$	Resto
1.70	-0.03	1.35	0.36	0.004

La tasa de crecimiento para el total de la economía del Distrito Federal, resulta ser positiva, lo cual indica, como se observa en la gráfica, un incremento considerable en las emisiones.

De los tres efectos analizados, el que tiene un mayor peso en el incremento de las emisiones es el ratio E/Y, relacionado con el efecto composición. Por otro lado, el efecto escala recogido en la tasa de crecimiento del PIB, resulta ser positivo indicando el incremento en las emisiones por unidad de producción. Por otro lado, el único efecto que tiene impactos positivos en la reducción de emisiones resulta ser el ratio de CO<sub>2</sub>-equiv/E, es decir, de está observando una ligera mejora en las emisiones de CO<sub>2</sub>-equiv por consumo de combustibles, es decir, se presenta una eficiencia en el uso de combustibles.

Al realizar el análisis en dos periodos, 2000-2005 y 2005-2010, se observa que la tasa de crecimiento es mayor en el segundo periodo, la tasa de crecimiento en el segundo periodo es casi 93% mayor que en el primer periodo analizado. También podemos observar que el incremento en las emisiones es provocado en mayor

medida por el efecto escala. El efecto tecnológico, recogido en la primera parte de la descomposición, durante el primer periodo, si bien tiene un valor bajo pero negativo, estaría indicando que también se presentó una eficiencia en el consumo de combustibles durante ese periodo, sin embargo dicha eficiencia no se hace presente en el segundo periodo. El segundo término de la descomposición, que recoge parte del efecto tecnológico y el efecto composición, también tiene un efecto positivo en la reducción de emisiones en el primer periodo, es decir, durante el primer periodo, se podría decir que se contó con una eficiencia energética, la cual desaparece en el segundo periodo.

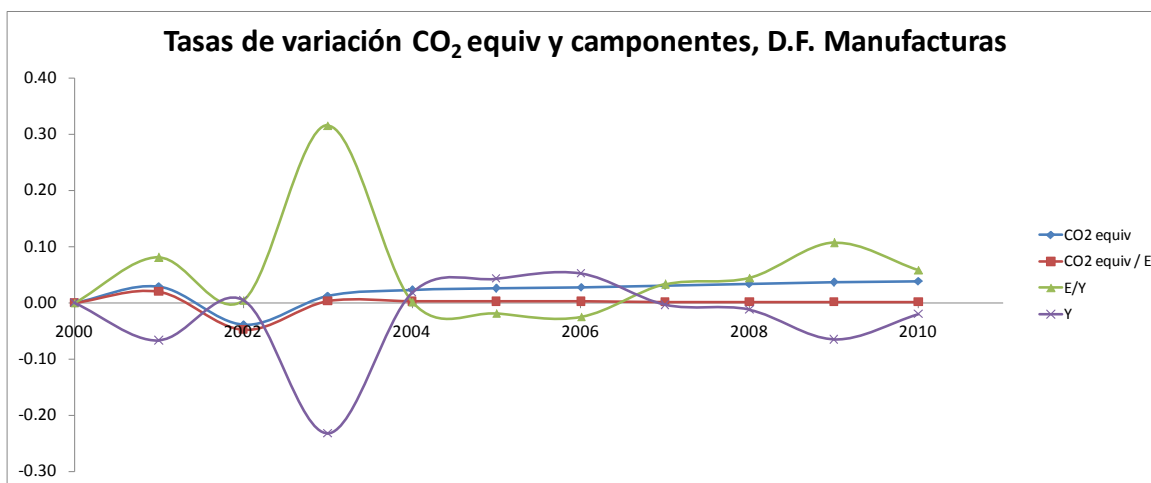
**Tabla 4.5.** Descomposición de emisiones de CO<sub>2</sub> equiv por sub-periodos, Distrito Federal.

TOTAL DE LA ECONOMIA		2000-2005		
$\Delta\text{CO}_2 \text{ equiv}$	$\Delta(\text{CO}_2 \text{ equiv} / E)$	$\Delta(E/Y)$	$\Delta Y$	Resto
1.16	-0.09	-8.02	10.08	-0.809

TOTAL DE LA ECONOMIA		2005-2010		
$\Delta\text{CO}_2 \text{ equiv}$	$\Delta(\text{CO}_2 \text{ equiv} / E)$	$\Delta(E/Y)$	$\Delta Y$	Resto
2.24	0.03	0.85	1.34	0.012

**Gráfica 4.3.** Tasas de variación de CO<sub>2</sub> equiv y componentes, manufacturas.



**Tabla 4.6.** Descomposición de la tasa de crecimiento de las emisiones de CO<sub>2</sub>-equiv para el periodo 2000-2010 (Industrias manufactureras)

$\Delta\text{CO}_2 \text{ equiv}$	$\Delta(\text{CO}_2 \text{ equiv} / E)$	$\Delta(E/Y)$	$\Delta Y$	Resto
2.13	-0.14	5.62	-3.18	-0.18

En el caso de las industrias manufactureras, tampoco se observa una tasa de crecimiento negativa en las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes, a pesar de que se observan dos efectos positivos en la reducción de las emisiones, por un lado, el efecto tecnológico, recogido en el primer término de la descomposición, y el efecto escala. Sin embargo el efecto composición tiene un efecto negativo en las emisiones de contaminantes.

**Tabla 4.7.** Descomposición de emisiones de CO<sub>2</sub> equiv por sub-periodos, Manufacturas.

TOTAL DE LA INDUSTRIA		2000-2005		
$\Delta\text{CO}_2 \text{ equiv}$	$\Delta(\text{CO}_2 \text{ equiv} / E)$	$\Delta(E/Y)$	$\Delta Y$	Resto
0.95	-0.44	7.01	-5.25	-0.374

TOTAL DE LA INDUSTRIA		2005-2010		
$\Delta\text{CO}_2 \text{ equiv}$	$\Delta(\text{CO}_2 \text{ equiv} / E)$	$\Delta(E/Y)$	$\Delta Y$	Resto
3.31	0.17	4.25	-1.07	-0.040

Al analizar las emisiones por periodos, se observa una tasa de crecimiento mayor en el segundo periodo. En el primer periodo el efecto escala y el efecto tecnológico resultan tener una tasa de crecimiento negativo, sin embargo esta tasa de crecimiento no alcanza a compensar el incremento debido al efecto composición. En el segundo periodo, la única tasa de crecimiento negativa se presenta en el efecto escala, sin embargo, ésta no es suficiente para compensar el incremento en las tasas de crecimiento relacionadas con el efecto tecnológico y el efecto composición.

En resumen, a pesar de que se ha observado una reducción significativa en el PIB manufacturero, lo cual se esperaría que tuviera efectos positivos en la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente emitido por el sector manufacturero, esto no ha ocurrido así, principalmente debido a que no se presenta una mejora en la eficiencia energética ni una mejora en el efecto composición. Si bien en el Distrito Federal, se hace más presente el sector servicios y menor una participación manufacturera, este cambio en la composición económica en el Distrito Federal no

tiene un efecto positivo en la reducción de emisiones, entonces, la industrias manufactureras, no cuentan con una eficiencia energética y cada vez producen contaminando más, a pesar de que el PIB manufacturero ha disminuido.

#### 4.4. Resultados, contaminantes criterio industriales.

##### 4.4.1 Modelo econométrico.

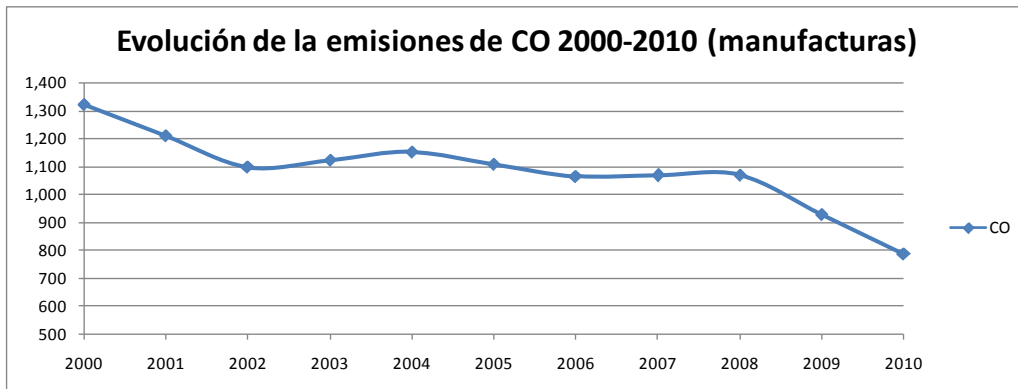
Se realizó una regresión con primeras diferencias, con el fin de evitar regresiones espurias. Los resultados se muestran en la siguiente tabla

	SO2	NOx	CO
Constante	-0.2123 (-1.77)	-0.05 (-.87)	-0.0593 (-2.27)
ln PIB	-199.04 (-.62)	-54.589 (-0.348)	39.8331 (.58)
ln (PIB) <sup>2</sup>	8.279 -0.6	2.26 -0.35	-1.66 (-.58)
R <sup>2</sup>	0.0558	0.0255	0.0647
Durbin Watson	1.6552	1.094	0.8964
Punto inflexión	N/A	N/A	162,417

Punto de inflexión en pesos 2003=100

Si bien, en ninguno de los casos resultó ser estadísticamente significativo, por lo tanto, no se puede establecer una relación entre las emisiones de contaminantes criterio y PIB manufacturero, resulta significativo destacar el caso de las emisiones de CO, pues el único de los contaminantes en el que se podría suponer que se da una relación de CKA, con un punto de inflexión en \$162, 417 (pesos del 2003), punto que se encuentra alrededor del año del 2008. Si este resultado se revisa junto con un análisis gráfico de las emisiones de CO del sector manufacturero, se puede observar que es a partir del año 2008 en donde comienzan a reducirse de manera significativa las emisiones de este contaminante.

**Gráfica 4.4.** Evolución de las emisiones de CO 2000-2010 (manufacturas)



Este resultado, advirtiendo que no es estadísticamente significativo, podría darnos la idea, que al menos en lo que respecta a las emisiones de CO, se está en la fase de CKA, es decir, en una disminución de emisiones debido a un cambio tecnológico.

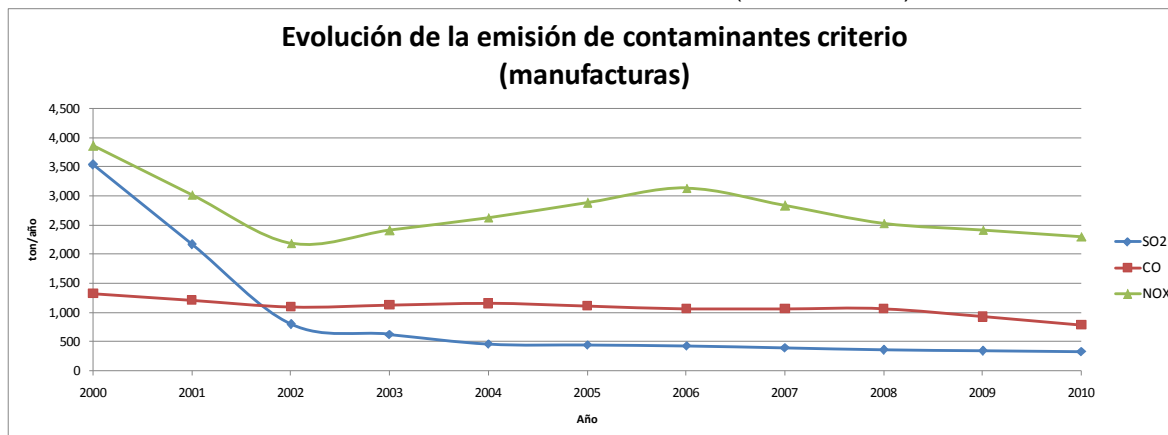
#### **4.4.2 Resultados del modelo de descomposición.**

Adicionalmente, se realizó el análisis de descomposición de tres de los principales contaminantes criterio:  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ , y CO, emitidos por la industria manufacturera.

En el caso de las emisiones de  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$  y CO de la industria manufacturera, en los tres contaminantes se observa una drástica reducción en las emisiones, siendo la más significativa el caso de las emisiones de  $\text{SO}_2$ .

El factor que más ha influido en la reducción de las emisiones es la variación C/E, es decir, el factor que recoge parte del efecto tecnológico relacionado con una eficiencia en las emisiones debido a la mezcla de combustibles utilizados. Se podría decir que en gran parte, este avance en la reducción de emisiones responde a las políticas implementadas de cambio de combustibles líquidos a gas natural en las industrias, sobre todo en lo que respecta al  $\text{SO}_2$  al ser el contaminante que mejor responde a las políticas ambientales.

**Gráfica 4.5.** Evolución de la emisión de contaminantes criterio (manufacturas), 2000-2010



Por otro lado, al analizar la variación en el cociente E/Y, se observa que en ninguno de los contaminantes influye en la reducción de emisiones. Este resultado puede deberse ya sea a una pérdida de eficiencia energética, este resultado va de la mano con la contracción en el sector manufacturero en los últimos años, lo que estaría señalando una pérdida significativa de eficiencia energética.

Periodo	$\Delta\text{NOx}$	$\Delta(\text{NOx} / \text{E})$	$\Delta(\text{E}/\text{Y})$	$\Delta\text{Y}$	Resto
2000-2010	-5.053	-7.157	5.623	-3.179	-0.341
2000-2005	-5.674	-6.977	7.014	-5.245	-0.466
2005-2010	-4.428	-7.336	4.251	-1.067	-0.276
Periodo	$\Delta\text{SO2}$	$\Delta(\text{SO2} / \text{E})$	$\Delta(\text{E}/\text{Y})$	$\Delta\text{Y}$	Resto
2000-2010	-21.239	-22.984	5.623	-3.179	-0.700
2000-2005	-34.002	-34.914	7.014	-5.245	-0.857
2005-2010	-6.007	-8.867	4.251	-1.067	-0.324
Periodo	$\Delta\text{CO}$	$\Delta(\text{CO} / \text{E})$	$\Delta(\text{E}/\text{Y})$	$\Delta\text{Y}$	Resto
2000-2010	-5.042	-7.146	5.623	-3.179	-0.341
2000-2005	-3.479	-4.812	7.014	-5.245	-0.435
2005-2010	-6.581	-9.424	4.251	-1.067	-0.341

El objetivo central del trabajo de investigación ha sido estudiar la tendencia y evolución de la contaminación atmosférica, principalmente por las emisiones del sector manufacturero en el Distrito Federal. Las emisiones contaminantes que se consideraron para la investigación fueron las emisiones de los gases de efecto invernadero, agrupados en las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente, y 3 contaminantes criterio: NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, y CO. Se puso énfasis en analizar los efectos escala, composición y tecnológicos, con el objetivo principal de probar las principales hipótesis planteadas, mediante técnicas econométricas y de descomposición.

A falta de trabajos empíricos comparables y de una teoría sólida que ayude a explicar el patrón de comportamiento de los contaminantes atmosféricos, las conclusiones presentadas se consideran únicamente para el caso y temporalidad de estudio, y a fin de evitar interpretaciones profundas, se evitan generalidades.

-Existen diversas limitaciones técnicas que frenan en cierta medida la elaboración de estudios centrados en el crecimiento económico de la Ciudad de México y su relación con el medioambiente. En un principio, el interés de investigación era analizar la situación de la ZMVM, lo cual no fue posible debido a la falta de información económica, particularmente el PIB, para ese nivel de agregación. Otra causa de limitación importante es la escasa información de emisiones contaminantes periodos largos, pues al ser las técnicas econométricas las herramientas más utilizadas de análisis, el requerimiento en la temporalidad de información es amplio, de un mínimo aproximado de 20 años.

-La metodología empleada en el presente trabajo, con sus limitaciones mencionadas, sin bien no permitió realizar buen ajuste econométrico para comprobar la hipótesis de la Curva de Kuznets Ambiental, permitió descomponer de manera descriptiva los efectos escala, composición y tecnológicos, y obtener las siguientes conclusiones para la Ciudad de México:

-La degradación ambiental ha aumentado junto con el crecimiento económico.



A pesar de las políticas de abatimiento implementadas con el fin de reducir las emisiones CO<sub>2</sub> equivalentes no se observa ninguna disminución en sus emisiones durante el periodo analizado este resultado es tanto para el total de la economía del Distrito Federal, como para el caso de la industrias manufactureras.

Al analizar los factores por separado, se puede concluir que: i) el efecto tecnológico contribuye a reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>, es decir, se observa una eficiencia en la mezcla de combustibles utilizadas ; ii) el cambio estructural no ha contribuido a reducir, sino al contrario, ha aumentado el nivel de emisiones de CO<sub>2</sub>; iii) la escala de la economía manufacturera a estado decreciendo en los últimos años, lo cual ha contribuido a una ligera disminución en las emisiones de CO<sub>2</sub>, sin embargo estas reducciones no son significativas a escala general, sobre todo por la pérdida de eficiencia energética en el sector manufacturero; iv) respecto a la importancia relativa de cada uno de los factores, en la emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente no se encontraron cambios significativos al analizar la evolución de las emisiones en los sub periodos 2000-2005, 2005-2010, pues en ninguno de los periodos se observa una disminución de emisiones contaminantes, en ambos periodos es la contracción en la industria manufacturera, reflejado en el efecto escala, el único factor que presenta una tasa de crecimiento negativa, sin embargo, ésta no es lo suficientemente significativa para compensar el incremento en las tasas de crecimiento relacionadas con el efecto tecnológico y composición, las cuales tienen un impacto negativo en la calidad ambiental.

Este panorama es un poco diferente al analizar las emisiones de contaminantes criterio en la industria manufacturera, pues es el efecto tecnológico el que más influencia tiene en la reducción de emisiones. Sin embargo pierde importancia relativa en el segundo periodo en el caso de las emisiones de SO<sub>2</sub>, e incrementa su importancia relativa en el caso de las emisiones de NO<sub>x</sub> y CO. En este caso, se observa que tiene una mayor importancia relativa el efecto tecnológico que el escala, esto se observa particularmente en el caso de las emisiones de SO<sub>2</sub> y CO.

En el caso de las emisiones de NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> y CO de la industria manufacturera se observa una reducción significativa en las emisiones, siendo los efectos escala y tecnológico los más significativos. Con el efecto tecnológico, se observa que se ha presentado una reducción debido a una eficiencia energética, es decir, en las emisiones por unidad de energético consumida. Por otro lado, la contracción en la producción del sector manufacturero también se ve reflejada en una reducción en las emisiones.

De acuerdo a estos resultados, una vía posible para reducir las emisiones contaminantes sería una combinación de estrategias y programas ambientales que incentiven a las industrias a adoptar tecnologías más limpias y procesos productivos más eficientes.

## Bibliografía.

- Aldy, Joseph. <<An Environmental Kuznets Curve Analysis of U.S. State-Level Carbon Dioxide Emissions>>, 2004
- Andreoni, Valeria y Duriavig, Marco. <<An Environmental Kuznets Curve of Italy: A scale approach for sustainable de-growth>> *First International conference on Economic De growth for Ecological Sustainability and Social Equity* (2008):166-173.
- Ansuategi, Alberto y Arto, Iñaki. <<La evolución de la intensidad energética de la industria vasca entre 1982 y 2001: un análisis de descomposición>>. *Economía Agraria y Recursos Naturales*, Vol. 4, 7. (2004): 63-91.
- Bouvier, Rachel. <<Air Pollution and Per Capita Income: A Disaggregation of the Effects of Scale, Sectoral Composition, and Technological Change>> *Political Economic Research Institute, Working Paper Series N0.84* (2004).
- Bravo, H.A y Torres, R.J. <<The usefulness of air quality monitoring and air quality impact studies before the introduction of reformulated gasolines in developing countries. Mexico City, a real case study>> *Atmospheric Environment* 34(2000):499-506
- Bruvoll, Annegrete y Medin, Hege. <<Factors Behind the Environmental Kuznets Curve. A Decomposition of the Changes in Air Pollution>> *Environmental and Resource Economics* 24: 27-48, 2003.
- Capó, Javier. <<Curva de Kuznets Ambiental: Evidencia para Europa>> *Centre de Recerca Economica (CRE)* 2009/3:1-15.
- Ciudad de México: respirando el futuro: evaluación del Programa para Mejorar la Calidad del Aire en la Zona Metropolitana del Valle de México, 1995-2000. Centro de Estudios del Sector Privado para el Desarrollo Sustentable, Consejo Coordinador Empresarial; Cámara Nacional de México: Centro de Estudios del Sector Privado para el Desarrollo Sustentable: Cámara Nacional de la Industria de la Transformación, 1998
- Dasgupta, Susmita; Laplante B, Wang H y David W. <<Confronting the Environmental Kuznets Curve>>. *The Journal of Economic Perspectives*. Vol.16, No.1 (2002):147-168.
- De Bruyn, Sander. <<Explaining the environmental Kuznets curve: structural change and international agreements in reducing sulphur emissions>> *Environmental and Development Economics*, 2(1997):485-503.
- De Bruyn, Berg, y Opschoor. <<Economic growth and emissions: reconsidering the empirical basis of environmental Kuznets curves>> *Ecological Economics* 25 (1998): 161-175.
- De Castro, Luis Miguel. <<Crecimiento económico y medio ambiente>>*Economía y Medio Ambiente*, No. 847 (2008): 93-110.
- Diao, X.D; Zeng, S.X; Tam, C.M y Tam, Vivian. << EKC analysis for studying economic growth and environmental quality: a case study in China>> *Journal of Cleaner Production* (2008):1-8.
- Díaz Vázquez, María (2007). Estudio empírico de las causas subyacentes en la hipótesis de la curva de Kuznets Ambiental: Influencia de los factores exógenos y análisis de descomposición, Tesis doctoral, España: Universidad de Santiago de Compostela.
- Díaz-Vazquez, M. Rosario y Cancelo, M.Teresa y. <<Estimación econométrica por países del modelo de la curva de Kuznets ambiental para la emisiones de CO<sub>2</sub>>> *XII Reunión de economía mundial, Santiago de Compostela*, 2010:1-25.
- Garza, Gustavo. <<Uncontrolled air pollution in México City>> *Cities*, Vol. 13, No.15, (1996):315-328.
- Gitli, Eduardo, y Hernández, Greivin (2002). *La existencia de la Curva de Kuznets Ambiental (CKA) y su impacto sobre la negociaciones internacionales*, Centro Internacional de Política Económica, Serie Documento de Trabajo 009-2002, Costa Rica.

- Gómez-López, Claudia; Barrón, Karla y Moreno, Luis. <<Crecimiento económico y medio ambiente en México>> *El trimestre económico*, Vol.78, No.3 (2011): 547-582.
- Grossman, Gene y Krueger, Alan. <<Economic Growth and the Environment>>. *The Quarterly Journal of Economics*, Vol.110, No.2 (1995):353-377.
- Gürlük, Serkan. << Economic growth, industrial pollution and human development in the Mediterranean Region>> *Ecological Economics* 68(2009):2327-2335.
- Hardie, Wayne; Thayer, Gary; Barrera-Roldán, Adrián. <<Development of a methodology for evaluating air pollution options for improving the air quality in Mexico City>>. *The Science of the Environment*, 169 (1995):195-301.
- He Jie y Wang Hua. <<Economic Structure, Development Policy and Environmental Quality: An Empirical Analysis of the Environmental Kuznets Curves with Chinese Municipal Data>>. Environment and Energy Team, Development Research Group, Policy Research Working Paper 5756 (2011):1-23.
- Hettige Hemamala, Mani Muthukumara y Wheeler David. <<Industrial pollution in economic development: the environmental Kuznets curve revisited>> *Journal of Development Economics* Vol. 62 (2000):445-476
- INEGI, Censos de población y vivienda, 1995, 2000, 2005, 2010.
- INEGI, Sistema de cuentas nacionales de México. Producto interno bruto por entidad federativa.
- INEGI, Información Estadística. Censos Económicos, 2009.
- Kijima, Masaaki; Nishide, Katsumasa y Ohyama, Atsuyuki. <<Economic models for the environmental Kuznets curve: A survey>> *Journal of Economic Dynamics & Control*, 34(2010):1187-1201.
- Lezama, José Luis. <<El problema del aire en el valle de México: crítica a la política gubernamental 1979-1996>> *Estudios Demográficos y Urbanos*, Vol.12, No. 3 (36)(Sep-Dec., 1997):427:472.
- Lezama, José Luis. <<El medio ambiente como construcción social: Reflexiones sobre la contaminación del aire en la Ciudad de México>>. *Estudios Sociológicos*, Vol. 19, No. 56 (2001): 325-338.
- López, Ramon. <<The Environment as a Factor of Production: The Effects of Economic Growth and Trade Liberalization>> *Journal of Environmental Economics and Management*, 27 (1994):163-184.
- Mayer, Helmut. <<Air pollution in cities>>. *Atmospheric Environment*, 33 (1999): 4029-4037.
- Molina, Mario y Molina, Luisa. *La calidad del aire en la mega ciudad de México: un enfoque integral*. México, D.F. Fondo de Cultura Económica, 2005.
- Müller-Fürstenberg, Georg y Wagner, Martin. <<Exploring the environmental Kuznets Hypothesis: Theoretical and econometric problems>> *Ecological Economics*, 62(2007):648-660.
- Panayotou Theodore. <<Economic Growth and the Environment>> Spring Seminar of the United Nations Economics Commission for Europe, Geneva, March 3, 2003.
- Quadri de la Torre, Gabriel. *La ciudad de México y la contaminación atmosférica México*, 1994.
- Raga, G.B y Moyne. Le.L. << On the nature of air pollution dynamics in Mexico City. I. Nonlinear analysis>>. *Atmospheric Environment*. Vol.. 30, No. 23, (1996): 3987-3993.
- Raga, G.B; Castro T; Baumgardner. <<The impact of megacity pollution on local climate and implications for the regional environment: Mexico City>>. *Atmospheric Environment*, 35 (2001): 1805-1811.
- Roca,Jordi; Padilla, Emilio; Farré, Mariona y Galleto, Vittorio. <<Economic growth and atmospheric pollution in Spain: discussing the environmental Kuznets curve hypothesis>>. *Ecological Economics*, Volume 39, No. 1 (2001):85-99.

- Roca, Jordi y Padilla, Emilio. <<Emisiones atmosféricas y crecimiento económico en España. La curva de Kuznets ambiental y el protocolo de Kyoto>> *Economía Industrial*, No.351 (2003):73-86.
- Sánchez, Almanza. *La evolución de la Ciudad de México. Factores para el desarrollo social*. Informe del Estado de Desarrollo Social en el Distrito Federal. Evalúa DF (2012).
- Seppälä, Tomi; Haukioja Teemu. <<The EKC Hypothesis does not hold for direct material flows: Environmental Kuznets Curve Hypothesis Tests for direct material flows in five industrial countries>> *Population and Environment*, Vol.23, No. 2, (2001):217-238.
- Simioni, Daniela (compiladora). *Contaminación atmosférica y conciencia ciudadana*. Santiago, Chile: Naciones Unidas, Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2003.
- Soumyananda Dinda; Dipankor Coondoo y Manoranjan Pal. <<Air quality and economic growth: an empirical study>> *Ecological Economics* 34(2000):409-423.
- Soumyananda Dinda. << Environmental Kuznets Curve Hypothesis: A Survey>> *Ecological Economics* 49 (2004): 431-455.
- Spangenberg J. <<The Environmental Kuznets Curve: A Methodological Artefact?>> *Population and Environment*, Vol.23, No.2, Sustainability (2001):175-191.
- Sistema de Cuentas Nacionales, INEGI (2010)
- SMAGDF (2007). Agenda ambiental de la Ciudad de México, Programa de Medio Ambiente 2007-2012, Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal.
- SMAGDF (2008). Programa de Acción Climática de la Ciudad de México 2008-2012. Plan Verde de la Ciudad de México, Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal.
- SMAGDF (2010). Programa de Acción Climática de la Ciudad de México 2008-2012, Informe de Avances 2010. Plan Verde de la Ciudad de México, Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal.
- SMA-GDF . *Programa para mejorar la calidad del aire de la Zona Metropolitana del Valle de México, 2002-2010*.
- SMA-GDF (2011). *Programa para mejorar la calidad del aire de la Zona Metropolitana del Valle de México, 2011-2020*.
- Stern, David; Auld, Tony; Common, Michael y Sanyal, Kali. <<Is there an Environmental Kuznets Curve for Sulfur?>> *World Congress on Environmental Economics, Venezia Italy, 1998*.
- Stern, David. <<Environmental Kuznets Curve>> *Encyclopedia of Energy* 2 (2004):517-525.
- Stern, David. <<The Rise and Fall of the Environmental Kuznest Curve>> *World Development*, Vol. 32, No.8 (2004):1419-1439.
- Streit, Gerald y Guzmán, Francisco. <<Mexico City air quality: progress of an international collaborative project to define air quality management options>> *Atmospheric Environment*, Vol. 30, No. 5 (1996): 723-733
- Tsurumi, Tetsuya y Managi, Shunsuke. << Decomposition of the environmental Kuznets curve: scale, technique, and composition effects>> *Environmental Economics and Policy Studies* (2010) 11:19-36.
- Tunç, G. Ipek; Türüt-Asik, Serap y Aknostanci, Elif. <<A decomposition analysis of CO2 emissions from energy use:Turkish case>> *Energy Policy* 37(2009):4689-4699.

#### **Recursos electrónicos.**

- Cámara de Diputados, Centro de Estudios de Finanzas Públicas. *Perfil Socioeconómico del Distrito Federal, 2009*. Disponible en:  
<http://www.cefp.gob.mx/intr/edocumentos/pdf/cefp/2009/cefp0372009.pdf>

- Secretaría de Finanzas GDF. *Desempeño Económico del Distrito Federal 2011 y Perspectivas 2012*. Disponible en:  
[http://www.finanzas.df.gob.mx/egresos/Proy\\_2012/DesempeEconomicoDF2011Perspectivas2012.pdf](http://www.finanzas.df.gob.mx/egresos/Proy_2012/DesempeEconomicoDF2011Perspectivas2012.pdf)
- Secretaría de Medio ambiente del Gobierno del Distrito Federal. *Inventario de emisiones en la ZMVM 2000, 2002, 2004, 2008, 2010*. Disponible en:  
[http://www.sma.df.gob.mx/inventario\\_emisiones/index.php?op=pub#](http://www.sma.df.gob.mx/inventario_emisiones/index.php?op=pub#)
- Secretaría de Medio ambiente del Gobierno del Distrito Federal (2006). *Estrategia Local de Acción Climática (ELAC)*. Disponible en:  
[http://www.sma.df.gob.mx/cclimatico/principal.php?op=acciones01\\_b](http://www.sma.df.gob.mx/cclimatico/principal.php?op=acciones01_b)
- Secretaría del Medio ambiente y Recursos Naturales. *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México*, cap. 6. Disponible en:  
[http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe\\_04/pdf/cap6.pdf](http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_04/pdf/cap6.pdf)
- Secretaría de Medio ambiente del Gobierno del Distrito Federal (2010). *Calidad del aire en la Ciudad de México. Informe 2010*. Disponible en:  
[http://www.sma.df.gob.mx/sma/links/download/biblioteca/flippingbooks/informe\\_anual\\_calidad\\_aire\\_2010/](http://www.sma.df.gob.mx/sma/links/download/biblioteca/flippingbooks/informe_anual_calidad_aire_2010/)
- Secretaría de Medio ambiente del Gobierno del Distrito Federal. *Programa de reducción de emisiones a la atmósfera en la Industria*.  
<http://www.sma.df.gob.mx/sma/index.php?opcion=26&id=268>
- Secretaría de Medio ambiente del Gobierno del Distrito Federal (2013). Dirección de Programas de la Calidad del Aire e Inventario de Emisiones.  
[http://www.sma.df.gob.mx/inventario\\_emisiones/index.php?op=pub#](http://www.sma.df.gob.mx/inventario_emisiones/index.php?op=pub#)
- SIMAT (2013). Sistema de Monitoreo Atmosférico. <http://www.calidadaire.df.gob.mx>