



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
POSGRADO EN ECONOMÍA  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ECONÓMICAS

FACTORES QUE INCIDEN EN EL DETERIORO AMBIENTAL EN MÉXICO: EL  
CASO DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

TESIS  
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
MAESTRIA EN ECONOMÍA

PRESENTA:

MAYRA VEGA CAMPA

TUTOR  
DR. ALONSO AGUILAR IBARRA  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ECONÓMICAS, UNAM

MIEMBROS DEL COMITÉ TUTOR:  
DRA. SOPHIE ÁVILA FOUCAT  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ECONÓMICAS, UNAM  
DRA. ISALIA NAVA BOLAÑOS  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ECONÓMICAS, UNAM  
DR. DANIEL REVOLLO FERNÁNDEZ  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ECONÓMICAS, UNAM  
DR. ARMANDO SÁNCHEZ VARGAS  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ECONÓMICAS, UNAM

MÉXICO, D. F. DICIEMBRE DE 2015



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

## Contenido

Introducción .....	6
Planteamiento del problema .....	6
Preguntas de investigación .....	13
Objetivos .....	13
Objetivo general:.....	13
Objetivos específicos:.....	13
Capítulo 1. Marco teórico .....	16
1.1 Economía neoclásica vs economía ecológica.....	16
1.2 El desarrollo sustentable.....	27
1.3 La población humana y medio ambiente.....	29
Capítulo 2. Antecedentes.....	33
2.1 Factores que inciden en el deterioro ambiental desde diferentes enfoques.....	34
2.1.1 Los límites del crecimiento: informe al club de Roma sobre el predicamento de la humanidad. ....	34
2.1.2 La identidad IPAT.....	39
2.1.3 Presiones sobre la biodiversidad.....	47
2.1.4. Población y sus efectos en el deterioro del aire. ....	51
2.2 La contaminación atmosférica en México. ....	54
2.3 Política ambiental en México.....	59
Hipótesis.....	63
Capítulo 3: Metodología.....	63
3.1 Planteamiento del modelo.....	65
3.2 Variables.....	68
3.2.1 Definición y justificación de las variables.....	68
Capítulo 4. Estimación y resultados del modelo .....	82
4.1 Estadística descriptiva .....	83
4.2 Resultados del modelo econométrico .....	86
Conclusiones generales y recomendaciones .....	98
Anexo A .....	103

Anexo B .....	107
Bibliografía.....	118

## Resumen

El deterioro ambiental en México está ocasionando problemas de diversos tipos, entre ellos destacan daños en la salud, pérdidas económicas, pérdidas de biodiversidad, incendios forestales, inundaciones, huracanes, etc. Algunos de los factores que se considera han agudizado los problemas ambientales son el crecimiento de la población, el ingreso y el tipo de tecnología que se está utilizando, sin embargo no es claro si efectivamente estos factores son los que están contribuyendo a la degradación ambiental, y si lo hacen, en qué medida lo están haciendo. Por tal motivo, el objetivo de este trabajo fue analizar en qué medida la población, el ingreso y la tecnología impactan en el deterioro ambiental, medido a través de la emisión de 7 contaminantes atmosféricos. Se utilizó un modelo de sección cruzada que relaciona la emisión de dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, compuestos orgánicos volátiles, partículas en suspensión (menores a 10 y 2.5  $\mu\text{m}$ ), amoníaco y carbón negro con la población, la población urbana, el PIB *per cápita*, el PIB industrial y agrícola y la superficie cosechada. Se observó que las variables significativas fueron la población, el PIB per cápita, el PIB industrial del sector energía agua y suministro de gas por ductos al consumidor final, y la superficie cosechada. Conocer cuáles son los principales factores que afectan la calidad del medio ambiente permitió realizar propuestas de política económica encaminadas a mejorar la calidad del aire en México. Algunas de estas fueron reducir el tamaño de la población a través de la planificación familiar y educación sobre reproducción. Promover el transporte público más eficiente y de bajas emisiones. Finalmente, será necesario invertir en tecnologías más amigables con el medio ambiente.

## DEDICATORIA

*A la mujer que más admiro y amo, mi Andreita. Gracias por tu amor, tu apoyo, tu amistad, tu confianza en mí y sobre todo, gracias por tu ejemplo de fortaleza.*

*A mi padre.*

*A mis hermanos que en las buenas y en las malas siempre están ahí para apoyarme.*

*A mis sobrinos (as), mis rayitos de sol que con su hermosa sonrisa iluminan mis días de tormenta.*

*A Dani, gracias por haber compartido tu tiempo y tus conocimientos conmigo.*

## **AGRADECIMIENTOS.**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por haberme brindado la beca que me permitió cursar mis estudios de maestría en México y el extranjero.

A la UNAM y al Instituto de Investigaciones Económicas en cuyas instalaciones adquirí las herramientas necesarias para culminar este proyecto.

A mi director de tesis, el Dr. Alonso Aguilar Ibarra por haberme asesorado pacientemente.

Al Dr. Francisco Javier André García por abrirme las puertas de la Universidad Complutense de Madrid y por sus valiosos comentarios y observaciones sobre la tesis.

A los profesores Miguel Jerez Méndez y Juan Ángel Jiménez Martín por sus valiosas aportaciones al modelo econométrico.

A mis revisores, Dr. Daniel Revollo Fernández, Dra. Sophie Ávila Foucat, Dra. Isalia Nava Bolaños y Dr. Armando Sánchez Vargas que se tomaron el tiempo de revisar y enriquecer la tesis con sus observaciones.

A mis compañeros y amigos de clase que en debates no formales enriquecieron este trabajo.

A mi familia que siempre me alienta a luchar por lo que quiero

Al Mtro. José Manuel Márquez por su amistad y consejos.

## Introducción

### Planteamiento del problema

El deterioro ambiental en México representa un problema debido a que causa severos daños al planeta y a la población en su conjunto. Algunos de estos han sido: la degradación del suelo, pérdidas de biodiversidad, enfermedades, aumentos de temperaturas, pérdidas económicas, sequías, incendios forestales, deforestación, disminución de la disponibilidad de agua *per cápita*, contaminación del agua, etc.

A nivel mundial, estos impactos se han ido incrementando, por ejemplo, de acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación (FAO, por sus siglas en inglés) la degradación del suelo está aumentando en severidad y extensión, se han visto afectadas más del 20 por ciento de las tierras agrícolas, el 30 por ciento de los bosques y el 10 por ciento de los pastizales, además un cuarto de la población mundial, dependen directamente de suelos sujetos a degradación. (FAO, 2008)

La pérdida de biodiversidad a nivel mundial también representa un problema pues prácticamente todos los ecosistemas de la tierra han sufrido transformaciones radicales por la acción del hombre. De acuerdo con el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) en términos de superficie, se ha perdido el 35% de los manglares y el 20% de los arrecifes de coral. Además la transformación de ecosistemas con fines agrícolas o de otro tipo ha continuado en todo el mundo a un ritmo constante durante, como mínimo, el último siglo (PNUMA, 2005).

La contaminación atmosférica representa un problema debido a que provoca enfermedades de manera directa a la población y a su vez contribuye al cambio climático. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS) en 2012 se perdieron 7 millones de vidas por la contaminación atmosférica, si ésta se redujera podrían salvarse cientos de vidas (OMS, 2014). Una de las principales consecuencias del cambio climático es el aumento de la temperatura, que a su vez contribuye a las sequías y a los incendios forestales. De acuerdo con la ONU (2015) “la temperatura media mundial aumentó en cerca de 0.74°C durante el siglo XX y ese calentamiento ha afectado más a las áreas terrestres que a las oceánicas”.



En el caso de México, la degradación del suelo se ha visto afectada por el deterioro ambiental. En 2002 la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) calculó que casi el 50% de los suelos del país estaban afectados por algún tipo de degradación. “La degradación química ocupaba el primer lugar (34.04 millones de hectáreas, 17.8% del territorio nacional), seguida por la erosión hídrica (22.72 millones de hectáreas, 11.9%), la eólica (18.12 millones de hectáreas, 9.5%) y, al final, la degradación física (10.84 millones de hectáreas, 5.7%)” (Semarnat, 2012:128).

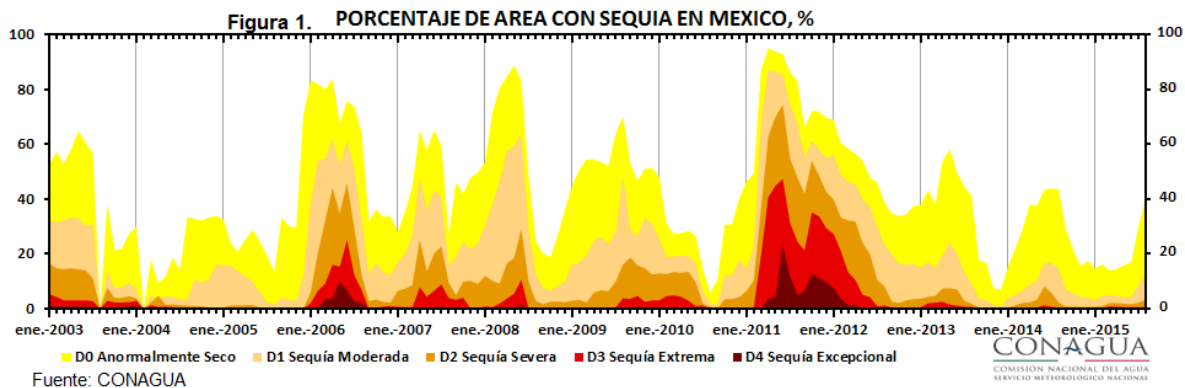
El deterioro ambiental también ha impactado en la pérdida de biodiversidad, los grupos que se han visto afectados por este problema en México han sido las cactáceas, las orquídeas las palmas y dentro del grupo de los animales han sido los reptiles, las aves, los mamíferos y los anfibios (SEMARNAT, 2012). En 2012 la Semarnat realizó un conteo de las especies y subespecies de flora y fauna en peligro de extinción publicadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010 y encontró que “el número de especies listadas en alguna categoría de riesgo es de 2,486. Las plantas son el grupo taxonómico con mayor número de especies en riesgo, con un total de 948. Las familias con mayor número de especies en riesgo son las cactáceas (244 especies, que equivalen al 23.6% del total de especies de esta familia descritas para el país), las orquídeas (188 especies, 16.2%), las palmas (64 especies, 51.6%) y los agaves (39 especies, 13.7%). En el caso de los animales, los grupos con más especies en riesgo son los reptiles (437 especies, es decir, 54.4% de las especies conocidas en el país para este grupo), las aves (367, 33.5%), los mamíferos (242, 45.2%), los anfibios (194, 53.7%) y los peces (203, 7.5%)” (SEMARNAT, 2012:165).

La atmósfera también ha sufrido cambios como consecuencia del deterioro ambiental. La emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI) como el dióxido de carbono, ha alterado la composición de la atmosfera provocando cambios en el clima y ocasionando enfermedades sobre todo de tipo respiratorias. De acuerdo con el Instituto Mexicano para la Competitividad (IMCO) se estima que entre los años 2001 y el 2005 murieron en México 38 mil personas por cáncer de pulmón, enfermedades cardiopulmonares e infecciones respiratorias relacionados con la exposición a la contaminación atmosférica, generada principalmente por automotores. También mencionó que de acuerdo con la OMS en 2010 el número de muertes por contaminación del aire en México fue de 14,700 (IMCO, 2012)

De acuerdo con de Jong et al. (2010) a escala mundial, en 2004, el sector uso de suelo, cambio de uso de suelo y silvicultura (LULUCF, por sus siglas en inglés) fue el tercer sector más importante de emisiones de GEI, después del sector energético e industrial. En el estudio realizado por dicho autor, se encuentra que aproximadamente 9.3 millones de hectáreas de bosques y monte bajo fueron convertidos a otra clase de uso de suelo entre 1993 y 2002, con una tasa de conversión de  $1.0 \times 10^6 \text{ha}^{-1}\text{y}^{-1}$ . El trabajo concluye que México sufre altos niveles de degradación y conversión forestal debido a los cambios de uso de suelo y a un mal manejo de los bosques, los cuales son la base de altas emisiones de GEI a la atmosfera.

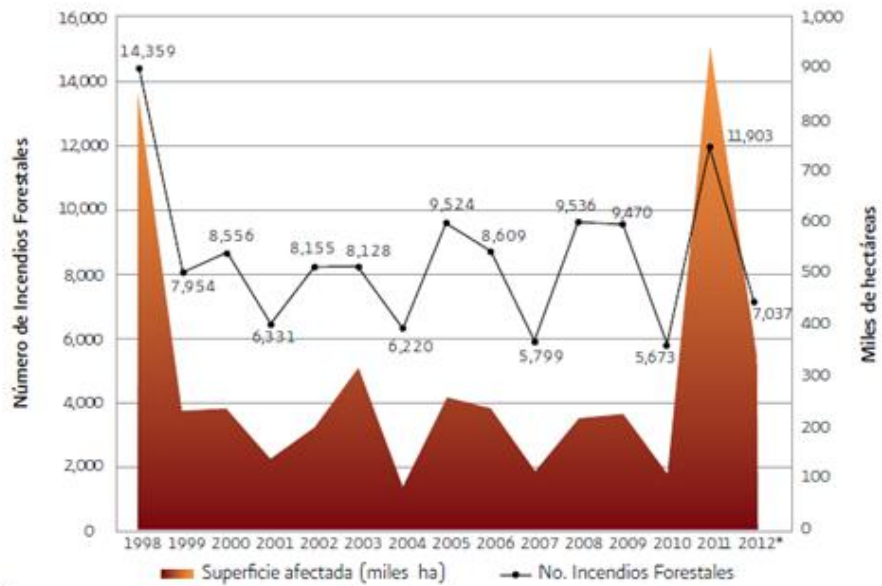
Por otro lado, el cambio climático, derivado en parte por la contaminación atmosférica, ha provocado problemas como aumentos de temperaturas, precipitaciones, huracanes, aumentos en el nivel del mar y deshielos. En México, el aumento de la temperatura ha sido un problema ya que esto ha ocasionado a su vez una mayor incidencia de inundaciones y sequías (SEMARNAT, 2012). De acuerdo con la Quinta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (2012) durante 1901-2009, la temperatura superficial media de México tuvo un incremento medio de menos de 2°C. El cambio de temperatura ha afectado a las regiones del país de distinta manera, por ejemplo, las regiones del noroeste han experimentado incrementos mayores que la media nacional, y otras zonas del noreste, muestran una tendencia de enfriamiento. Estas tendencias corresponden a variabilidad natural, a procesos de contaminación regional por aerosoles, a cambios en el uso de suelo e incremento de concentración de GEI (INE-SEMARNAT, 2012).

Como se vio anteriormente el incremento de la temperatura también ha provocado una mayor incidencia de sequías. Estas representan un problema debido a que amenazan a sectores productivos como el agropecuario, lo anterior debido a que se reducen las cosechas. A su vez los periodos de malas cosechas traen consigo otro tipo de problemas como las hambrunas. La figura 1 muestra la evolución y el porcentaje de área afectada del país con una o varias categorías de sequía. Se puede observar que en el año 2012 hubo un aumento considerable de los cuatro tipos de sequías.



Las sequias a su vez están relacionadas con los incendios forestales. De acuerdo con la Quinta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (2012) en 2011 se presentó la temporada más seca de la última década. En la Figura 2 se presenta el comportamiento de los incendios forestales de 1998 al primer semestre de 2012, así como la superficie afectada. Se puede observar que en 1998 se registró el mayor número de incendios (14,359), que afectaron 847,689 ha: 41.5% de pastizales, 23.4% de arbolado y 35.1% de arbustos y matorrales. En 2011 un total de 11,903 incendios afectaron 944,783 ha: 63.7% de pastizales, 8.1% de arbolado y 28.2% de arbustos y matorrales (INE-SEMARNAT, 2012).

Figura 2. Número de incendios forestales y superficie afectada (miles de ha), 1998-2012



\* Primer semestre.

Fuente: SEMARNAT (2012)

Otro recurso que puede verse afectado por el cambio climático es el agua. Esto se debe a que el cambio climático podría provocar eventos extremos relacionados con el agua tales como sequías e inundaciones, las inundaciones a su vez podrían provocar problemas de suministro de agua (Stern, 2006). En México el volumen que se obtiene depende de la precipitación anual y de la importación de ríos de la frontera. En general, México dispone de 460 kilómetros cúbicos de agua en promedio al año. Valor superior al de la mayoría de los países europeos, pero muy inferior si se compara con el de Estados Unidos, Canadá o Brasil (INE-SEMARNAT, 2012).

La disponibilidad de agua del país se ha visto afectado por el crecimiento de la población. De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) En 1910 la disponibilidad de agua era de 31 mil m<sup>3</sup> por habitante al año y para 2010 disminuyó a 4,230 m<sup>3</sup> anuales por cada mexicano (INEGI, 2014).

Además de la disponibilidad de agua, la mala calidad es otro problema que enfrenta el país. Entre los factores que reducen la calidad del agua destacan las descargas directas de agua o residuos sólidos provenientes de las actividades domésticas, agropecuarias o industriales; la disposición inadecuada en el suelo de

residuos sólidos urbanos o peligrosos puede ocasionar, indirectamente, que escurrimientos superficiales y lixiviados contaminen los cuerpos de agua y los acuíferos (INEGI, 2014).

El deterioro ambiental no solo se manifiesta en el entorno ecológico, este también provoca pérdidas económicas. En un boletín de prensa emitido por el INEGI en 2013 se dio a conocer que los costos por agotamiento de los recursos naturales y degradación ambiental para 2011 serían de 983,886.2 millones de pesos que representan el 6.9% como porcentaje del PIB.

Por otro lado, en México y el mundo las consecuencias del deterioro ambiental son evidentes, sin embargo, las causas de éste no lo son. A continuación se presentan algunas posturas acerca de los factores que inciden en este problema.

De acuerdo con el Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF por sus siglas en inglés) existen causas directas e indirectas que ejercen presión sobre la biodiversidad. Para medir el deterioro del medio ambiente se utiliza la huella ecológica, ésta es una medida de la capacidad de la tierra para absorber los desechos de la población. Dentro de las causas directas que afectan el estado del medio ambiente están: el crecimiento de la población, el aumento del consumo y la intensidad de la huella ecológica. Dentro de las causas indirectas se encuentran: la industria y minería; energía y transporte, agricultura y silvicultura, consumo de agua y pesca y finalmente la caza (WWF, 2010).

Por su parte Schoijet (2008), también aborda el problema del deterioro ambiental y coincide con que el consumismo juega un papel importante en el deterioro ambiental. Su argumento es que si bien no se ha producido la catástrofe ambiental en el nivel global mundial esbozada en los límites del crecimiento, parecería probable un escenario en el cual la demanda de alimentos excedería a la capacidad exportadora, tanto por efecto de las fuerzas de mercado como por la no sostenibilidad de parte de la producción. La solución, dice, depende de una lucha en contra de los ideales de consumo que se han impuesto a la sociedad que lejos de presentar mejoras han generado grandes problemas de alimentación, como son la desnutrición y el hambre a nivel mundial. Es decir evitar prácticas consumistas.

Ehrlich y Holdren (1971) sostienen que los factores que inciden en el deterioro ambiental son el crecimiento de la población, el ingreso y la tecnología. Para sostener esta afirmación desarrollaron una herramienta metodológica denominada identidad "IPAT", se trata de una identidad contable en la que "I" representa el impacto ambiental, "P" representa el crecimiento de la población, "A" el ingreso *per cápita* y "T" la tecnología. De este modo, el deterioro ambiental, generalmente medido a través de las emisiones de CO<sub>2</sub>, es igual al producto del crecimiento de la población multiplicado por el ingreso *per cápita* y la tecnología.

La metodología de la identidad IPAT ha sido criticada por tratarse de una identidad contable y no permitir hacer predicciones sobre el comportamiento del deterioro ambiental en el futuro. Además asume que los elementos de la derecha de la identidad son independientes. Algunos autores han atendido a las críticas realizadas a la identidad IPAT. Algunos de ellos han sido Preston (1996), Dietz y Rosa (1997), Gans y Jost (2005) y York, Rosa y Dietz (2003).

York et al. (2003) desarrollan un modelo de regresión estocástico e incorporan el concepto de elasticidad ecológica la cual permite refinar la interpretación de los coeficientes del modelo Stochastic Impacts by Regression on Population, Affluence and Technology (STIRPAT) y de este modo poder entender cómo los humanos afectan al medio ambiente. Los resultados obtenidos sugieren que la población tiene un efecto (elasticidad unitaria) en las emisiones de dióxido de carbono y el consumo de energía. La riqueza incrementa monótonamente ambos, las emisiones de dióxido de carbono y el consumo de energía. Sin embargo, para el consumo de energía la relación entre la riqueza e impacto cambia de inelástica a elástica cuando la riqueza se incrementa, mientras que en las emisiones de dióxido de carbono la relación cambia de elástica a inelástica.

Se puede resumir que uno de los principales problemas ambientales a los que se enfrenta hoy en día la humanidad es el cambio climático debido a los daños que éste está causando sobre los ecosistemas terrestres y acuáticos. La emisión de gases de efecto invernadero ha contribuido significativamente al desarrollo de este problema ambiental. Además de su contribución al cambio climático, la contaminación atmosférica ha provocado problemas en la salud de la población, sobre todo de tipo respiratorias.

Se ha visto que existen diversos factores que inciden en el deterioro ambiental medido a través de la emisión de GEI y de la capacidad de la tierra para absorber los desechos de la población. Entre ellos están el crecimiento de la población, el consumo, la demanda excesiva de recursos naturales, la riqueza, el tipo de tecnología utilizada, entre otros. Sin embargo, para México no existe evidencia empírica que permita analizar en qué medida estos factores inciden en el deterioro ambiental. Como resultado de este problema surgen las siguientes preguntas de investigación.

### **Preguntas de investigación**

1. ¿Cómo impactan el tamaño de la población, el ingreso y la tecnología en el deterioro ambiental medido a través de la contaminación atmosférica en México?
2. ¿En qué medida impactan el tamaño de la población, el ingreso y la tecnología en la contaminación atmosférica en México?
3. ¿Cuál es el factor de mayor importancia en la emisión de contaminantes atmosféricos en México?

Los objetivos que se plantean en este trabajo son los siguientes:

### **Objetivos**

#### **Objetivo general:**

1. Analizar el impacto que factores tales como la población, el ingreso y la tecnología tienen en el deterioro ambiental, medido a través de la emisión de GEI, en México.

#### **Objetivos específicos:**

1. Medir la relación que existe entre el crecimiento de la población y el deterioro ambiental en México.
2. Analizar las políticas implementadas en México encaminadas al mejoramiento del medio ambiente y su relación con el crecimiento de la población.

El presente trabajo estará dividido en 4 capítulos. En el primer capítulo se plantea el contexto teórico en el que se sitúa la investigación. En el segundo capítulo, se hace una descripción del marco de referencia, en éste se analizan las posturas que atienden a los principales factores que inciden en el deterioro ambiental, se analizan los siguientes temas: *Los límites del crecimiento: un informe al club de Roma*, *La identidad IPAT*, *población y producción de alimentos: tendencias recientes* y *El fondo mundial para la naturaleza*. También se analizan los tipos de deterioro que existen y cuáles de estos se observan en México. En el tercer capítulo se describe la metodología empleada en la investigación. En el siguiente capítulo se plantea un modelo econométrico en el que se analiza el impacto que genera el crecimiento de la población, el consumo, la riqueza y la tecnología en el deterioro ambiental. El deterioro ambiental será medido a través de la emisión de los siguientes contaminantes atmosféricos: el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), compuestos orgánicos volátiles (COV), partículas en suspensión (menores a 10 y 2.5 µm), amoníaco (NH<sub>3</sub>) y carbón negro. En la última sección se ofrecen las conclusiones y recomendaciones.

Para lograr los objetivos planteados en el presente trabajo de investigación se planteará un modelo econométrico que relacione el deterioro ambiental con los factores que inciden en este. Se tomará como base el modelo desarrollado por York, Rosa y Dietz (2003).

Las variables dependientes que se van a utilizar, y que representan el deterioro ambiental, serán la emisión de contaminantes atmosféricos mencionados anteriormente. Las variables independientes a las que se va a recurrir serán: el tamaño de la población, la población urbana, el PIB *per cápita*, el PIB generado por la industria, el PIB industrial de los siguientes sectores: minería, electricidad, agua y suministro de gas por ductos al consumidor final, construcción e industrias manufactureras, PIB agrícola y la superficie cosechada.

Los datos serán obtenidos de páginas oficiales como son: Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) Banco Mundial, Consejo Nacional de Población (CONAPO), Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Sistema



Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales (SNIARn) y la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA).

El modelo será calculado en el programa estadístico Stata.

## Capítulo 1. Marco teórico

En el presente capítulo se hace una revisión de los conceptos de economía neoclásica, economía ecológica, sus diferencias y la forma en que cada una aborda el problema de la contaminación atmosférica. Se aborda el desarrollo sustentable desde el enfoque de la sustentabilidad débil y fuerte. En la última sección se analiza el papel que ha tenido la población y su interacción con el medio ambiente.

### 1.1 Economía neoclásica vs economía ecológica.

#### **Economía neoclásica.**

El interés de la economía en el medio ambiente surge aproximadamente a principios de la década de 1970, durante ese periodo, la economía neoclásica empezó a mostrar una preocupación por el medio ambiente natural e incluyó en su estudio dos subdisciplinas importantes: la economía ambiental y la economía de los recursos naturales.

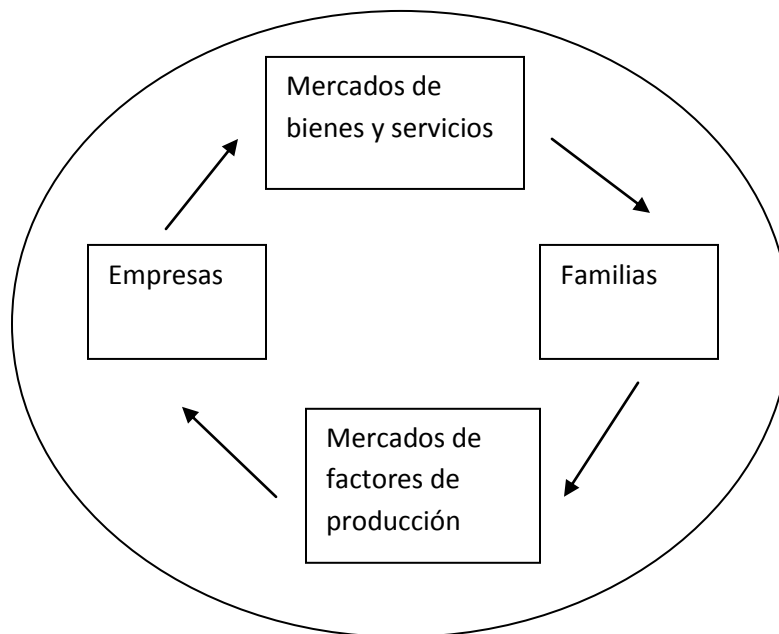
La *economía ambiental* surge a finales de los sesenta y principios de los setenta con la aparición de textos relacionados con la acumulación de problemas ambientales que fueron el resultado de dos siglos de innovaciones tecnológicas y un progreso desigual. Esta rama de la economía neoclásica tiene sus bases en el análisis microeconómico pero también ha adoptado conceptos desarrollados por otras ramas de la economía, como las finanzas públicas y la organización industrial, para aplicarlos a los problemas ambientales. Su principal aportación ha sido en el área de valuaciones no monetarias, por ejemplo, los métodos para medir curvas de demanda de bienes que no tienen mercados (Kolstad, 2001). Se ocupa principalmente de lo que la economía introduce en el medio ambiente y de los problemas de la contaminación ambiental (Common y Stagl, 2008; Pérez et al., 2010 y Koldstad, 2001).

La *economía de los recursos naturales* tiene sus orígenes en los años treinta con el trabajo seminal de Hotelling en el que se propone la regla de extracción óptima conocida como la ecuación fundamental de la economía de los recursos naturales

agotables o regla de Hotelling<sup>1</sup>. Posteriormente la economía de los recursos naturales empleó elementos y conceptos neoclásicos de optimización en el tiempo como son la teoría del control óptimo y la teoría de juegos para plantear soluciones a los problemas asociados con el uso y la extracción de los recursos naturales (Common y Stiglitz, 2008 y Pérez et al., 2010).

En la figura 3 se muestra la visión de la economía neoclásica sobre el funcionamiento de la economía, note que no se toman en consideración los flujos de materia y energía que interactúan con los factores de producción económicos ya que se considera a la economía como un sistema cerrado, la economía neoclásica ve a la economía como un todo, algo que puede crecer infinitamente.

Figura 3. La economía como sistema cerrado. (Economía neoclásica).



Fuente: Martínez y Roca (2000).

<sup>1</sup> La regla de Hotelling expone que la tasa óptima de extracción de un recurso natural no renovable es aquella en la cual la tasa de aumento del precio del recurso es igual que la tasa de descuento de la sociedad (Pérez et al., 2010).

Puesto que la economía neoclásica no toma en cuenta los flujos de materia y energía, la contaminación atmosférica es abordada como un problema de externalidad. Las externalidades ambientales se definen como las interacciones que surgen entre consumidores y/o productores en el uso de los bienes que proporciona el medio ambiente, en este caso, el aire. Debido a que existen diversas dificultades para que el mecanismo del libre mercado asigne eficientemente los bienes ambientales y resuelva los problemas surgidos por las externalidades se han propuesto algunas soluciones o marcos institucionales con la finalidad de lograr una asignación eficiente de recursos (Labandeira et al., 2007).

Una de las soluciones que se ha propuesto se debe a Coase quien sugiere que una negociación entre los agentes participantes en las externalidades conduce a una asignación eficiente en el sentido de Pareto si los derechos de propiedad están bien definidos, los costes de transacción son nulos y el mercado es competitivo. Sin embargo, esta solución se enfrenta a ciertas dificultades tales como la existencia de altos costes de transacción, bienes comunales, impactos desconocidos, la competencia imperfecta y la no convexidad de las funciones de costos externos y/o beneficios privados (Labandeira et al., 2007).

Otra propuesta de la teoría neoclásica al problema de la contaminación atmosférica es la internalización de los costes. Esto significa que los agentes causantes de la contaminación deberían tener en cuenta el efecto de sus acciones sobre los agentes en el momento de planificar las decisiones de producción ya que de no hacerlo ocasionarían una pérdida de eficiencia. La corrección de la pérdida de eficiencia derivada de la externalidad se puede lograr a través de los impuestos pigouvianos. Los impuestos pigouvianos gravan la producción de las empresas contaminantes, el objetivo es lograr que el costo marginal privado más el impuesto sea igual al costo marginal social. Sin embargo, esta solución también presenta ciertas dificultades:

1. El conocimiento de las funciones de beneficio y daño marginal, así como del nivel óptimo de contaminación. Para calcular el impuesto es necesario conocer la función de beneficio, el daño marginal y el nivel óptimo de contaminación, en la práctica, esto resulta complicado por lo que se estaría calculando un impuesto con información incompleta y probablemente no se alcance el óptimo social deseado (Labandeira et al., 2007).

2. La incertidumbre acerca de los beneficios y costes. Si existe incertidumbre acerca de los beneficios y costes de la contaminación los impuestos pueden ser poco eficientes comparados con otras medidas como pueden ser las normas o estándares (Labandeira et al., 2007).

3. La complejidad añadida del manejo en situaciones de competencia imperfecta. Si existe una situación de monopolio o competencia imperfecta los impuestos no resultan óptimos ya que en este caso el impuesto eficiente coincide con la diferencia entre el ingreso marginal y el costo marginal. Pero en el nivel óptimo de contaminación esta diferencia puede ser negativa, requiriéndose una subvención para inducir a la empresa a elegir dicho nivel de daño (Labandeira et al., 2007).

4. El statu quo de la política ambiental y sus efectos en la industria. Los impuestos pueden llegar a ser vistos como una medida que se traducirá en mayores costos. Estos son rechazados ya que suponen una pérdida de competitividad relativa si son adoptados únicamente por un país o región, pero en el largo plazo los efectos de los impuestos pueden conllevar a un estímulo a la innovación (Labandeira et al., 2007).

5. La queja acerca de la justicia de los impuestos. Las empresas tienen a quejarse de los impuestos argumentando que éstos se siguen pagando aun cuando la contaminación ha disminuido. Sin embargo la razón de ser de los impuestos está en que se debe pagar por el daño producido, aun cuando el nivel de contaminación haya disminuido (Labandeira et al., 2007).

6. Los posibles efectos distributivos. Si se gravan productos que son consumidos en mayor proporción relativa por la población de menor ingreso esto podría afectar su ingreso. Esto podría darse en el caso por ejemplo de la energía (Labandeira et al., 2007).

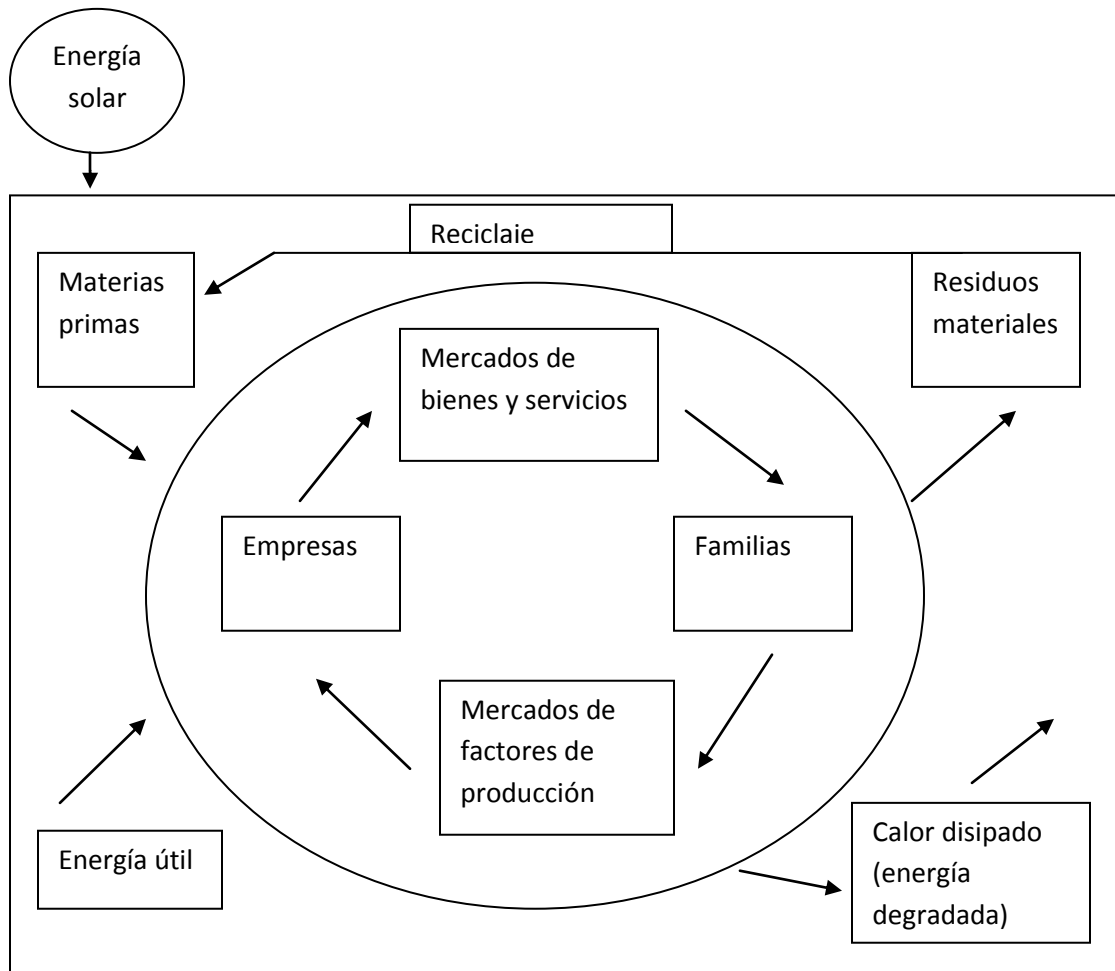
### **Economía ecológica.**

La economía ecológica parte de la idea fundamental de que con los principios de la economía neoclásica no se pueden resolver los problemas ambientales, por lo tanto se propone una relación de la economía con la ecología basada en las leyes de la termodinámica, entre los procesos ecosistémicos y socioeconómicos.

La ecología se puede definir como el estudio de las relaciones entre plantas y animales con sus ambientes orgánicos e inorgánicos, y la economía, como el estudio de la forma en que los seres humanos subsisten, cómo satisfacen sus necesidades y sus deseos. Por lo tanto, la economía ecológica se encarga de estudiar las relaciones entre el gobierno de la casa de los seres humanos y el gobierno de la casa de la naturaleza. Dicho de otro modo, estudia la integración de variables ambientales, sociales, económicas, políticas y éticas, buscando la coevolución de estas disciplinas con la finalidad de proponer soluciones a los problemas de sustentabilidad (Common y Stagl, 2008 y Pérez, et al., 2010).

A diferencia de la economía neoclásica la economía ecológica si toma en cuenta los flujos de materia y energía y cómo estos se relacionan con los factores productivos. La economía neoclásica no toma en consideración el doble papel que juega la naturaleza de suministradora de recursos y receptora de residuos. En la figura 4 se muestra la visión de la economía ecológica.

Figura 4. La economía como sistema abierto. (Economía ecológica).



Fuente: Martínez y Roca (2000).

### *Leyes de la termodinámica.*

Las leyes de la termodinámica son la base teórico conceptual de la economía ecológica. La termodinámica es una rama de la física que estudia la circulación de energía y cómo la energía infunde movimiento, analiza los efectos de los cambios de la temperatura, la presión y el volumen de los sistemas.

La primera ley de la termodinámica dice que la energía no se crea ni se destruye solo se transforma. Esto significa que los procesos de transformación de los recursos naturales utilizan energía que es transformada y esto a su vez genera residuos.

La segunda ley de la termodinámica es conocida como la ley de la entropía, la entropía es una medida del desorden. Si un sistema está altamente desordenado significa que tiene alta entropía.

La economía vista como un subsistema de los ciclos energéticos es otra de las ideas fundamentales de la economía ecológica, esto se puede apreciar en la figura 4.

De acuerdo con Pérez et al. (2010:81) los principios básicos de la economía ecológica son los siguientes:

1. “La Tierra es un sistema termodinámicamente cerrado en el cual la economía es un subsistema de un sistema global, lo que significa que hay límites para el crecimiento económico.

2. La Tierra es un sistema complejo donde está presente una gran incertidumbre y ciertos procesos son irreversibles, por lo que debe considerarse el principio precautorio.

3. Las instituciones y el manejo de los recursos naturales deben ser proactivos, simples, adaptativos y capaces de poner en marcha políticas basadas en un entendimiento de los sistemas complejos.

4. Los puntos mencionados dan pie para cuestionar algunos aspectos de la economía neoclásica, como escala, distribución inicial, complementariedad *versus* sustitución de crecimiento y desarrollo, utilidad y preferencias, entre otros”.

En el apartado anterior se vieron las posibles soluciones que la economía neoclásica ha dado al problema de la contaminación atmosférica. A continuación se muestran las posibles soluciones que la economía ecológica ha propuesto.

Desde el punto de vista de la economía ecológica la contaminación atmosférica es un problema que puede abordarse conociendo las causas que generan dicha contaminación y de esta manera disminuir las emisiones. La metodología propuesta inicialmente por Erlich y Holdren (1971) denominada identidad IPAT fue adoptada posteriormente por otros autores para explicar cuáles son los principales factores que impactan en la contaminación atmosférica y en qué medida lo hacen, lo anterior con la finalidad de proponer criterios de política que contribuyan a mejorar la calidad del aire.



En este trabajo se abordará el problema de la contaminación atmosférica desde el punto de vista de la economía ecológica. A través de un modelo econométrico se identificarán cuáles son las causas del deterioro ambiental en México y se propondrán algunas soluciones para erradicar este problema.

### **Relación y diferencias entre economía ecológica y economía neoclásica.**

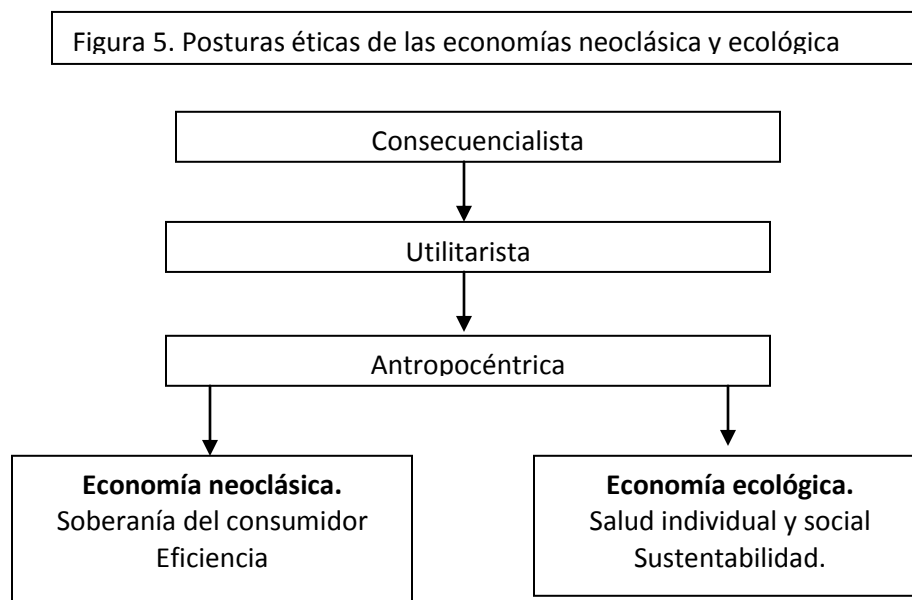
El utilitarismo es la base ética de la economía, de acuerdo con esta teoría, las acciones que aumentan el placer total o reducen el dolor total son moralmente correctas y viceversa. La utilidad, se refiere a aquella situación en la que un individuo experimenta placer o dolor. Al aumentar el placer, aumenta la utilidad y al aumentar el dolor, disminuye la utilidad (Common y Stagl, 2008).

Para el utilitarismo, existen tres preguntas fundamentales: ¿la utilidad de quién es la que vale?, ¿cómo se mide la utilidad? y ¿cómo se suma la utilidad del conjunto de los individuos para lograr bienestar? (Common y Stagl, 2008).

Para entender la relación que existe entre la economía neoclásica y la economía ecológica se tomarán las tres preguntas fundamentales del utilitarismo. La primera de ellas, ¿la utilidad de quién es la que vale? Tanto para la economía ecológica como para la economía neoclásica, la respuesta es: la de todos los seres humanos afectados por la acción. Lo anterior se refiere a que la única utilidad que se considerará para medir el bienestar será aquella que afecte a los seres humanos. Se trata de una concepción antropocéntrica en el sentido en que los efectos que tenga una acción en seres no humanos sólo se tendrá en cuenta en la medida en que produzcan dolor o placer a los seres humanos. Por ejemplo, si un perro es maltratado y a ningún ser humano le importa ni le causa dolor, entonces no se considerará que esté afectando la utilidad de algún individuo. Por el contrario, si un animal es maltratado y causa sufrimiento a algún individuo entonces su utilidad se verá afectada. Tanto la economía neoclásica como la economía ecológica comparten esta visión antropocéntrica y utilitarista (Common y Stagl, 2008).

Respecto a la segunda pregunta, ¿cómo se debe medir el dolor o el placer humano? sí existen diferencias. La economía neoclásica parte del supuesto de la soberanía del consumidor la cual consiste en que cada individuo humano afectado es el único juez que decide si su utilidad ha aumentado o disminuido. Las preferencias individuales se dan por sentadas y no están sujetas a ninguna evaluación moral. Por otro lado, en la economía ecológica, no se ignoran las preferencias individuales, pero no se las considera ni soberanas ni la única fuente de criterios normativos (Common y Stagl, 2008).

En la economía neoclásica no existe un fundamento ético para tratar de modificar las preferencias de los consumidores. Se parte del supuesto que los individuos son racionales y siempre buscan maximizar su utilidad, por lo tanto no podrían ser incentivados a usar una bicicleta en lugar de un automóvil. En la economía ecológica si se puede incentivar a los individuos a usar una bicicleta en lugar de un automóvil basándose en que el aumento del ciclismo y la disminución de vehículos motorizados promueven la salud individual y social (Common y Stagl, 2008). En la figura 5 se muestran las diferencias sobre el fundamento ético de las economías neoclásica y ecológica.



Fuente: Common y Stagl (2008).

Para dar respuesta a la tercera pregunta, ¿cómo se suma la utilidad del conjunto de los individuos para lograr bienestar? se partirá del supuesto que solo existen dos

individuos, C y D.  $U^C$  y  $U^D$  representan sus niveles de utilidad y B representa el bienestar. En este caso, una adición simple para calcular el bienestar sería:

$$B=U^C + U^D$$

El problema que se observa en esta forma de sumar la utilidad para obtener el bienestar es que se trata de una adición simple, esto implica que no se toma en cuenta las posiciones relativas de C y D, es decir, si el individuo C aumentara su utilidad pero el individuo D empeorara, no importaría a la hora de sumar las utilidades ya que el fin último, desde esta perspectiva, es aumentar el bienestar. A algunos utilitaristas no les parece que esta forma de sumar las utilidades sea justa (Common y stagl, 2008).

La economía ecológica está más dispuesta a defender una postura en la que la suma de las utilidades sea una suma ponderada como se plantea a continuación.

$$B = (\omega_C * U^C) + (\omega_D * U^D)$$

donde  $\omega_C$  y  $\omega_D$  son las ponderaciones que se debe asignar a las utilidades de C y D respectivamente. La decisión de las ponderaciones constituye una cuestión ética pero los economistas ecológicos tenderán a inclinarse hacia el uso de ponderaciones que favorezcan a los que están en peor posición. En este sentido, los economistas neoclásicos buscan alcanzar la eficiencia, es decir, una situación en la que no es posible mejorar la situación de un individuo sin empeorar la de otro. Los economistas ecológicos, por otro lado, buscarán alcanzar la equidad dando prioridad a los menos favorecidos (Common y Stagl, 2008).

De acuerdo con Martínez y Roca (2000:14) “La economía ecológica, abarca a la economía neoclásica y la trasciende al incluir también la evaluación física de los impactos ambientales de la economía humana”.

Sumado a las diferencias mencionadas anteriormente entre las economías neoclásica y ecológica, existe otra referente al crecimiento de la población. La economía ecológica ve a ésta variable como el principal consumidor del capital natural mientras que la economía ambiental considera que los factores económicos e institucionales tienen un papel fundamental en la relación entre crecimiento poblacional y deterioro ambiental (Pérez et al., 2010).

En el cuadro 1 se muestra un resumen de las principales similitudes y diferencias entre la economía ecológica y la economía neoclásica.

<b>Cuadro 1. Relación y diferencias entre economía ecológica y economía neoclásica</b>		
	<b>Economía ecológica</b>	<b>Economía neoclásica.</b>
<b>Bases teóricas</b>	Toma como base el concepto de costo de oportunidad definido como la mejor alternativa que se tiene que sacrificar cuando se elije hacer o tomar algo.	Toma como base el concepto de costo de oportunidad definido como la mejor alternativa que se tiene que sacrificar cuando se elije hacer o tomar algo.
	Ve a la economía como un subsistema del todo, es decir, ve a la macroeconomía como parte del gran sistema que es la Tierra, su atmósfera y sus ecosistemas.	Ve a la economía como un todo, los ecosistemas, bosques, la pesca, las praderas, las minas, los pozos, los sitios ecoturísticos, etc., son vistos como subsistemas de la macroeconomía.
	Tiene una visión antropocéntrica y utilitarista de la economía.	Tiene una visión antropocéntrica y utilitarista de la economía.
	No se ignoran las preferencias individuales, pero no se las considera ni soberanas ni la única fuente de criterios normativos. Se puede incentivar a los individuos a buscar la salud individual y social y la sustentabilidad.	Parte del supuesto de la soberanía del consumidor la cual consiste en que cada individuo humano afectado es el único juez que decide si su utilidad ha aumentado o disminuido. Las preferencias individuales se dan por sentadas y no están sujetas a ninguna evaluación moral. Los individuos son racionales por lo que siempre buscarán maximizar su bienestar. Busca la eficiencia
<b>Bienestar</b>	Busca alcanzar la equidad dando prioridad a los menos favorecidos.	Al momento de sumar las utilidades de todos los individuos busca alcanzar la eficiencia entendida como aquella situación en la que no es posible mejorar la situación de un individuo sin empeorar la de otro.
<b>Contaminación atmosférica</b>	Busca conocer las causas de la contaminación atmosférica para alcanzar la	Internalización de los costos para alcanzar la eficiencia.

	sustentabilidad.	
Visión sobre el capital natural	Los recursos tienen poco margen de sustitución.	Los recursos pueden sustituirse entre sí por la tecnología.
Visión sobre el capital natural.	Los límites biofísicos y la complejidad de los ecosistemas son considerados.	No se consideran los límites biofísicos
Crecimiento poblacional.	La población es el principal consumidor del capital natural.	los factores económicos e institucionales tienen un papel fundamental en la relación entre crecimiento poblacional y deterioro ambiental
Fuente: elaboración propia con información de: Pérez et al., 2010, Labandeira et al., 2007 y Daly y Farley, 2003.		

## 1.2 El desarrollo sustentable.

El concepto de desarrollo sustentable surgió en los años ochenta con el informe elaborado por la Comisión Mundial para el Medio Ambiente y el Desarrollo (WCED, por sus siglas en inglés). El Informe *Nuestro Futuro Común o Informe Bruntland*, denominado así debido a que la señora Bruntland fue la presidenta, describe tanto el alcance de la pobreza como las distintas amenazas a la sustentabilidad. Se expuso que era posible que el crecimiento económico requerido para enfrentar la pobreza no necesariamente debiera provocar problemas económicos en el futuro a través de sus efectos en el medio ambiente. Según lo expresado en el informe, lo que se necesitaba era una nueva clase de crecimiento económico cuyo efecto en el medio ambiente fuera aumentar la capacidad del sistema conjunto de economía y medio ambiente de satisfacer las necesidades humanas. De esta forma, el desarrollo sustentable se define como una forma de crecimiento económico que satisfaga las necesidades y deseos del presente sin comprometer la capacidad del sistema de economía y medio ambiente de seguir cumpliendo con ese objetivo en el futuro (Common y Stagl, 2008).

## **Sustentabilidad débil y sustentabilidad fuerte.**

El desarrollo sustentable puede abordarse desde dos enfoques: como sustentabilidad débil y sustentabilidad fuerte. Hartwick (1977) definió la sustentabilidad como la inversión neta total (INT) de cualquier tipo de capital que se mantuviera igual o mayor que cero a lo largo del tiempo:  $INT \geq 0$ , en términos matemáticos se traduce como desigualdad débil. De esta manera Hartwick denominó a la sustentabilidad débil como aquella situación en la que es posible mantener la INT en valores no negativos independientemente de la cantidad de capital natural (árboles, ecosistemas, animales, etc) que se emplee ya que éste puede ser sustituido por capital físico (tecnología, infraestructura, etc.) (Martínez y Roca, 2000 y Pérez et al., 2010).

El término de la sustentabilidad fuerte surge cuando David Pearce modifica la regla de Hartwick<sup>2</sup> y propone que la inversión en capital natural o su mantenimiento tenía que ser estrictamente positiva. En este enfoque, el capital natural se asume como insustituible, no es posible tener una inversión total mayor que cero dedicada sólo al capital físico sin capital natural. Se supone que el capital natural y el manufacturado son complementos, no sustitutos (Martínez y Roca, 2000 y Pérez et al., 2010).

La principal diferencia entre sustentabilidad débil y fuerte radica en la sustituibilidad de factores productivos. La sustentabilidad débil ignora que existen factores que no se pueden sustituir, por ejemplo, los servicios que brinda la atmosfera.

Otra diferencia importante de la forma de concebir la sustentabilidad y el desarrollo sustentable en las economías, ecológica y neoclásica, es que la primera considera que existen amenazas graves a la sustentabilidad y, en cierta forma, se muestran escépticos respecto de la viabilidad del desarrollo sostenible. Los economistas neoclásicos no niegan la existencia de amenazas a la sustentabilidad, pero las juzgan menos graves de lo que plantean los economistas ecológicos y, en general, creen que el desarrollo sustentable será posible si se implementan algunos cambios de políticas relativamente menores, confían en la capacidad de los mercados de impulsar cambios en la tecnología y en el comportamiento que permitirán que la capacidad del sistema de economía y medio ambiente de satisfacer las necesidades humanas, continúe aumentando. La economía

---

<sup>2</sup> La regla de Hartwick dice que la reinversión de las rentas obtenidas de los recursos naturales no renovables bajo ciertas condiciones conduce a pautas de consumo consistentes con el desarrollo sustentable.

ecológica no comparte la idea de que la tecnología y los mercados puedan resolver el problema de la insustentabilidad. Además no consideran que el problema de la pobreza se deba dejar únicamente en manos del crecimiento económico, será necesaria una política eficiente que conlleve a una mejor distribución del ingreso (Common y Stagl, 2008).

El problema de la contaminación atmosférica es una cuestión que debe abordarse desde el punto de vista de la sustentabilidad fuerte ya que hasta el momento no existe tecnología que pueda reemplazar los servicios que brinda la atmosfera. Por ejemplo, las consecuencias del cambio climático, resultado de la emisión de GEI, han podido ser controladas por la tecnología.

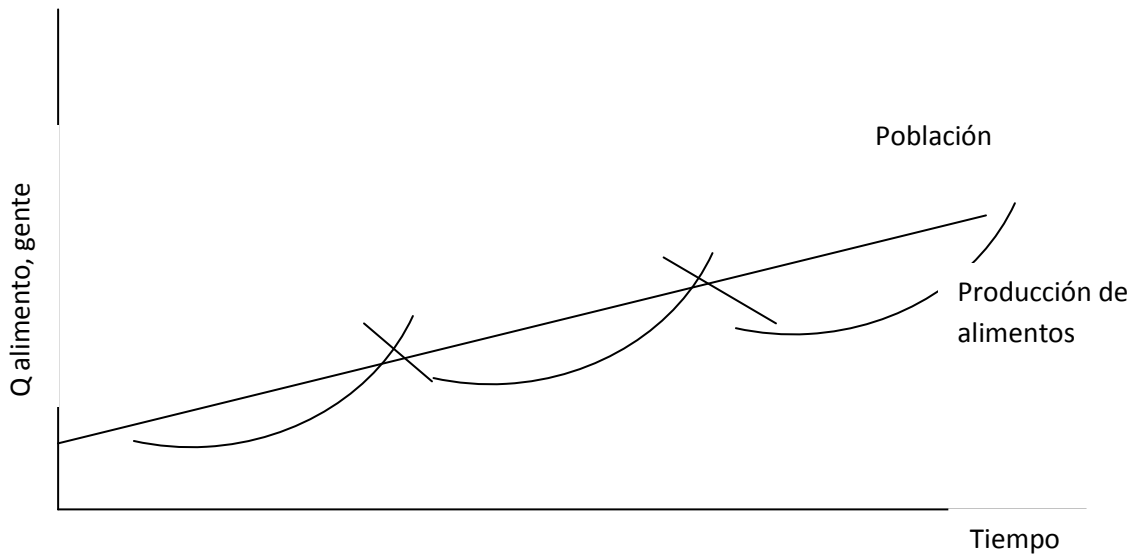
### **1.3 La población humana y medio ambiente.**

El crecimiento de la población desempeña un papel importante en el medio ambiente, al interactuar ésta con los recursos naturales para satisfacer sus necesidades y alcanzar su bienestar utiliza materiales extraídos de la naturaleza y genera residuos que impactan de manera directa e indirecta en los ecosistemas.

El estudio de la población y el medio ambiente empezó con el economista Thomas R. Malthus (1766-1834). Afirmaba que las poblaciones humanas eran capaces de aumentar exponencialmente y que harían eso siempre y cuando contaran con suficientes alimentos y otros bienes esenciales. Formuló la hipótesis de que los alimentos podrían crecer de manera aritmética a través de nuevas tecnologías y la expansión de nuevos hábitats. Por otro lado consideraba que el crecimiento de la población lo hacía de manera geométrica. Puesto que los alimentos crecen de manera aritmética y la población lo hace de manera geométrica, en determinado momento la población sería incapaz de contar con los alimentos necesarios para subsistir. De acuerdo con Malthus cada que la población creciera más que los alimentos, esta devastaría el suelo, iría a la guerra debido a la comida y sucumbiría a la enfermedad y el hambre. Posteriormente el número de seres humanos disminuiría a niveles sustentables y a partir de allí el proceso se repetiría. En la figura 6 se muestra el modelo del crecimiento y colapso de la población propuesto por Malthus (Costanza, 1999).

El modelo de Malthus tuvo un gran éxito debido a su sencillez, pero la dinámica del crecimiento de la población y la forma en la que interactúa con el medio ambiente es más compleja. Malthus proporcionó un modelo poderoso, pero su sencillez restringe su utilidad para la creación de políticas más allá de la prescripción obvia de que para lograr la sustentabilidad probablemente sería mejor tener menos gente en vez de más (Costanza, 1999).

Figura 6. Modelo del crecimiento y colapso de la población de Thomas Malthus



Fuente: Costanza et al. (1999)

La idea de que la interacción de la población con el medio ambiente ha ocasionado problemas ambientales ha sido retomada por diversos autores y corrientes económicas. Por su parte, la economía ecológica ha sugerido que el planeta tiene una capacidad de carga, entendiendo a esta como el tamaño máximo de población que un medio ambiente puede mantener sin deteriorar su base de recursos y que ésta ya se ha rebasado (Common y Stagl, 2000 & Costanza y Daly, 1999).

Para Costanza et al. (1999) los problemas básicos para los cuales es necesario implementar instrumentos de manejo innovadores incluyen los siguientes:



- Poblaciones humanas demasiado grandes y en aumento que exceden la capacidad de carga del planeta.
- Tecnologías que reducen los recursos de la tierra y cuyos desperdicios no asimilados envenenan el aire, el agua y el suelo.
- Conversión del suelo que destruye el hábitat, aumenta la erosión del suelo y acelera la pérdida de la diversidad de las especies.

Es claro que es necesario poner atención al tamaño de la población de las economías ya que éstas han rebasado la capacidad de carga del planeta, sin embargo, la pregunta que se plantea es: ¿Cuál es el tamaño óptimo de población? (Common y Stagl, 2000 & Costanza y Daly, 1999).

Martínez y Roca (2000) argumentan que aplicar el concepto de capacidad de carga y buscar un tamaño óptimo de población humana es difícil por las siguientes razones:

Primero, intentar establecer un monto máximo de población humana conllevaría a plantearse una nueva pregunta ¿máxima población, con qué consumo? Es obvio que la población que se puede mantener con el nivel de vida de una población rica es mucho menor que la que se puede mantener con un nivel de vida próximo a la subsistencia.

Segundo, la existencia de la tecnología, que sea amigable con el medio ambiente, y su ritmo de crecimiento hacen que la capacidad de carga disminuya. De acuerdo con la corriente Boserupiana, el incremento de la población incentiva el desarrollo tecnológico. La tesis de Boserup, de acuerdo con Martínez y Roca (2000) fue pertinente hasta que cambiaron las técnicas agrícolas, alrededor de 1849, cuando los insumos externos a la agricultura fueron el rasgo distintivo de la nueva tecnología basada en el nuevo conocimiento de la química agrícola.

Tercero, los territorios ocupados por los seres humanos no están dados, somos capaces de competir con otras especies y con otros humanos por la apropiación de áreas. Esto dificulta establecer un territorio en el cual aplicar el concepto de capacidad de carga.

Cuarto, la última razón por la que no se puede aplicar la noción de capacidad de carga directamente a los humanos es el comercio internacional. El comercio internacional

puede verse, de hecho, como una apropiación de la capacidad de carga de otros territorios. Por ejemplo, no se podría comparar la capacidad de carga de Estados Unidos con la de China puesto que gran parte de los productos consumidos en Estado Unidos provienen de China. Por otro lado, el comercio internacional resulta recomendable ya que si a un territorio le falta un elemento muy necesario que es muy abundante en otro lugar, entonces se recomendaría el intercambio y, por lo tanto, la capacidad de carga de todos los territorios sumados sería mayor que la suma de las capacidades de carga de todos los territorios autárquicos. Entre los dos extremos, la completa globalización del comercio o la autarquía regional, cabe una posición ecológica sensata que se vincula con propuestas recientes de comercio justo y ecológico provenientes de numerosas organizaciones no gubernamentales.

En el presente capítulo se describieron los conceptos y las diferencias entre las ramas de la economía que han abortado el problema ambiental, es decir, la economía neoclásica y la economía ecológica así como el concepto de desarrollo sustentable.

El presente trabajo retoma algunos conceptos tanto de la economía neoclásica como de la economía ecológica en el siguiente sentido. Tanto la economía neoclásica como la economía ecológica concuerdan en que el deterioro del aire es un problema que está afectando a la humanidad. Es decir, ambas corrientes ven el problema desde un enfoque antropocéntrico y utilitarista. Por otro lado, en la economía ecológica existe un fundamento ético que permite modificar las preferencias de los individuos y de este modo promover la salud individual y social. Si la variable población resulta ser la más importante en el deterioro del aire, se podría incentivar a los individuos a tener menos hijos con la finalidad de alcanzar la salud individual y social.

En este trabajo se retomará el concepto de desarrollo sustentable desde el enfoque de la sustentabilidad fuerte ya que desde esta perspectiva la calidad del aire no puede ser reemplazada por algún otro factor. Este trabajo estudia en qué medida el crecimiento de la población y algunos procesos productivos impactan en la calidad del aire para poder hacer propuestas de política ambiental que conlleven al desarrollo sustentable.

También se revisó el papel de la población y su interacción con el medio ambiente. Se reconoce que la población ha rebasado la capacidad de carga del planeta, sin

embargo es muy complicado establecer un tamaño óptimo de población por diversas razones como son la existencia del comercio internacional, el avance tecnológico y diferentes niveles de consumo entre los países desarrollados y subdesarrollados.

## Capítulo 2. Antecedentes

En el presente capítulo se hace una revisión de algunas propuestas que han estudiado los diferentes factores que inciden en el deterioro ambiental, cuáles de estos se observan en México y qué políticas se han implementado para solucionarlos.

El capítulo estará dividido en cuatro secciones. En la primera sección se analizan algunas posturas que analizan los factores que inciden en el deterioro ambiental. En la segunda sección se analiza el caso de la contaminación atmosférica en México. En la tercera, se hace una revisión del desarrollo de la política ambiental en México. En la última sección se ofrecen las conclusiones.

La primer postura que se analiza es la de Donella H. Meadows y Dennis L. Meadows (1972), en el trabajo *los límites del crecimiento y cambio climático: un informe al club de Roma*. En éste se destaca que el deterioro ambiental depende tanto del crecimiento de la población como del crecimiento de la producción industrial. Lo anterior se logra a través de un modelo mundial en el que se interrelacionan las variables: tasa de crecimiento de la población, tasa de crecimiento de la producción industrial, desnutrición, agotamiento de recursos naturales y deterioro ambiental.

La segunda postura que se estudia es la de la identidad IPAT sugerida por Ehrlich y Holdren (1972), esta identidad surge con el trabajo desarrollado por Ehrlich (1968) el cual fue criticado por Commoner (1971). Finalmente se concluye con la identidad IPAT que el impacto del deterioro ambiental depende de: el crecimiento de la población, la riqueza y la tecnología. Las críticas, soluciones y derivaciones de la identidad IPAT también son abordadas en este apartado. Se revisan las soluciones planteadas por Preston (1996), Dietz y Rosa (1997), York, et al. (2003) y Gans y Jost (2005).

La última postura que se analiza es la del WWF (2010). En este se destaca que el deterioro ambiental depende de: el crecimiento de la población, el consumo y la tecnología. Lo anterior se hace a través de la herramienta denominada huella ecológica.

## **2.1 Factores que inciden en el deterioro ambiental desde diferentes enfoques.**

### **2.1.1 Los límites del crecimiento: informe al club de Roma sobre el predicamento de la humanidad.**

En 1968 surgió el Club de Roma, un grupo de científicos y políticos preocupados por los diversos problemas que enfrenta la humanidad, por tal motivo, en 1970 invitó al Grupo sobre Dinámica de Sistemas del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) a realizar un estudio en el que se mostrara la interrelación entre diferentes factores que amenazan a la sociedad global, estos eran:

- 1) La acelerada industrialización;
- 2) El rápido crecimiento demográfico;
- 3) La extendida desnutrición;
- 4) El agotamiento de los recursos no renovables y
- 5) El deterioro del medio ambiente.

El informe estuvo encabezado por los hermanos Donella H. Meadows y Dennis L. Meadows. El objetivo del informe era definir los límites y obstáculos físicos del planeta a la multiplicación de la humanidad y de la actividad humana. Para llevar a cabo su estudio, los hermanos Meadows proponen un modelo mundial en el que se interrelacionan las cinco variables antes mencionadas y se muestran sus tendencias e implicaciones durante todo un siglo (Meadows, 1972).

El método que se utilizó para observar el comportamiento de la interrelación entre las variables fue el de “Dinámica de Sistemas”, desarrollado por el profesor Jay W. Forrester en el MIT. Una de las principales ventajas de esta técnica es que permite la representación de las relaciones mundiales gráfica o matemáticamente de modo que

tanto demógrafos, economistas, líderes gubernamentales y otras personas interesadas en este problema lo pueden entender (Meadows, 1972).

En el desarrollo del modelo se toman en consideración las tasas de crecimiento de la población y de la producción industrial debido a que muchas políticas de desarrollo se enfocan en fomentar el crecimiento de la segunda en relación con el primero (Meadows, 1972).

De acuerdo con el informe, el crecimiento de la población es uno de los principales problemas que enfrenta la humanidad. “En 1650, la población era de 500 millones, su tasa de crecimiento era de aproximadamente 0.3% anual, y su periodo de duplicación era de cerca de 250 años. En 1970 la población sumaba un total de 3,600 millones y la tasa de crecimiento anual era del 2.1% anual, que correspondía a un periodo de duplicación de 33 años. Así pues, la población no sólo ha crecido exponencialmente, sino que la tasa de crecimiento también se ha elevado” (Meadows, 1972:52-53). El estudio destaca que la tasa de crecimiento de la población se había elevado de 0.3% en 1650 a 2.1% en 1970. En el modelo, el comportamiento dinámico de la población estará en función de los nacimientos y las defunciones.

En lo que respecta a la variable producción industrial se dice que ésta ha crecido aún con mayor rapidez que la población. “La tasa media de crecimiento de 1963 a 1968 fue de 7% anual” (Meadows, 1972:59). En el modelo, la producción industrial estará en función de la inversión y de la depreciación del capital.

Después de observar que tanto la tasa de crecimiento de la población y de la producción industrial presentan tasas de crecimiento exponencial, el modelo se plantea determinar qué pasa con el resto de las variables planteadas.

En cuanto a la tercera variable, la extendida desnutrición, los resultados del modelo predecían que en 2000 habría una grave escasez de tierra si la necesidad *per cápita* de este elemento y las tasas de crecimiento de la población seguían siendo las mismas que hasta ese momento (Meadows, 1972).

El crecimiento de la población tiene repercusiones en esta variable debido a que a medida que la población crece se utiliza la tierra cultivable disponible con fines urbano-industriales. Aunado a la falta de tierras cultivables se presenta otro límite a la producción

de alimentos, el agua. La demanda de este vital líquido presenta un incremento exponencial por lo que se dificulta aún más la producción de alimentos necesaria para alimentar a la creciente población (Meadows, 1972).

Respecto a la cuarta variable, los recursos no renovables, el Informe señala que si la demanda de algunos recursos no renovables como son la plata, el estaño, y el uranio se mantiene a niveles como los que se observaban en 1970, sería posible que estos escasearan a finales del siglo XX. Para el año 2050 podrían agotarse otros minerales (Meadows, 1972).

La última variable que se incorpora al modelo es el deterioro ambiental. De este se dice que casi todos los contaminantes están influenciados por el crecimiento de la población y de la industrialización (Meadows, 1972)

En el estudio se puede destacar que tanto el crecimiento de la población como de la industrialización ejercen presión sobre el deterioro ambiental, la demanda de recursos no renovables y la escases de alimentos.

Las principales conclusiones a las que se llega en el trabajo de Meadows es que si se mantuvieran las tendencias de crecimiento de la población mundial, industrialización, contaminación ambiental, producción de alimentos y agotamiento de los recursos del año citado, el planeta alcanzaría los límites de su crecimiento en el siglo XX. Admiten que es posible establecer una condición de estabilidad económica y ecológica que permita satisfacer las necesidades humanas básicas. Sin embargo si los humanos se empeñan únicamente en satisfacer sus necesidades materiales, el logro de un equilibrio económico y ecológico será inalcanzable (Meadows, 1972).

Después de que *Los límites del crecimiento* recibiera una gran cantidad de críticas principalmente por economistas ortodoxos, se publicó un nuevo trabajo titulado más allá de los límites del crecimiento (1992) atendiendo a algunas críticas que se habían hecho al modelo mundial planteado. Las conclusiones a las que se llega con este nuevo planteamiento son básicamente las mismas a las que se había llegado anteriormente, sin embargo, se replantean de la siguiente forma:

1. El uso de muchos recursos esenciales y la generación de distintas clases de contaminantes por parte de los seres humanos ya han superado las tasas físicamente sostenibles. Sin reducciones significativas de los flujos de materia y energía, durante las próximas décadas veremos un deterioro sin control en la producción de alimentos, de energía y de producción industrial *per cápita*.
2. Ese deterioro no es inevitable. Para evitarlo, son necesarios dos cambios. El primero es una revisión exhaustiva de las políticas y prácticas que perpetúan el crecimiento del consumo material y de la población. El segundo es un aumento rápido y drástico de la eficiencia con que se utilizan la materia y la energía.
3. Aun es técnica y económicamente posible lograr una sociedad sostenible, sin embargo esto exige más que productividad y más que tecnología, madurez, solidaridad y sabiduría (Common y Stagl, 2008 p. 246 citan a Meadows et al., 1992).

Actualmente, la población y la producción industrial siguen aumentando, sin embargo, la tasa de crecimiento de la población ha observado una tendencia a la baja. En 2012, según datos del banco mundial, este fue de 1.5% con respecto a 2011. Por otro lado, a pesar de que la producción también ha aumentado se han observado muchas desigualdades en la distribución del ingreso.

A pesar de que no se ha producido una catástrofe a nivel mundial como se predecía en *Los Límites del crecimiento*, las variables analizadas como son la escasez de alimentos, el deterioro ambiental y los recursos no renovables sí se han visto afectados. En 2005 la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) señaló que 36 países se encontraban en condición de ayuda externa y otros 11 afrontaban perspectivas agrícolas desfavorables (FAO, 2005). En cuanto al deterioro ambiental, las emisiones de dióxido de carbono, por mencionar un ejemplo, se han ido incrementando a nivel mundial provocando enfermedades, aumentos de temperatura, sequías, etc. y finalmente, en referencia al uso de recursos no renovables el ejemplo es el de las reservas de petróleo, de acuerdo con la Secretaria de Energía (SENER) éstas han disminuido en los últimos años, por ejemplo, en México, las reservas probadas mostraron una disminución a una tasa promedio anual de 5.9% en el período 1999-2009 (SENER, 2011).

Los párrafos anteriores demuestran el papel que tienen tanto el crecimiento de la población como la producción industrial en el deterioro ambiental. Por lo tanto, estos conceptos se retomarán más adelante en este trabajo.

Otro autor que desataca el papel que juega el crecimiento de la población en el deterioro ambiental es Birdsall (1992) especificó dos mecanismos a través de los cuales el crecimiento de la población puede contribuir a la emisión de GEI.

1. Una población grande podría resultar en un incremento de la demanda de energía, industrias y transporte, por lo tanto en un incremento de las emisiones por fuentes fósiles.
2. El rápido crecimiento de la población puede causar la deforestación, otros cambios en el uso del suelo, y combustión de madera para combustibles. esto podría contribuir significativamente a la emisión de GEI.

A pesar de que el crecimiento de la población tiene un importante rol en las emisiones de GEI, Birdsall (1992) reconoce que la reducción de ésta, por sí sola, no reducirá el potencial del problema del calentamiento global.

Así mismo, Bradshaw y Brook (2014) argumentan que una reducción de la población no será suficiente para hacer frente a los problemas ambientales a los que se enfrenta la sociedad actual. Será necesario acompañarla de mejoras tecnológicas e innovación social, así como de nuevas e inteligentes formas que permitan conservar las especies y los ecosistemas restantes, fomentando las reducciones *per cápita* de consumo de bienes irremplazables y el tratamiento de la población como una meta de planificación a largo plazo.

Lo anterior no quiere decir que el crecimiento de la población no sea importante al considerar los factores que inciden en el deterioro ambiental, se destaca el hecho de que una política de reducción de la población, encaminada a abatir el deterioro ambiental, deberá ir acompañada de otras medidas. Bradshaw y Brook (2014) mencionan que una política de planificación familiar y educación sobre reproducción tienen un gran potencial para reducir el tamaño de la población humana y aliviar la presión sobre la disponibilidad



de recursos en el largo plazo, además de generar otras ventajas sociales, como un menor número de abortos, de abortos involuntarios, y de mortalidad materna.

### 2.1.2 La identidad IPAT

Paul Ehrlich es un famoso biólogo de poblaciones de la Universidad de Stanford, autor de libros sobre superpoblación humana. En *The population bomb* (1968) se hace una descripción de la relación que existe entre el crecimiento de la población y el medio ambiente. El autor sostiene que la raíz del problema es que cada vez hay más coches, más fábricas, más detergentes, más pesticidas, menos agua, demasiado dióxido de carbono, resultado de que hay demasiada población en el mundo (Ehrlich, 1968). Se plantea la pregunta ¿qué es lo que vamos a hacer? La respuesta dice, es simple: “debemos tener rápidamente a la población mundial bajo control, ya sea, reduciendo la tasa de crecimiento a cero o haciéndola negativa”<sup>3</sup> (ibíd.:130). Paul Ehrlich plantea que el principal factor que determina el deterioro ambiental es el crecimiento de la población.

Para Schoijet (2005) las predicciones realizadas por Ehrlich (1968) han sido desmentidas por los hechos pues se ha observado una importante tasa de decremento de la población y el incremento de la productividad y la producción agrícola, sin embargo no hay que ser demasiado optimistas puesto que aún está en duda la sostenibilidad de esta producción pues los rendimientos que presenta son decrecientes. Además sigue habiendo desnutrición y degradación ambiental considerables.

A pesar de que, como bien lo dice Schoijet, las tasas de crecimiento de la población han disminuido, la población en términos absolutos sigue aumentando. A este fenómeno se le conoce como impulso demográfico, es decir mayores aumentos absolutos pese a que disminuyen las tasas de crecimiento (Common y Stagl, 2008).

Por otro lado, en respuesta a la propuesta de Ehrlich surgió un trabajo desarrollado por Barry Commoner, “*The closing circle*” en este sostiene que el deterioro ambiental depende principalmente del tipo de tecnología que se utilice y no tanto de la población como señaló Ehrlich (Commoner, 1971).

---

<sup>3</sup> Traducción propia.

Posteriormente Ehrlich y Holdren (1971) en *Impact of Population Growth* plantean analizar si la tecnología es suficiente para hacer frente a los problemas ambientales a los que se enfrenta el mundo.

Para llevar a cabo el trabajo se plantean cinco teoremas que se cree que son una verdad demostrable y que proporcionan un marco para el análisis realista:

1. "El crecimiento de la población causa un impacto negativo desproporcionado en el medio ambiente.
2. Los problemas de tamaño y crecimiento de la población, la utilización de recursos y el agotamiento de los mismos y el deterioro del medio ambiente deben ser considerados conjuntamente y de forma global. En este contexto, el control de la población, obviamente no es una panacea, es necesaria pero no suficiente por sí solo para mitigar los problemas ambientales.
3. La densidad de población es una medida deficiente de la presión demográfica y la redistribución de la población sería una solución pseudopeligrosa para el problema de la población.
4. "Medio Ambiente" debe interpretarse en sentido amplio para incluir cosas tales como el entorno físico de los guetos urbanos, el medio ambiente de comportamiento humano y el entorno epidemiológico.
5. Las soluciones teóricas a nuestros problemas no suelen ser operativas y, a veces no son soluciones" (Ehrlich y Holdren, 1971:1212).

Las conclusiones a las que llegan estos autores es que no hay soluciones monolíticas a los problemas que enfrentamos. En efecto, el control de la población, el cambio de dirección de la tecnología, la transición de abierto a ciclos cerrados de recursos, la distribución equitativa de las oportunidades y los ingredientes de la prosperidad deben todos ser cumplidos si ha de haber un futuro que valga la pena tener. La tecnología no es suficiente y es necesario hacer un estudio detallado sobre el crecimiento de la población. El fallo en alguna de estas áreas seguramente saboteará toda la organización (Ehrlich y Holdren, 1971).

Ehrlich y Holdren (1971) muestran que el crecimiento de la población sigue siendo un problema que enfrenta la humanidad, sin embargo, se reconoce que no es la única variable que afecta al medio ambiente, proponer criterios de política económica tomando en consideración únicamente esta variable, sería una pseudosolución e incluso podría ser peligrosa. Se muestra también que llevar a cabo soluciones que tomen en cuenta únicamente a la tecnología tampoco serían suficientes para mitigar el deterioro ambiental.

Posteriormente Ehrlich y Holdren en diálogo con Commoner idearon una ecuación simple en la que se identifica al crecimiento de la población, la riqueza y la tecnología como factores multiplicativos que inciden en el deterioro ambiental. Esta herramienta es conocida con el nombre de identidad IPAT (Chertow, 2001).

$$I=P \times A \times T$$

Donde I representa el impacto ambiental, P el tamaño de la población, A la riqueza y T la tecnología.

De acuerdo con Common y Stagl (2008) ésta ecuación se trata de una identidad, algo que siempre será verdadero, debido a como están definidas las variables.

A continuación se presenta un ejemplo tomado de Common y Stagl (2008) para calcular el impacto ambiental con la identidad IPAT.

I representa el impacto ambiental, éste puede ser medido en distintas unidades, - toneladas, litros, pies cúbicos, etc.- P se mide como cantidad de personas. La riqueza A, se mide por el producto total de bienes y servicios de una economía, dividido por la población, donde el producto total se mide en unidades monetarias como producto interno bruto (PIB). Si la unidad monetaria es \$, el PIB es una cantidad de \$. La tecnología se mide en unidades de lo que sea que estamos analizando, una extracción o inserción específica con respecto al medio ambiente por \$ de PIB.

Dadas estas definiciones la identidad quedaría de la siguiente manera.

$$I = cantidad \times \frac{\$}{cantidad} \times \frac{unidades}{\$}$$

Dado que se trata de una multiplicación se puede eliminar cantidad con cantidad y \$ con \$, de esta manera el impacto quedará en función únicamente de las unidades de lo que estemos midiendo.

Tomemos las emisiones globales de CO<sub>2</sub> para el año 2000 de acuerdo con Common y Stagl (2008).

P, la población global fue de 6 mil millones,  $6 \times 10^6$

A, el PIB *per cápita* promedio para el mundo en su totalidad, fue de \$7000

T, la cantidad promedio de CO<sub>2</sub> liberado a la atmosfera por cada \$ del PIB global producido en 2000, fue de 0.00055 toneladas.

Utilizando la identidad IPAT se puede calcular que el impacto ambiental fue:

$$I=(6 \times 10^6) \times 7000 \times 0.00055 = 23.1 \times 10^9 = 23,100 \text{ millones de toneladas.}$$

El anterior resultado muestra que en 2000 el impacto ambiental de las emisiones de CO<sub>2</sub> fue de 23,100 millones de toneladas.

A fin de plantear este ejemplo, la cifra asignada a T se calculó dividiendo el total global de emisiones de CO<sub>2</sub>, 23,100 millones, por el PIB total global obtenido de  $P \times A$  ( $6 \times 10^6$ )  $\times 7000$ .

Esta herramienta se ha utilizado principalmente para analizar el impacto de las tres variables antes mencionadas en las emisiones de dióxido de carbono, sin embargo la manera en que se ha planteado esta herramienta ha sido sujeta de muchas críticas, por ejemplo, esta identidad es una tautología ya que siempre será cierta, es decir, el tamaño de la población, el nivel del PIB y la tecnología siempre ejercerán presión sobre el medio ambiente, además no ayuda a predecir qué pasará con el deterioro ambiental en un futuro, sin embargo, esta herramienta se puede utilizar en situaciones hipotéticas aplicadas al futuro (Common y Stagl, 2008).

Otra de las críticas que ha recibido la identidad IPAT es que asume que las variables del lado derecho de la ecuación son independientes, es decir que el comportamiento de una de ellas no influye sobre el comportamiento de las otras, lo cual es falso (Commoner, 1972).

Para hacer frente a las críticas realizadas a la identidad IPAT, Preston (1996) sugirió usar un enfoque diferente. El propone no llevar a cabo el análisis para cada ciudad

separadamente, sino hacer un análisis en diferencias entre países. Específicamente las variaciones de las emisiones son atribuidas a los correspondientes cambios de las tasas de crecimiento de las emisiones, el cambio tecnológico y el crecimiento del PIB *per cápita*. Además él estima la varianza de las tasas de crecimiento promedio de las emisiones para un periodo específico observado. Aplicando un análisis de varianzas y covarianzas desarrolla un modelo econométrico. Los resultados a los que llega Preston sugieren que la identidad IPAT no se trata de una identidad sino de un modelo económico ecológico pero con una fuerte hipótesis: la independencia del cambio de las variables explican el cambio de las emisiones. Sin embargo, esta hipótesis no ha sido encontrada por Preston ni en las bases de un modelo teórico ni por investigaciones empíricas (Gans y Jost, 2005).

Otro trabajo que utiliza a la identidad IPAT para analizar el impacto de las fuerzas antropogénicas en la degradación del medio ambiente es el que desarrollaron Waggoner y Ausubel (2002). Se desarrolla a través de la identidad IPAT una nueva herramienta denominada identidad ImPACT. En este nuevo planteamiento, P sigue representando el crecimiento de la población, A, la riqueza medida a través del PIB *per cápita*, se agrega un elemento que es C y representa el consumo por unidad de producto, T representa el impacto por unidad de consumo. Planteado así, la identidad ImPACT se ilustraría de la siguiente forma:

$$I = P \times \frac{PIB}{P} \times \frac{\text{consumo de energía}}{PIB} \times \frac{\text{emisiones de CO}_2}{\text{consumo de energía}}$$

Note que, al igual que en la identidad IPAT, los términos P, PIB y consumo de energía se pueden eliminar dejando el impacto en términos de las unidades que se desean medir.

El objetivo de dicho trabajo es determinar cuáles son los actores que podrían ser usados como palanca para disminuir el deterioro ambiental. En la “identidad ImPACT”, padres modifican P, trabajadores modifican A, consumidores modifican C, y productores modifican T. El trabajo concluye que las palancas que se podrían utilizar para aminorar el impacto de las fuerzas antropogénicas en el ambiente serán C y T. Una disminución de C, denominada desmaterialización o una disminución de T denominada innovación pueden ayudar a hacer frente a los retos del desarrollo sostenido.

Aunado a los planteamientos anteriores, Gans y Jost (2005) sostienen que la identidad IPAT es un buen punto de partida para analizar el impacto del crecimiento de la

población en el deterioro ambiental. Sin embargo, se debe tener en cuenta dos consideraciones: 1) debemos probar empíricamente si las variables del lado derecho de la ecuación son significativas para explicar el impacto ambiental y 2) se debe considerar que existe interdependencia entre las variables del lado derecho de la ecuación.

Dietz y Rosa (1997) tratan el primer problema y proponen un modelo econométrico en el que quitan la variable tecnológica y argumentan que el impacto de esta variable puede ser resumido como un término de error, es decir, es el residual del modelo empírico. Utilizan el método de análisis de regresión no paramétrica para permitir las no linealidades del modelo, el cual no requiere una suposición a priori acerca de las formas funcionales que ligan a la población, la riqueza y la tecnología. Su análisis muestra que el modelo tiene un mejor ajuste cuando se usa un modelo log-polinomial con significancia lineal y términos cuadráticos en la variable población y términos cuadráticos y cúbicos en la variable riqueza. De acuerdo a su estudio empírico, el cual está basado en 111 países, emisiones de CO<sub>2</sub> y producto interno bruto *per cápita* para el año 1989 encuentran que el coeficiente de la población es 1.149 y el coeficiente de la riqueza es 1.084. Ambos coeficientes están ligeramente por encima de la unidad, esto sugiere que la identidad original podría ser una aproximación razonable.

Por otro lado Gans y Jost (2005) reconocen que aun cuando se use el modelo de Dietz y Rosa (1997) el cual descansa en una hipótesis científica concerniente a la relación entre las variables, se descuida la posible interdependencia entre las variables del lado derecho de la ecuación (población y riqueza).

Por su parte Gans y Jost (2005) encuentran que una forma de enfrentar el problema de la interdependencia de las variables del lado derecho de la ecuación es a través de un modelo de ecuaciones simultáneas.

El trabajo de Gans y Jost (2005) concluye que los enfoques de descomposición pueden utilizarse para la descripción a posteriori o por motivos de explicación y predicción. Además el uso del enfoque de descomposición como un modelo teórico presupone que el desarrollo independiente de las variables del lado derecho de la identidad de Ehrlich y Holdren (1972) pueden ser justificadas en las bases de investigaciones teóricas y empíricas. Este problema puede ser resuelto si la perspectiva de análisis es cambiada formulando la descomposición de la ecuación en términos de varianzas como Preston sugirió.

Por otro lado, York et al. (2003) llevaron a cabo una investigación cuyo objetivo era evaluar la utilidad analítica de la identidad IPAT, la identidad ImPACT, y su primo estocástico, el modelo Stochastic Impacts by Regression on Population, Affluence and Technology (STIRPAT). Se discute la relación entre estas tres formulaciones, sus fundamentos conceptuales similares y sus usos divergentes. Posteriormente los autores clarifican el modelo STIRPAT mediante el concepto de elasticidad ecológica (EE).

Para llevar a cabo la investigación, primero se clarifica la relación entre STIRPAT y la identidad IPAT así como la identidad ImPACT (York et al., 2003). Posteriormente se desarrolla una herramienta analítica y conceptual, elasticidad ecológica, la cual permite refinar la interpretación de los coeficientes del modelo STIRPAT y de este modo poder entender como los humanos afectan al medio ambiente (York et al., 2003). Después se discute cómo los hallazgos del STIRPAT se relacionan con las aplicaciones de la identidad IPAT y del ImPACT (York et al., 2003). Finalmente, se ilustra la utilidad del STIRPAT y la elasticidad ecológica (EE) mediante la realización de un análisis empírico sistémico nacional cruzado de emisiones de dióxido de carbono y el consumo energético (York et al., 2003).

Los resultados obtenidos sugieren que la población tiene un efecto (elasticidad unitaria) en las emisiones de dióxido de carbono y el consumo de energía. La riqueza incrementa monótonamente ambos, las emisiones de dióxido de carbono y el consumo de energía. Sin embargo, para el consumo de energía la relación entre la riqueza e impacto cambia de inelástica a elástica cuando la riqueza se incrementa, mientras que en las emisiones de dióxido de carbono la relación cambia de elástica a inelástica (York et al., 2003).

Se concluye que el modelo STIRPAT aumentado con medidas de elasticidad ecológica, permite una mayor precisión de especificación de la sensibilidad de los impactos ambientales a las fuerzas que impulsan ellos. Tales especificaciones no solo informan a la ciencia básica del cambio ambiental sino que también responde a los factores que pueden ser más sensibles a la política (York et al., 2003).

Además de los trabajos mencionados anteriormente, Shi (2002) encuentra que existe una relación entre el tamaño de la población, el PIB *per cápita* y la contaminación atmosférica. Se plantea mostrar si el crecimiento de la población tiene una elasticidad

unitaria con respecto a las emisiones de CO<sub>2</sub> y si el impacto de los cambios en la población es homogéneo entre países con diferentes niveles de ingreso *per cápita*.

Además, Shi (2002) sostiene que existen dos corrientes contrarias que analizan el papel de la población en el deterioro ambiental. Por un lado la corriente Malthusiana argumenta que el crecimiento de la población no está a la par con la explotación de los recursos naturales, minerales y recursos energéticos, y la capacidad del medio ambiente para absorber los desechos generados por las actividades de la humanidad. Por su parte los Boserupiano<sup>4</sup> argumentan que las altas densidades de la población son un prerrequisito para la innovación tecnológica en la agricultura. Los estudiosos de esta corriente argumentan que una mayor población ejerce presión para realizar mejoras tecnológicas y proveer soluciones tecnológicas a los problemas ambientales. Es probable que no haya una relación entre el estado del medio ambiente y la población e incluso puede que exista una elasticidad negativa.

Shi (2002) estima un modelo de datos panel con 93 países de 1975 a 1996. Toma como referencia el modelo STIRPAT de Dietz y Rosa (1997), la variable explicada son las emisiones de dióxido de carbono y las variables explicativas son el PIB *per cápita*, el PIB *per cápita* al cuadrado, la población, la manufactura como porcentaje del PIB y los servicios como porcentaje del PIB.

El PIB *per cápita* se introduce para medir el consumo. La manufactura como porcentaje del PIB y los servicios como porcentaje del PIB representan la tecnología o el daño ambiental. Lo anterior se debe a que algunos estudios han sugerido que la diferencia entre intensidad energética o intensidad de emisiones, la cual es T en el modelo IPAT, podría deberse a la diferencia en la estructura económica de cada país (Shi, 2002).

El trabajo encuentra que los cambios en la población global sobre las últimas dos décadas están asociados más que proporcionalmente con los cambios en las emisiones de dióxido de carbono y que el impacto en los cambios de la población en las emisiones es más marcado en los países subdesarrollados que en los desarrollados. En los países de ingresos bajos-medios la elasticidad de las emisiones con respecto a la población es cercana a 2 mientras que en los países de alto ingreso es menos que uno (Shi, 2002).

---

<sup>4</sup> Nombrados así a partir de los trabajos de Ester Boserup.



Los resultados obtenidos por el autor dan soporte a la hipótesis de la corriente Malthusiana la cual sugiere que el impacto del crecimiento de la población en las emisiones es más que proporcional. Shi (2002) encuentra que en los países subdesarrollados esta hipótesis se puede probar.

### **2.1.3 Presiones sobre la biodiversidad.**

De acuerdo con el Fondo Mundial para la Naturaleza existen causas directas e indirectas que ejercen presión sobre la biodiversidad<sup>5</sup>. Para medir el deterioro ambiental este organismo retoma el concepto de huella ecológica la cual está definida como una “medida de la carga impuesta por una población dada en la naturaleza. Representa la superficie de la tierra necesaria para sostener los niveles actuales de consumo de recursos y la descarga de desechos por dicha población” (Wackernagel y Rees, 1996:20). De acuerdo con el WWF esta medida es una función de la población, el consumo y la eficiencia con que se aprovechan los recursos (WWF, 2010).

Adicionalmente, Blackman et al. (2014) considera que existen factores y conductores que amenazan la biodiversidad. Los primeros se refieren a actividades como el crecimiento de la población, el crecimiento económico, la globalización, el cambio tecnológico, incentivos perversos, la distribución de la tierra y la gobernanza. Los conductores son actividades tales como la intensificación agrícola, la tala, la expansión urbana, los incendios y la minería.

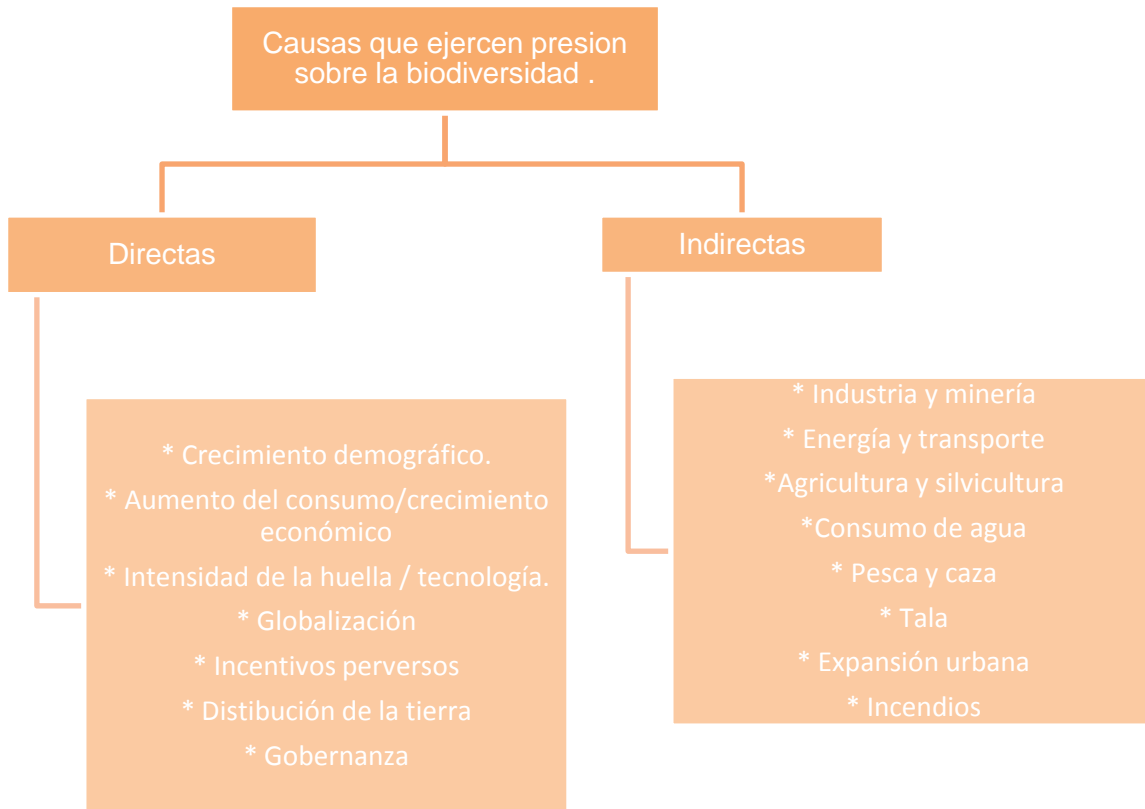
Se puede observar que los factores de Blackman et al. (2014) y las causas directas del WWF (2010) se refieren a lo mismo, también los conductores y las causas indirectas coinciden. Solo hay un elemento en el que difieren estos autores en cuanto a su impacto en la biodiversidad. Blackman et al. (2014) considera que la tecnología es un elemento que contribuye de manera negativa en la biodiversidad, más adelante se explica por qué.

A continuación se muestra una gráfica que ilustra las causas que inciden en el deterioro ambiental.

---

<sup>5</sup> El WWF entiende a la biodiversidad como la variabilidad de organismos vivos de cualquier fuente, incluidos, entre otras cosas, los ecosistemas terrestres y marinos y otros ecosistemas acuáticos y los complejos ecológicos de los que forman parte; comprende la diversidad dentro de cada especie, entre las especies y de los ecosistemas.

Figura 7. Factores que ejercen presión sobre la biodiversidad.



Fuente: Elaboración propia con base en WWF (2010) y Blackman et al., (2014).

#### Causas directas:

El crecimiento demográfico es considerado como uno de los principales causantes del deterioro ambiental. De acuerdo con Gans y Jost (2005) esto se debe a que naciones con altas tasas de crecimiento poblacional, tales como los estados de África, no pueden producir suficientes bienes para satisfacer las necesidades de sus habitantes. Parecería que es necesaria una expansión de la producción de varios bienes para que la gente pueda sobrevivir. Pero, una mayor producción de bienes podría agravar los problemas ambientales, en particular si los países menos desarrollados siguen los patrones de desarrollo de los países industrializados.

Por otro lado, incluso, si hubiera un consenso de que el crecimiento de la población es un factor importante que incide en el deterioro ambiental, existe un debate acerca de la relación exacta que existe entre el crecimiento de la población, el desarrollo económico y los sistemas ambientales<sup>6</sup> (Gans y Jost, 2005).

De acuerdo con el Informe Planeta Vivo (WWF, 2010) la población y la huella global promedio han aumentado desde 1961. Pero más o menos a partir de 1970 la huella global ha sido relativamente constante a pesar de que la población sigue creciendo.

El Informe Planeta Vivo (WWF, 2010) sostiene que el crecimiento de la población genera obstáculos para alcanzar objetivos de desarrollo en los países de ingresos bajos ya que el exceso de consumo de bienes impide satisfacer las necesidades de cada individuo creando una economía dependiente. Por ejemplo, algunos países como África tienen una huella más pequeña que la que tuvieron en 1961. En este país la población se ha triplicado y su biocapacidad<sup>7</sup> disponible por persona ha descendido en más de 67% y su huella por persona promedio ha disminuido 19%

Se sostiene además que en los países de ingresos medianos el crecimiento de la población y de la huella por persona está contribuyendo a una mayor presión sobre la biosfera.

Por su parte los países de ingresos altos presentan una tasa de crecimiento pequeña, la creciente huella se ha debido a las emisiones de dióxido de carbono observadas en esos países.

Para el caso mexicano, este se encuentra dentro de los países más poblados dentro de América Latina y el Caribe ocupando el segundo lugar con 112 millones 336 mil 538 habitantes en 2010, en 2005 ocupó el segundo lugar con mayor huella ecológica, el primer lugar lo ocupó Uruguay.

El crecimiento económico afecta a la biodiversidad ya que un incremento de éste conlleva a un mayor consumo de alimentos, productos forestales, suelo, minerales y energía, etc. El aumento del consumo de bienes y servicios irresponsable está agotando el capital natural del Planeta. A pesar de que se han observado pérdidas de la vida

---

<sup>6</sup> Traducción propia.

<sup>7</sup> El informe planeta vivo (WWF 2012:39) define la biocapacidad como “la capacidad de los ecosistemas para producir material biológico útil y absorber residuos generados por los humanos, mediante los actuales sistemas de gestión y tecnologías de extracción”, es decir, la biocapacidad mide la capacidad regenerativa del planeta.

silvestre en la tierra, las demandas de recursos naturales siguen aumentando. Si las demandas de la humanidad siguen creciendo al ritmo en que lo hacen a mediados de la década de 2040 serán necesarios dos planetas para mantener el estilo de vida al que se está acostumbrado (WWF, 2010 y Blackman et al., 2014).

Shoijet (2005) coincide en que el consumo representa un factor de presión importante sobre los recursos naturales, llevó a cabo un estudio en el cual sostiene que el deterioro ambiental no está determinado por el crecimiento de la población si no por las prácticas consumistas que lleva a cabo la actual sociedad. Para este autor, la solución depende de una lucha en contra de los ideales de consumo que se han impuesto a la sociedad que lejos de presentar mejoras han generado grandes problemas de alimentación, como son la desnutrición y el hambre a nivel mundial. Es decir evitar prácticas consumistas.

Pimentel et al. (2010) comparte la idea de que el consumo y el tamaño de la población son dos de las principales prácticas llevadas a cabo por el hombre que ejerce una fuerte presión sobre los recursos de la tierra. Sostiene que la población debería llegar a un óptimo sugerido de 2 billones de habitantes. Una reducción de la población aunada a una reducción del consumo tendrían como consecuencia una mejora en el medio ambiente, sin embargo, esto también ocasionaría problemas sociales, económicos y políticos. Por otro lado, el crecimiento continuo y desmedido de la población se traducirá en una situación desesperada con brotes mayores de hambre y enfermedades.

Para Pimentel et al. (2010) el control del crecimiento de la población, la reducción de las practicas consumistas acompañados de una eficiente tecnología que sea amigable con el medio ambiente, serán necesarios para evitar que las fuerzas naturales controlen el crecimiento de la población a través de hambrunas, desastres naturales y enfermedades.

La globalización ha contribuido a la pérdida de la biodiversidad ya que el alza en los precios de los productos de exportación incentivan la intensificación agrícola y la minería (Blackman et al., 2014).

Los incentivos perversos como el apoyo a los precios de los productos agrícolas y otros subsidios podrían afectar a la biodiversidad ya que estos promueven la deforestación (Blackman et al., 2014).

La mala distribución de la tierra en América Latina y el Caribe ha contribuido a la pérdida de biodiversidad principalmente porque los campesinos sin tierra y los pequeños

agricultores han expandido la agricultura de frontera y favorecido la deforestación tropical (Blackman et al., 2014).

Adicionalmente, El monitoreo inadecuado y la aplicación de regulaciones ambientales y la implementación de planes de uso de suelo y otras políticas de administración de recursos han contribuido a la deforestación en América Latina y el Caribe (ALC) (Blackman et al., 2014).

El tercer factor directo que considera el WWF es la intensidad de la huella: esta se refiere a que la eficiencia con la que los recursos naturales son convertidos en bienes y servicios afecta al tamaño de la huella de todos los productos que se consumen. Esta varía según los países. Este último factor sugiere que una mejora tecnológica ayudaría a mitigar el proceso de deterioro ambiental. Blackman et al. (2014) considera que ciertos tipos de tecnología lejos de ayudar a combatir el deterioro ambiental contribuyen a degradarlo, esto es porque cambio tecnológico puede favorecer la expansión agrícola. Por ejemplo, los avances en la producción y uso de etanol en Brasil han contribuido a la expansión de producción de azúcar. Además la tecnología facilita la limpieza de bosques que utiliza la agricultura.

Las causas indirectas del deterioro ambiental, propuestas por el WWF, son resultado de las causas directas, por lo que basta con analizar las segundas para tener un panorama claro de la postura del WWF.

#### **2.1.4. Población y sus efectos en el deterioro del aire.**

De acuerdo con Jiang y Hardee (2010) las estadísticas históricas revelan que el crecimiento demográfico es paralelo a los aumentos en el crecimiento económico, el consumo de energía y emisiones de GEI, sin embargo, sigue habiendo un debate sobre si los niveles de crecimiento de la población o el aumento de consumo han contribuido relativamente más a las emisiones de GEI.

De acuerdo con este autor, el crecimiento de la población debería analizarse tomando en cuenta la dinámica de la misma, es decir, tomando en cuenta la evolución de variables como la fecundidad, la mortalidad, la migración, la urbanización, el crecimiento y la estructura por edades de la población.

La urbanización es un aspecto que resulta de suma importancia en el estudio de la dinámica de la población y sus efectos en el deterioro ambiental. Con base en Jiang y Hardee (2010), el crecimiento de una población urbana no tendrá el mismo impacto en el ambiente que el crecimiento de una población rural. Al respecto menciona que no sería necesario tener en cuenta el impacto de la urbanización si no hay grandes diferencias en los comportamientos productivos y de consumo entre la población rural y urbana.

Para fines ilustrativos supongamos una población total de 100 habitantes, de los cuales 50 viven en zonas rurales y 50 viven en zonas urbanas. Se emiten 10 y 20 unidades *per cápita* de contaminantes respectivamente, esto implica una media de 15 unidades entre los dos tipos de población. Si se duplica el tamaño de la población, las emisiones totales aumentarán pero si la proporción entre la población urbana y la rural se mantiene, la media de las emisiones *per cápita* seguirá siendo de 15. De acuerdo con Jiang y Hardee (2010) bajo estas circunstancias no es necesario dar cuenta de la diferencia urbano-rural en el componente demográfico de los modelos climáticos. Pero ¿qué pasaría si la población rural se convierte en urbana? entonces las emisiones *per cápita* aumentarían a 20 unidades, mayor que si no se considerara la transición de una economía rural a urbana. Por tal motivo es importante considerar la transición de la población rural a urbana.

Respecto a la estructura por edades, el envejecimiento es otro factor demográfico que se debe tomar en consideración para el análisis del impacto de la población en el deterioro ambiental. Sin embargo, de acuerdo con Jiang y Hardee (2010) este factor se encuentra más relacionado con las emisiones de carbono en países desarrollados que en países subdesarrollados. Por otro lado la urbanización es más significativa en los países en desarrollo. El análisis de este trabajo se centra en un país en desarrollo como lo es México, por tal motivo no se profundizará en el análisis de la variable envejecimiento.

Por otro lado, Jiang y Hardee (2010) argumentan que otra variable que contribuye a la emisión de contaminantes atmosféricos es el progreso tecnológico. Lo anterior se debe al hecho de que el progreso tecnológico aumenta la eficiencia energética y reduce los costos, esto a su vez, contribuye a un mayor consumo de energía. Esta relación positiva entre el cambio tecnológico y las emisiones de carbono se mantendrá sin cambios hasta 2050, hasta que se logren nuevas mejoras en la tecnología, lo que logrará

una reducción sustancial de la intensidad de consumo de energía y las emisiones de carbono.

En este apartado se ha observado, con base en los trabajos revisados, que los principales factores que inciden en el deterioro ambiental han sido: el crecimiento de la población (y su interacción con otras variables como son una mayor demanda de energía, industrias, transporte, mayor deforestación asociado a cambios de uso de suelo), la riqueza, el consumo y la tecnología, por lo que en esta investigación se estudiará cómo dichos factores inciden en el deterioro ambiental en México.

Así mismo, se mostró que de acuerdo con los autores que se revisaron algunas alternativas que existen para hacer frente al deterioro ambiental son: políticas de mayor educación sobre planificación familiar y educación sexual, encaminadas a disminuir el crecimiento de la población, mejoras tecnológicas, innovación social, disminución *per cápita* del consumo y una distribución equitativa de las oportunidades y los ingredientes de la prosperidad.

En el cuadro 2 se resumen los estudios analizados y los factores que agudizan el deterioro ambiental y los que lo mitigan.

Cuadro 2. Factores que inciden en el deterioro ambiental.		
Estudio.	Principales factores que influyen en el deterioro ambiental	
	Agudizan	Mitigan
Los Límites del crecimiento: un informe al club de Roma (Meadows, 1972)	Crecimiento de la población Industrialización	
The population bomb, (Ehrlich, 1968)	Crecimiento de la población	
Identidad IPAT (Ehrlich y Holdren, 1972)	Crecimiento de la población Riqueza	Tecnología
Another look at population and global warming (Birdsall, 1992)	Crecimiento de la población relacionado a una mayor demanda de bienes y servicios y una mayor deforestación.	
The effect of population growth on environmental quality (Preston, 1996).	Crecimiento de la población Riqueza	Tecnología
Effects of population and affluence on CO2-emissions (Dietz y Rosa, 1997)	Crecimiento de la población Riqueza	
A framework for sustainability science: a renovated IPAT identity	Crecimiento de la población Consumo	Innovación Desmaterial

(Waggoner y Ausubel, 2002)	Riqueza	ización.
Población y producción de alimentos. Tendencias recientes (Schojjet, 2005)	Consumo	
Informe Planeta Vivo (WWF, 2006, 2008, 2020, 2012)	Crecimiento de la población Consumo	Tecnología
Methods, STIRPAT, IPAT and ImPACT: analytic tools for unpacking the driving forces of environmental impacts (York et al., 2003)	Crecimiento de la población Consumo	Tecnología
The impact of population pressure on global carbon dioxide emissions, 1975 /1996: evidence from pooled cross-country data (Shi, 2002)	Población (El impacto varía dependiendo del nivel de ingreso de los países). PIB <i>per cápita</i>	
How do recent population trends matter to climate change (Jiang y Hardee, 2010)	Tendencias de la población: Población urbana y envejecimiento Tecnología.	
Will limited land, water, and energy control human population numbers in the future? (Pimentel et al., 2010)	Crecimiento de la población Consumo	Tecnología.
Human population reduction is not a quick fix for environmental problems (Bradshaw y Brook, 2014)	Crecimiento de la población (Reducir esta no será suficiente para hacer frente a los problemas ambientales a los que se enfrenta la humanidad). Consumo	Tecnología
Fuente: Elaboración propia.		

## 2.2 La contaminación atmosférica en México.

El deterioro ambiental se define de acuerdo con la SEMARNAT (2011) como la “transformación de un ecosistema, por la cual éste se aleja de su clímax, perdiendo biodiversidad, biomasa, humedad, riqueza y estabilidad”. En este sentido, la contaminación atmosférica es considerada como un proceso de degradación del aire. Está definido como la “presencia en la atmósfera de uno o más contaminantes o sus combinaciones, en cantidades tales y con tal duración que puedan afectar la vida humana, de animales, de plantas, o de la propiedad que interfiera el goce de la vida, la propiedad o el ejercicio de las actividades” (Wark y Warner, 1994:22).

Con base en el Protocolo de Kyoto, los principales Gases de Efecto Invernadero (GEI) que están afectando la calidad del aire y contribuyendo a su vez al cambio climático son



en orden de importancia: el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), hidrofluorocarbonos (HFC ), perfluorocarbonos (PFC ) y hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>).

En México, en 2005 se emitieron en el país alrededor de 71.2 millones de toneladas de contaminantes atmosféricos, 22% fueron emitidos por fuentes naturales y 78% por fuentes antropogénicas (SEMARNAT, 2012).

“Las emisiones de CO<sub>2</sub> fueron de 493,450.6 Gg<sup>8</sup> en 2010, contribuyeron en 65.9% al total del inventario nacional de emisiones y tuvieron un incremento de 23.6% con respecto a 1990. Las emisiones de CO<sub>2</sub> en el país provienen principalmente de la quema de combustibles fósiles, uso de suelo, cambio de uso de suelo y silvicultura (USCUSS) y procesos industriales. Los sectores con mayor contribución porcentual de emisiones de CO<sub>2</sub> en el 2010 fueron: transporte, 31.1%; generación eléctrica, 23.3%; manufactura y construcción, 11.4%; consumo propio de la industria energética, 9.6%; conversión de bosques y pastizales, 9.2%, y otros (residencial, comercial y agropecuario), 6.7%” (INE-SEMARNAT, 2012:197).

El sector uso de suelo, cambio de uso de suelo y silvicultura (LULUCF por sus siglas en inglés) tiene un papel importante en el deterioro del medio ambiente ya que no solo afecta la calidad del suelo sino que también tiene implicaciones sobre la atmósfera. De acuerdo con de Jong et al. (2010) es uno de las seis principales fuentes de emisión de GEI, especialmente de CO<sub>2</sub>. A escala mundial en 2004 el sector LULUCF fue la tercer fuente de emisión más importante de GEI con alrededor de 17% de las emisiones totales después de suministro de energía e industria que representaron el 26 y 19% respectivamente del total de las emisiones.

Los procesos que inciden en el cambio de uso de suelo son la deforestación, la alteración y la fragmentación.

El tema de la deforestación en México ha sido difícil de tratar debido a que se han utilizado diversos indicadores para medir la superficie afectada. Tan sólo en los últimos veinte años se han generado cifras que van desde las 155 mil hasta 776 mil hectáreas al año. La CONAFOR estimó un total de 155,000 hectáreas deforestadas por año durante el periodo 2005-2010 (SEMARNAT, 2012). “De esta manera, de acuerdo con los informes

---

<sup>8</sup>Gigagramo

para la FAO, entre 1990 y 2010 se observa una tendencia a la reducción de la superficie deforestada anualmente en el país: mientras que entre 1990 y 2000 se calcula que se perdían 354 mil hectáreas anuales, esta cifra se redujo a 235 mil y 155 mil para los periodos 2000-2005 y 2005-2010, respectivamente” (SEMARNAT, 2012:65).

La actividad antropogénica que más incide en la deforestación en México ha sido la agricultura, seguida de los desmontes ilegales. Otro factor no antropogénico que tiene efectos en la deforestación han sido los incendios forestales (SEMARNAT, 2012).

En cuanto a la alteración, otro proceso de cambio de uso de suelo, se dice que el caso de México es preocupante ya que en 2012 sólo el 36% y el 62% de las selvas y los bosques, respectivamente, eran primarios, es decir, que nunca han sufrido algún tipo de deforestación, alteración o fragmentación (SEMARNAT, 2012). La alteración seguida por la deforestación es la ruta de cambio de uso del suelo más frecuente en México, especialmente cuando se trata de selvas.

Una forma de medir el deterioro del suelo mexicano es tomando en consideración tanto la deforestación como la alteración, si se toman en consideración estos dos procesos, el suelo se deterioró durante el periodo 1977-2007 a una ritmo de 213 mil hectáreas por año (SEMARNAT, 2012).

El último proceso antropogénico que se aborda en esta sección es la fragmentación. En México, este proceso ha tenido repercusiones graves. “De acuerdo a la Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Serie IV, en el 2007 los bosques fueron los ecosistemas forestales más fragmentados del país: 54% de su superficie remanente (alrededor de 18.4 millones de ha) se repartía en fragmentos menores a 80 kilómetros cuadrados.

[...]Con respecto a las selvas, cerca del 38% de su superficie está en fragmentos menores a 80 kilómetros cuadrados, es decir, 12.1 millones de hectáreas” (SEMARNAT, 2010:70).

Por otro lado, la contaminación atmosférica tiene efectos a nivel local, regional y global. Varios países como Japón, China y México enfrentan, desde hace tiempo, problemas de calidad del aire en sus principales zonas metropolitanas; en el caso

particular de México, destaca el Valle de México como el más conocido y documentado. Además de los efectos locales asociados a la mala calidad del aire en la salud de las personas, también se presentan efectos a nivel regional, como la afectación de los bosques y ecosistemas acuáticos debido a la lluvia ácida o, incluso, a nivel mundial, como el cambio climático y la reducción del espesor de la capa de ozono estratosférico, cuyos efectos más evidentes se manifiestan en Antártica (SEMARNAT, 2012).

El Instituto Mexicano para la Competitividad A.C. (IMCO) estima que entre el año 2001 y el 2005 murieron en México 38 mil personas por cáncer de pulmón, enfermedades cardiopulmonares e infecciones respiratorias relacionados con la exposición a la contaminación atmosférica, generada principalmente por automotores. También mencionó que de acuerdo con la OMS en 2010 el número de muertes por contaminación del aire en México fue de 14,700 (IMCO, 2012).

Un problema derivado las enfermedades causadas por la contaminación atmosférica son los altos costos en el sistema de salud y la reducción de la productividad de los trabajadores. Esto afecta la competitividad de las ciudades, ya que afecta la calidad de vida de los ciudadanos, ahuyenta al talento y podría incluso limitar la llegada de nuevas inversiones (IMCO, 2015).

Sumado a los problemas de salud que causa la contaminación atmosférica, ésta también contribuye al problema del cambio climático. La principal evidencia del cambio climático que se está observando es el aumento de temperatura de la atmosfera terrestre, lluvias y tormentas más intensas, sequías prolongadas, la disminución en la extensión del hielo y de la capa de nieve sobre la superficie terrestre, aumento del nivel medio del mar y los cambios en el comportamiento y distribución sobre la Tierra de algunas especies animales y vegetales.

Otro sistema que se ha visto afectado por el cambio climático ha sido el del agua. Éste se ha visto afectado por eventos extremos como son las sequías e inundaciones, también se han observado otros fenómenos de evolución más lenta como son el incremento en el nivel del mar, afectaciones de la calidad de agua, la acidificación del océano o el retroceso de los glaciares, entre otros (IPCC, 2008).

México es un país vulnerable a este tipo de fenómenos por diversas razones. Su ubicación geográfica coloca a dos terceras partes del país en zonas áridas o semiáridas mientras una tercera parte está sujeta a inundaciones, además se encuentra expuesto a ciclones tropicales. Su vulnerabilidad también aumenta debido a la diferencia de elevación en el territorio y por la distribución de la precipitación y diferencias en el escurrimiento, durante el curso del año y en espacio a lo largo y ancho del país. Se ha calculado que el 71% del PIB se encuentra altamente expuesto al riesgo de los impactos adversos del cambio climático. Un ejemplo de lo anterior fueron los costos calculados por inundaciones extremas, heladas atípicas y fuertes sequías durante los años 2010, 2011 y 2012 respectivamente. Se ha calculado que los costos por inundaciones, huracanes y tormentas en 2010 fue de 69 mil millones de pesos, el costo de las heladas a inicios de 2011 en algunos estados fue de 30 mil millones de pesos en el sector agrícola y por último, la pérdida en el sector agrícola por la sequía en 2012 fue de 16 mil millones de pesos.

Por otro lado, la disponibilidad del agua en México ha disminuido como resultado del crecimiento de la población. “En 1910 la disponibilidad del agua era de 31 mil m<sup>3</sup> por habitante al año; para 1950 había disminuido hasta un poco más de 18 mil m<sup>3</sup>; en 1970 se ubicó por debajo de los 10 mil m<sup>3</sup>, en 2005 era de 4 573 m<sup>3</sup> y para 2010 disminuyó a 4 230 m<sup>3</sup> anuales por cada mexicano” (INEGI, 2014).

Además de la presión que sufre el agua debido al cambio climático, existen otros problemas que afectan este vital recurso para la vida humana como es la contaminación. Entre los factores que reducen la calidad del agua destacan las descargas directas de agua o residuos sólidos provenientes de las actividades domésticas, agropecuarias o industriales; la disposición inadecuada en el suelo de residuos sólidos urbanos o peligrosos puede ocasionar, indirectamente, que escurrimientos superficiales y lixiviados contaminen los cuerpos de agua y los acuíferos (SEMARNAT, 2012).

A través de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)<sup>9</sup> se estimó que en 2010 de los sitios muestreados, 3.8% estaban fuertemente contaminados, 7.5% contaminado y

---

<sup>9</sup> Este parámetro se utiliza para estimar la cantidad de materia orgánica que es degradada por procesos biológicos. Un aumento en la DBO<sub>5</sub> provoca una disminución en la cantidad de oxígeno disuelto en el agua, que es indispensable para que se mantenga la vida en los ecosistemas acuáticos. El origen de la materia orgánica, susceptible a biodegradarse, son las aguas residuales domésticas. En estudios realizados por

11.3% estaban por debajo del límite aceptable. 42.3% mostró calidad excelente, 27.5% buena calidad y 19.8% fue de calidad aceptable. Los valores más altos de DBO<sub>5</sub> se encuentran en las zonas altamente pobladas, principalmente en la zona centro del país (CONAGUA, 2012).

Para medir el deterioro del aire en México el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) creó el Inventario Nacional de Emisiones de México (INEM), en éste se presentan los principales contaminantes atmosféricos a nivel nacional, por entidad federativa y por municipio. Los contaminantes atmosféricos que se pueden encontrar en tal inventario son: Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>); Monóxido de carbono (CO); Óxidos de nitrógeno (NOX); Compuestos orgánicos volátiles (COV); Partículas en suspensión (menores a 10 y 2.5 µm); Amoníaco (NH<sub>3</sub>) y Carbón negro.

Otra forma de medir el deterioro del aire ha sido a través de las emisiones de CO<sub>2</sub>, autores como York et al. (2003), Dietz y Rosa (1997) han utilizado las emisiones de CO<sub>2</sub> como indicador de deterioro ambiental.

### **2.3 Política ambiental en México.**

A nivel internacional, la preocupación por el estado del medio ambiente comenzó durante la década de los setenta. En México los problemas ambientales han sido percibidos desde dos perspectivas diferentes. Por un lado, durante el periodo de estabilización del régimen revolucionario y los primeros años de la década de los setenta, los problemas ambientales representaban un obstáculo para la producción y el comercio. Posteriormente se observó que el deterioro ambiental estaba ocasionando problemas serios en la salud. En 1985 se creó la Comisión Nacional de Ecología (CONADE) con la intención de generar una política ambiental integrada.

A partir de la estabilización del régimen revolucionario hasta los años setenta, la gestión ambiental ha estado de cierta manera implícita. Durante este periodo, se mostró una preocupación por el medio ambiente que sobre todo obedecía a intereses comerciales. Así, se impuso una restricción a la pesca de algunas especies de alto valor comercial como el camarón, la langosta, el langostino, entre otros. En el subsector

---

CANAGUA se ha encontrado que los valores más altos de DBO<sub>5</sub> se encuentran en las zonas altamente pobladas, principalmente en la zona centro del país. (CONAGUA, 2012).

hidráulico, se llevaron a cabo grandes obras de construcción que ayudarían a una mejor gestión del agua orientada hacia el uso en la agricultura (SEMARNAT, 2006).

A partir de los años setenta, se observó un nuevo problema relacionado con el deterioro ambiental, el de la salud. La población civil se vio afectada por la mala calidad del aire, principalmente en la Ciudad de México. En 1971 surgió la Ley Federal para Prevenir la Contaminación Ambiental y en 1972 se crea la Subsecretaría de Medio Ambiente (SSMA), dependiente de la Secretaría de Salubridad y Asistencia (SSA).

Durante la década de los setenta, la política ambiental no llevó a cabo actividades concretas que estuvieran encaminadas a mejorar la calidad ambiental. Hasta 1983 surge la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE) y trabajó en coordinación con la SSA. Las tareas de estas instituciones estaban encaminadas a resolver problemas urbanos de contaminación, intervenir en problemas de flora y fauna y proteger los ecosistemas naturales (SEMARNAT, 2006).

Posteriormente, con la intención de crear una política ambiental integrada, se creó la Comisión Nacional de Ecología (CONADE) en 1985, sin embargo su acción fue muy limitada (SEMARNAT, 2006).

En 1988 se expide la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente cuya tarea primordial era buscar una regulación integral del medio ambiente, cerrando la brecha que existía entre la vertiente "contaminación" de la legislación ambiental y la de los "recursos naturales" (SEMARNAT, 2006).

Durante el gobierno 1988-1994 se crea la Secretaría de Desarrollo Social, el Instituto Nacional de Ecología (INE) y la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA).

Para el sexenio 1994-2000 se eleva la cuestión ambiental a nivel de ministerio con la creación de la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP) cuyas tareas estaban enfocadas a administrar y aprovechar los recursos naturales. De este modo se logró tener una gestión ambiental más integral. Elevar a la cuestión ambiental a nivel de ministerio es de suma importancia ya que da cuenta de la importancia que el Estado Mexicano le está dando a las cuestiones ambientales, además esto conlleva implicaciones presupuestarias y fomenta la profesionalización y continuidad del sector (Guevara, 2005).

A partir de 2000 se desincorpora el ramo pesquero de la SEMARNAP y se transforma la secretaría en Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Durante este año también se creó la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), y con ello se sentaron las bases para avanzar más rápido y consistentemente en este tema (Guevara, 2005.)

Durante el sexenio 2001-2006 se estableció en el Plan Nacional de Desarrollo a la sustentabilidad como uno de los doce principios fundamentales, para lograr alcanzar los objetivos planteados. Además de realizar cambios en las políticas ambientales, se creó la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR).

Posteriormente, en el sexenio 2006-2012, en materia de política ambiental, se plantea asegurar la sustentabilidad ambiental mediante la participación responsable de los mexicanos en el cuidado, la protección, la preservación y el aprovechamiento racional de la riqueza natural del país, logrando así afianzar el desarrollo económico y social sin comprometer el patrimonio natural y la calidad de vida de las generaciones futuras (Alfie, 2011).

Durante este mismo sexenio se llevó a cabo en México la 16° conferencia de las Partes de la convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. La cumbre finalizó con modestos acuerdos y con la postergación de temas de gran relevancia, como la continuidad del Protocolo de Kioto y las metas de reducción del calentamiento global.

En el Plan Nacional de Desarrollo 2012-2018 dentro de las líneas de acción se establece una política ambiental incluyente donde se aprovechen de manera sustentable y sostenible los recursos naturales existentes en las regiones indígenas y la conservación del medio ambiente y la biodiversidad, aprovechando sus conocimientos tradicionales.

Dentro de las estrategias en materia de política ambiental se encuentran: implementar una política integral de desarrollo que vincule la sustentabilidad ambiental con costos y beneficios para la sociedad; fortalecer la política nacional de cambio climático y cuidado al medio ambiente para transitar hacia una economía competitiva, sustentable, resiliente y de bajo carbono; proteger el patrimonio natural; impulsar el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales del país; impulsar la

sustentabilidad y que los ingresos generados por el turismo sean fuente de bienestar social.

También se creó el Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales (PROMARNAT) con la finalidad de atender los siguientes objetivos: promover y facilitar el crecimiento sostenido y sustentable de bajo carbono con equidad y socialmente incluyente; incrementar la resiliencia a efectos del cambio climático y disminuir las emisiones de compuestos y GEI; fortalecer la gestión integrada y sustentable del agua, garantizando su acceso a la población y a los ecosistemas; recuperar la funcionalidad de cuencas y paisajes a través de la conservación, restauración y aprovechamiento sustentablemente del patrimonio natural; detener y revertir la pérdida de capital natural y la contaminación del agua, aire y suelo y desarrollar, promover y aplicar instrumentos de política, información investigación, educación, capacitación, participación y derechos humanos para fortalecer la gobernanza ambiental.

Las políticas ambientales que se han implementado en México no han tomado en cuenta a la densidad de la población como un factor que contribuya a la degradación del medio ambiente. La SEMARNAT ha admitido que la población es uno de los principales factores que dañan el medio ambiente (SEMARNAT, 2012) sin embargo, dentro de las estrategias y las líneas de acción del Plan Nacional de Desarrollo no se ha establecido nada que conlleve a una disminución de la población con la finalidad de alcanzar una mejora en el medio ambiente.

En este capítulo se presentó un análisis desde diferentes enfoques acerca de qué factores inciden en el deterioro ambiental, se concluye que el crecimiento de la población, la riqueza, y el consumo agudizan el deterioro ambiental mientras que una mejora tecnológica podría ayudar a mitigarlo. Los tipos de deterioro que se han observado en México han sido del aire, del suelo y del agua. Las políticas que se han implementado para mitigar estos tipos de deterioro ambiental no han tomado en consideración que la población es un factor importante causante del deterioro ambiental.



## Hipótesis

Las hipótesis que guía a este trabajo de investigación son las siguientes:

1. Los principales factores que impactan en el deterioro del aire son el tamaño de la población, el ingreso, el consumo y el tipo de tecnología que se utilice.
2. Existe una relación positiva entre el tamaño de la población y las emisiones de contaminantes atmosféricos y una relación positiva entre el ingreso y la emisión de contaminantes atmosféricos. Es decir, a medida que se incremente la población y el ingreso, la emisión de contaminantes atmosféricos también aumentará.
3. De acuerdo con la evidencia estadística revisada se puede plantear que la variable que tiene un mayor impacto en el deterioro del aire es el crecimiento de la población.

## Capítulo 3: Metodología

En este capítulo se analiza el impacto de la población, la población urbana, el PIB per cápita, el PIB generado por la industria, el PIB industrial de los siguientes sectores: minería, electricidad, agua y suministro de gas por ductos al consumidor final, construcción e industrias manufactureras, el PIB agrícola y la superficie cosechada en la contaminación del aire en México medido a través de la emisión de los siguientes contaminantes: dióxido de azufre, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, compuestos orgánicos volátiles, partículas en suspensión (menores a 10 y 2.5  $\mu\text{m}$ ), amoníaco y carbón negro. Lo anterior se logra a través de un modelo econométrico de sección cruzada para el año 2008 por entidad federativa que relaciona dichas variables. Es importante señalar que se usan datos para 2008 ya que son los datos más recientes que existen para los contaminantes atmosféricos son para el mencionado año.

En la sección 3.2 se da una explicación sobre el motivo por el cual fueron elegidas las variables explicativas del modelo, adicionalmente se llevó a cabo un procedimiento stepwise (paso a paso) para elegir las variables que deberían permanecer en el modelo.

El deterioro del aire en México representa un problema debido a que causa daños al planeta y a la población en su conjunto. Algunos de estos han sido enfermedades y su contribución al calentamiento global. La emisión de GEI ha alterado la composición de la atmosfera provocando cambios en el clima y provocando enfermedades sobre todo de tipo respiratorias. De acuerdo con el Instituto Mexicano para la Competitividad A.C. (IMCO, 2012) se estima que entre el año 2001 y 2005 murieron en México 38 mil personas por cáncer de pulmón, enfermedades cardiopulmonares e infecciones respiratorias relacionados con la exposición a la contaminación atmosférica, generada principalmente por automotores. También mencionó que de acuerdo con la OMS en 2010 el número de muertes por contaminación del aire en México fue de 14,700 (IMCO, 2012).

Las actividades humanas sin duda juegan un papel importante en el deterioro del medio ambiente, sin embargo, estas impactan de diferente manera en los tipos de deterioro ambiental. En este trabajo el deterioro ambiental es medido a través de la condiciones del aire en México. Debido a que es difícil determinar el papel que juegan las diferentes actividades humanas en el deterioro ambiental el objetivo del presente trabajo es analizar en qué medida las fuerzas antropogénicas impactan en la calidad del aire en México. Las fuerzas antropogénicas que se analizan en este trabajo comprenden el tamaño de la población, la población urbana, el PIB *per cápita*, el PIB industrial y agrícola, y la superficie cosechada. Las anteriores variables fueron elegidas ya que de acuerdo con la revisión de la literatura se encontró que estas variables han sido relevantes en otros países, por lo tanto, este trabajo plantea observar qué repercusión tienen estas variables en la contaminación atmosférica.

Para medir el impacto de cada variable en el deterioro del aire se toman los datos por entidad federativa para el año 2008. Se plantea un modelo econométrico que incorpora el concepto de elasticidad ecológica con la finalidad de analizar la sensibilidad del impacto ambiental ante cambios en las fuerzas antropogénicas. El modelo se estima en el programa estadístico STATA.

En la primera parte del capítulo se describe y plantea el modelo. En la segunda parte la definición, justificación y descripción de las variables así como las fuentes de las cuales fueron obtenidos los datos y en la última sección se ofrecen las conclusiones.

### 3.1 Planteamiento del modelo.

En este apartado se describe y plantea el modelo con el que se obtendrán las estimaciones para medir el impacto de las fuerzas antropogénicas en la calidad del aire en México. Se toma como modelo base el planteamiento de York et al. (2003).

El modelo STIRPAT toma como punto de partida la identidad IPAT y el modelo ImPACT desarrollados anteriormente por Ehrlich y Holdren (1971) y Waggoner y Ausubel (2002) respectivamente. York et al. (2003) argumentan que estos planteamientos son una identidad contable que no permiten realizar pruebas de hipótesis y además asumen linealidad en el impacto ambiental. A diferencia de estos, el modelo STIRPAT es un modelo estocástico que permite hacer pruebas de hipótesis y además no asume linealidad en el impacto ambiental. Se incorpora el concepto de elasticidad ecológica con el que se identifica la sensibilidad del impacto ambiental ante un cambio de cualquiera de las fuerzas antropogénicas. Se desagrega la variable  $T$  planteada en los modelos IPAT e ImPACT argumentado que ésta representa todos los factores que impactan en el deterioro ambiental pero que no son ni la población ni el ingreso.

La especificación del modelo es:

$$I_i = aP_i^b A_i^c T_i^d e_i \quad (1)$$

donde  $I$  representa el impacto ambiental,  $P$  representa a la población,  $A$  representa el PIB *per cápita* y  $T$  representa la tecnología,  $a$  representa el escalar del modelo  $b$ ,  $c$  y  $d$  son los exponentes de  $P$ ,  $A$  y  $T$  que deben ser calculados,  $e$  representa el término de error.

En una aplicación típica del modelo STIRPAT,  $T$  es incluida en el término de error, es decir, son aquellos factores que impactan en el deterioro ambiental pero que no son ni la población ni el ingreso. Una forma de facilitar la estimación del modelo (1) es presentar a éste en su forma logarítmica.

Dadas estas condiciones el modelo quedaría de la siguiente manera:

$$\log I = a + b(\log P) + c(\log A) + e \quad (2)$$

donde  $a$  y  $e$  representan el log de  $a$  y  $e$  respectivamente.

## Desagregando T

De acuerdo con York et al. (2003) la variable tecnológica (T) comprende algunos factores que influyen en el impacto ambiental y que no es la población ni el ingreso. Así, T puede ser interpretada como el antilogaritmo del residual del modelo ya que el residual engloba todos los factores que no son la población y el ingreso.

Por otro lado, T puede ser directamente desagregada incluyendo factores adicionales que teóricamente impactan en el deterioro ambiental. Si esto es hecho, entonces la variable T representa los efectos de estos otros factores incluidos en el modelo.

Los factores adicionales que se agregan en esta investigación son: la población urbana, el PIB generado por la industria, el PIB industrial de los siguientes sectores: minería, electricidad, agua y suministro de gas por ductos al consumidor final, construcción e industrias manufactureras, el PIB agrícola, y la superficie. Agregando estos factores y considerando a la emisión de SO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, COV, partículas en suspensión (menores a 10 y 2.5 µm), NH<sub>3</sub> y carbón negro, como una medida del deterioro del aire, el modelo teórico quedaría de la siguiente manera:

$$\log SO = a + b(\log POB) + c(\log POBURB) + d(\log PIBPC) + e(\log PIBIND) + f(\log PIBINDMIN) + g(\log PIBINDEAS) + h(\log PIBINDCON) + i(\log PIBINDMAN) + j(\log PIBAGR) + k(\log SUPCOS) + m \quad (3)$$

$$\log CO = a + b(\log POB) + c(\log POBURB) + d(\log PIBPC) + e(\log PIBIND) + f(\log PIBINDMIN) + g(\log PIBINDEAS) + h(\log PIBINDCON) + i(\log PIBINDMAN) + j(\log PIBAGR) + k(\log SUPCOS) + m \quad (4)$$

$$\log NO = a + b(\log POB) + c(\log POBURB) + d(\log PIBPC) + e(\log PIBIND) + f(\log PIBINDMIN) + g(\log PIBINDEAS) + h(\log PIBINDCON) + i(\log PIBINDMAN) + j(\log PIBAGR) + k(\log SUPCOS) + m \quad (5)$$

$$\log COV = a + b(\log POB) + c(\log POBURB) + d(\log PIBPC) + e(\log PIBIND) + f(\log PIBINDMIN) + g(\log PIBINDEAS) + h(\log PIBINDCON) + i(\log PIBINDMAN) + j(\log PIBAGR) + k(\log SUPCOS) + m \quad (6)$$

$$\log PM = a + b(\log POB) + c(\log POBURB) + d(\log PIBPC) + e(\log PIBIND) + f(\log PIBINDMIN) + g(\log PIBINDEAS) + h(\log PIBINDCON) + i(\log PIBINDMAN) + j(\log PIBAGR) + k(\log SUPCOS) + m \quad (7)$$

$$\log PMM = a + b(\log POB) + c(\log POBURB) + d(\log PIBPC) + e(\log PIBIND) + f(\log PIBINDMIN) + g(\log PIBINDEAS) + h(\log PIBINDCON) + i(\log PIBINDMAN) + j(\log PIBAGR) + k(\log SUPCOS) + m \quad (8)$$

$$\log NH = a + b(\log POB) + c(\log POBURB) + d(\log PIBPC) + e(\log PIBIND) + f(\log PIBINDMIN) + g(\log PIBINDEAS) + h(\log PIBINDCON) + i(\log PIBINDMAN) + j(\log PIBAGR) + k(\log SUPCOS) + m \quad (9)$$

$$\log CN = a + b(\log POB) + c(\log POBURB) + d(\log PIBPC) + e(\log PIBIND) + f(\log PIBINDMIN) + g(\log PIBINDEAS) + h(\log PIBINDCON) + i(\log PIBINDMAN) + j(\log PIBAGR) + k(\log SUPCOS) + m \quad (10)$$

todas las variables se encuentran expresadas en forma logarítmica, más adelante se explica por qué. *SO*, *CO*, *NO*, *COV*, *PM*, *PMM*, *NH* y *CN* representan las emisiones de: dióxido de azufre, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, compuestos orgánicos volátiles, partículas en suspensión (menores a 10 y 2.5 µm), amoníaco y carbón negro respectivamente, *a* y *m* representan el logaritmo de *a* y *m* respectivamente, *POB* representa la población, *POBURB* la población urbana, *PIBPC* el PIB *per cápita*, *PIBIND* el PIB industrial, *PIBINDMIN* PIB industrial sector minería, *PIBINDEAS* el PIB industrial sector energía agua y suministro de gas por ductos al consumidor final, *PIBINDCON* el PIB industrial sector construcción, *PIBINDMAN* el PIB industrial sector manufactura, *PIBAGR* el PIB agrícola y *SUPCOS* la superficie cosechada

### **Elasticidad ecológica (EE)**

El concepto de elasticidad ecológica fue ideado por York et al. (2003). Ésta se refiere a la capacidad de respuesta del impacto ambiental ante un cambio en cualquiera de las fuerzas antropogénicas y permite realizar una interpretación precisa de sus efectos en el deterioro ambiental.

El concepto de EE es el mismo que utilizan los economistas para analizar respuestas en una variable ante cambios en otra. En este caso, se habla de elasticidad ecológica ya que las variables que se analizan son variables ambientales.

Un ejemplo de elasticidad en economía es la elasticidad precio-oferta, esta nos dice que tan sensible es la cantidad ofrecida de un bien ante cambios en el precio. Esto se puede expresar de la siguiente manera:

$$\log Q = \log A + b(\log P) \quad (4)$$

en este caso  $b$  es la elasticidad precio-oferta. Si agregamos un residual, esta ecuación se puede convertir en un modelo estocástico.

De manera análoga podemos establecer una relación entre una variable ambiental y el impacto que ésta tiene en el medio ambiente. Para ello utilizamos el concepto de EE. En el análisis de la emisión de contaminantes atmosféricos las elasticidades están representadas por los coeficientes  $b, c, d, e, f, g, h, i, j$  y  $k$  de la ecuación 3 a la 10. La  $EE_{SOPOB}$  indica la capacidad de respuesta de las emisiones de  $SO_2$  ante un cambio porcentual en la población,  $EE_{SOPIBPC}$  representa la sensibilidad de las emisiones de  $SO_2$  ante cambios porcentuales en el PIB *per cápita* y así sucesivamente con las otras variables.

La interpretación de los coeficientes obtenidos en las elasticidades sería de la siguiente manera:

Coeficiente=1 elasticidad unitaria. Relación proporcional entre la fuerza conductora y el impacto.

Coeficiente >1 relación elástica. Indica que el impacto incrementa más rápidamente que la fuerza conductora.

$0 < \text{Coeficiente} < 1$  relación inelástica. Impacto menos sensible a cambios en las fuerzas conductoras.

Coeficiente <0 relación elástica negativa. Significa que ante un incremento de las fuerzas conductoras el impacto en el deterioro del aire va a disminuir.

## 3.2 Variables.

### 3.2.1 Definición y justificación de las variables.

En el presente apartado se ofrece la definición de las variables dependientes e independientes que serán analizadas en el modelo, su justificación y la fuente de datos. Las variables dependientes son un conjunto de contaminantes atmosféricos que contribuyen al cambio climático y además perjudican la salud de la población. Las

variables independientes están relacionadas con las principales actividades humanas que se considera tienen repercusiones en el deterioro del aire.

### **Variables dependientes.**

#### **Emisión de contaminantes atmosféricos (toneladas)**

Los contaminantes atmosféricos se refieren a la emisión de gases y otros elementos en la atmósfera que contribuyen al deterioro de la calidad del aire y que afectan de manera directa a la salud de la población, estos contaminantes son el dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), compuestos orgánicos volátiles (COV), partículas en suspensión (menores a 10 y 2.5  $\mu\text{m}$ ), amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) y carbón negro.

**Dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ).** Es un gas incoloro que en altas concentraciones puede ser detectado por su sabor y por su olor cáustico e irritante. Se disuelve con facilidad en el agua para formar ácido sulfuroso ( $\text{H}_2\text{SO}_3$ ), el cual se oxida lentamente y forma ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) con el oxígeno del aire. El  $\text{SO}_2$  también puede formar trióxido de azufre ( $\text{SO}_3$ ), vapor muy reactivo que se combina rápidamente con vapor de agua para formar un aerosol ultra fino de ácido sulfúrico, de gran importancia desde el punto de vista de efectos en la salud. En altas concentraciones en individuos normales y más bajas en individuos asmáticos, puede producir bronco-constricción. Se origina cuando se tuestan sulfuros metálicos o se queman combustibles fósiles que contienen azufre (S), tanto en el transporte como en la industria (SEMARNAT, 2014).

**Monóxido de carbono (CO).** Es un gas incoloro, inodoro e insípido, ligeramente menos denso que el aire. En la naturaleza se genera CO en la producción y degradación de la clorofila, mientras que su origen antropogénico se sitúa en las combustiones incompletas, por lo que es emitido casi en su totalidad (98%) por fuentes móviles (principalmente vehículos particulares) (ibíd.). Las emisiones de monóxido de carbono representan problemas en la salud debido a que la afinidad de la hemoglobina por el CO es unas 250 veces mayor que por el oxígeno, el monóxido de carbono se combina con la hemoglobina en los glóbulos rojos de la sangre y forma carboxihemoglobina (COHb) que disminuye la capacidad de la sangre para transportar oxígeno, además de interferir en su liberación en los tejidos, por lo que produce hipoxia y alteraciones del funcionamiento celular en las neuronas, en las células del corazón y en las de otros músculos. La

exposición crónica a CO induce la aparición de fenómenos de aclimatación como el aumento del número de glóbulos rojos, del volumen sanguíneo y el tamaño del corazón (SEMARNAT, 2014).

**Óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>).** Se trata de varios compuestos químicos binarios gaseosos formados por la combinación de oxígeno y nitrógeno. El óxido nítrico (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) son los únicos óxidos de nitrógeno en la atmósfera e introducidos por el hombre. La principal fuente emisora de óxidos de nitrógeno a la atmósfera urbana son los vehículos (especialmente los motores diesel) y en menor medida instalaciones de combustión como las calefacciones (SEMARNAT, 2014).

En cuanto a sus repercusiones sobre la salud, una exposición breve al NO<sub>2</sub> puede provocar irritación del sistema respiratorio y ocular. A largo plazo, los principales efectos pueden ser un desarrollo pulmonar más lento en los niños y la aparición de enfermedades respiratorias crónicas y cerebrovasculares. Aunque toda la población esté expuesta a los contaminantes atmosféricos, no afectan igual a todo el mundo. Los niños, los ancianos y las personas con problemas de salud (como asma, enfermedades del corazón y pulmonares) pueden sufrir más efectos (SEMARNAT, 2014).

**Compuestos orgánicos volátiles (COV).** Los compuestos orgánicos volátiles son un tipo de sustancias (hidrocarburos) que se evaporan a la temperatura ambiente. Tienen un origen tanto natural (COV biogénicos) como antropogénico (debido a la evaporación de disolventes orgánicos, en la quema de combustibles, transporte, etc.) participan activamente en numerosas reacciones, en la troposfera y en la estratosfera, contribuyendo a la formación del smog fotoquímico y al efecto invernadero. Además, junto con los óxidos de nitrógeno, son precursores del ozono troposférico (SEMARNAT, 2014).

Suelen estar presentes en los disolventes utilizados en procesos de limpieza de ropa, aplicaciones de pintura, limpieza de superficies, impresión, barnizados, aplicación de adhesivos, etc. (SEMARNAT, 2014).

Estos compuestos son motivo de preocupación tanto por su papel como precursores de ozono y otros oxidantes, como por la alta toxicidad de algunos de ellos. Debido a su gran variedad, no se conocen completamente sus efectos, sin embargo, para algunos de ellos, como el benceno, se ha reconocido su papel cancerígeno. Cuando las personas se exponen por periodos largos a concentraciones altas de benceno pueden



sufrir edemas y hemorragias bronquio-alveolares. Los efectos cardiovasculares producto de los mismos se expresan como extrasístoles o taquicardia ventricular. Los efectos gastrointestinales dependen de la dosis ingerida, pero pueden producir desde gastritis tóxica hasta estenosis pilórica. De los efectos a la salud producidos por los COV, los hematológicos son los más ampliamente documentados, dado que los componentes celulares de la sangre son muy susceptibles a estas sustancias produciendo pancitopenia, anemia aplásica y leucemia (SEMARNAT, 2014).

**Partículas en suspensión (menores a 10 y 2.5  $\mu\text{m}$ ).** “Las partículas en suspensión comprenden un amplio espectro de sustancias sólidas o líquidas, orgánicas o inorgánicas, dispersas en el aire, procedentes de fuentes naturales y artificiales. Los elementos presentes en las partículas varían según las fuentes locales pero, en general, los principales componentes son carbono, hidrocarburos, material soluble en agua (como el sulfato de amonio), material insoluble que contiene pequeñas cantidades de hierro, plomo, manganeso y otros elementos, así como material biológico (polen, esporas vegetales, virus y bacterias) (SEMARNAT, 2014).

Según su tamaño las partículas se dividen en gruesas, que incluyen a partículas con diámetro entre 2.5 y 10 micrómetros y finas, que tienen tamaños menores a 2.5 micrómetros. Las partículas gruesas, como las que generalmente se levantan del suelo, difícilmente penetran hasta los alveolos pulmonares pues, en su mayoría, son retenidas por las mucosas y cilios de la parte superior del aparato respiratorio. En contraste, partículas provenientes de las quemas agrícolas forestales, así como las generadas por la combustión de vehículos a gasolina y diesel son en su mayoría partículas finas que sí penetran hasta los alveolos pulmonares (SEMARNAT, 2014).

Las partículas pueden tener efectos tóxicos debido a sus características físicas o químicas inherentes, o bien pueden afectar de manera indirecta al hombre tanto por la interferencia de mecanismos del aparato respiratorio como por actuar como vehículo de una sustancia tóxica absorbida o adherida a su superficie (SEMARNAT, 2014).

El aumento de las concentraciones de las partículas en suspensión se ha relacionado con el aumento de visitas a servicios de urgencias, hospitalizaciones por incremento de los padecimientos respiratorios, bronquitis aguda en niños y muerte prematura, principalmente en menores de edad y personas de la tercera edad” (SEMARNAT, 2014).

**Amoniaco (NH<sub>3</sub>).** Se trata de un gas incoloro, de olor muy penetrante, bastante soluble en agua, y en estado líquido es fácilmente evaporable. Se caracteriza porque es una base fuerte, corrosiva y que reacciona violentamente con ácidos, oxidantes fuertes y halógenos (Ministerio de agricultura, alimentación y medio ambiente, 2007).

Una fuente significativa de emisión proviene de la degradación de residuos animales, basuras y del uso de fertilizantes nitrogenados, que provoca una elevada concentración de nitratos de las aguas superficiales (Ministerio de agricultura, alimentación y medio ambiente, 2007).

A nivel industrial, los focos de contaminación más significativos tienen lugar en los procesos de fabricación y tratamiento de textiles, plásticos, explosivos, pulpa y papel, alimentos y bebidas, productos de limpieza domésticos, refrigerantes y otros productos (Ministerio de agricultura, alimentación y medio ambiente, 2007).

Efectos para la salud humana y el medio ambiente. La exposición a altas concentraciones de amoníaco en el aire, puede producir quemaduras graves en la piel, ojos, garganta y pulmones, y en casos extremos puede provocar ceguera, daño en el pulmón (edema pulmonar) e incluso la muerte. A bajas concentraciones puede causar tos e irritación de nariz y garganta. Su ingesta provoca quemaduras graves en la boca, la garganta y el estómago, y en estado líquido al evaporarse rápidamente, puede provocar congelación al contacto con la piel (Ministerio de agricultura, alimentación y medio ambiente, 2007).

El amoniaco es fácilmente biodegradable, las plantas lo absorben con mucha facilidad eliminándolo del medio, de hecho, es un nutriente muy importante para su desarrollo, aunque la presencia de elevadas concentraciones en las aguas superficiales, como todo nutriente, puede causar graves daños en los seres vivos, ya que interfiere en el transporte de oxígeno por la hemoglobina (Ministerio de agricultura, alimentación y medio ambiente, 2007).

**Carbón negro.** Es un aerosol o material particulado, que se produce en la combustión incompleta e ineficiente de combustibles fósiles, biocombustibles y biomasa. Es un componente del PM 2.5 capaz de retener la luz y de transformar esa luz en calor. Con un elevado potencial de calentamiento climático, el carbón negro sólo se mantiene suspendido en la atmósfera por días a semanas antes de ser lavado por las lluvias, por lo

que su regulación presenta llamativas ventajas estratégicas como medida de mitigación frente al cambio climático (CC). Estudios recientes indican que la reducción del carbón negro podría ser la forma más rápida de mitigar el calentamiento global. En términos generales, el carbón negro proviene de la combustión de: combustibles fósiles en el transporte; biocombustibles sólidos para cocina y calefacción residencial y biomasa en quemas agrícolas controladas e incendios forestales (AIDA, 2014).

El carbón negro ha sido documentado como el segundo agente de cambio climático más potente, con un potencial de calentamiento equivalente a 55% del potencial atribuido al dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). El carbón negro actúa sobre el clima principalmente de dos maneras:

1. Aumenta la temperatura atmosférica global: Una vez emitido y mientras se encuentra en suspensión, el carbón negro absorbe la radiación solar y la transforma en energía calórica que es liberada en la atmósfera; y

2. Derrite nieves y hielos: El carbón negro se mantiene en suspensión sólo días o semanas, y luego al depositarse en los hielos y nieves, reduce su albedo acelerando el derretimiento de estos cuerpos sólidos de agua. El problema es especialmente grave en el Ártico, los Himalayas y los Andes, con mayores impactos aproximándose a las zonas tropicales donde se concentra mayormente (AIDA, 2014).

Los contaminantes atmosféricos se incluyen en esta investigación ya que de acuerdo con Cropper y Griffiths (1994) la calidad del medio ambiente regularmente es medida por el stock de árboles o por la ausencia de aire y agua contaminada. Por tal motivo en este trabajo se considerará la presencia de contaminantes atmosféricos como indicadores de deterioro del aire.

Los contaminantes atmosféricos se encuentran clasificados por fuentes fijas, de área, móviles, y móviles que no circulan por carretera. Las fuentes fijas se refiere a las emisiones de contaminantes generados por las instalaciones registradas en el Inventario Nacional de Emisiones de Contaminantes (INEM), que tienen como finalidad desarrollar operaciones o procesos industriales, comerciales, de servicios o actividades que generen o puedan generar emisiones contaminantes a la atmósfera, y que es regulado por la autoridad federal, estatal o municipal correspondiente.

Las fuentes de área, se definen como aquéllas que son demasiado numerosas y dispersas para ser incluidas de manera eficiente dentro de un inventario de fuentes fijas, pero que en conjunto, emiten contaminantes del aire de manera significativa. Ejemplos de este tipo de fuentes incluyen las actividades tan cotidianas en nuestra vida como la respiración o la transpiración humana, los procesos digestivos de los animales, actividades de mantenimiento industrial, el tratamiento de aguas residuales, los incendios en construcciones, las gasolineras, panaderías, tintorerías, establecimientos de pintado de carrocerías, centrales camioneras, cruces fronterizos, etc.

Para las fuentes móviles la información se estimó a partir del padrón vehicular.

Las fuentes móviles que no circulan por carretera involucran equipos muy variados, que van desde podadoras y carritos de golf, hasta maquinaria pesada de construcción de varias toneladas. Su característica común es que no cuentan con un permiso de vialidad para circular por las calles ó carreteras comunes debido a su excesivo peso o su baja velocidad, o bien a que su diseño mismo no lo permite. En esta sección se presentan las estimaciones de las emisiones generadas por la operación de este tipo de fuentes (INE SEMARNAT, 2012).

De las fuentes móviles que no circulan por carretera, se ha encontrado que las que generan una mayor cantidad de contaminantes atmosféricos son: los equipos de uso agropecuario, la maquinaria de construcción, las aeronaves incluyendo el equipo aeroportuario básico, las embarcaciones marinas y las locomotoras. Por lo tanto, para el inventario de 2008 sólo se estimaron las emisiones de estas fuentes (INE SEMARNAT, 2012).

Las emisiones de los contaminantes atmosféricos mencionados anteriormente se encuentran en toneladas. Debido a que estas emisiones provienen de fuentes antropogénicas, y para facilitar el análisis cuantitativo, se sumaron las emisiones de cada tipo de fuente para cada entidad federativa durante el año 2008.

Los contaminantes atmosféricos fueron obtenidos del Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales (SNIAR) que pertenece a la SEMARNAT. Los datos son presentados en toneladas.

En el anexo A se muestran los principales procesos relacionados con las fuentes fijas, aéreas, móviles y móviles que no circulan por carretera.

## **Variables independientes**

**Población.** Se refiere al número de habitantes en México durante el año 2008 por entidad federativa.

La población se incorpora al modelo ya que ha sido considerada por diversos autores como uno de los principales factores que contribuyen al deterioro ambiental. De acuerdo con Gans y Jost (2005) esto regularmente es justificado por las siguientes afirmaciones: naciones con elevadas tasas de crecimiento regularmente no pueden producir suficientes bienes para satisfacer sus necesidades básicas, tal es el caso de algunos estados de África. Para que la gente pueda satisfacer dichas necesidades sería necesaria una expansión de la producción de varios bienes y servicios. Pero un incremento de la cantidad de bienes y servicios podría agravar los problemas ambientales, en particular si los países menos desarrollados siguen los patrones de consumo de los países industrializados y desarrollados.

Asimismo, existen estudios que sugieren que el crecimiento de la población ejerce presión sobre el medio ambiente, algunos de ellos han sido: El Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF por sus siglas en inglés) en su informe Planeta vivo (2010) propuso que existen causas directas e indirectas que afectan al medio ambiente, entre las causas directas, se encuentra el crecimiento de la población.

Por su parte, Ehrlich (1968) sostuvo que la causa del deterioro ambiental era fácil de ver, el problema era que cada vez había más fábricas, más detergentes, más pesticidas, menos agua, demasiado dióxido de carbono, resultado de que hay demasiada población en el mundo. Posteriormente reconoció que existían otros factores que incidían en el deterioro ambiental tales como el ingreso y el tipo de tecnología que se utilice.

En contraste, Commoner (1971) argumentó que el crecimiento de la población no era el causante del deterioro ambiental y propuso que éste se debía al tipo de tecnología que se estaba utilizando.

Resultado del debate entre Ehrlich (1968) y Commoner (1971), Ehrlich y Holdren (1971) desarrollaron una herramienta denominada identidad IPAT, en la que el deterioro ambiental depende del tamaño de la población, de la riqueza y de la tecnología.

A partir de la identidad IPAT, se han desarrollado nuevos planteamientos que sugieren que la población tiene un efecto positivo en el deterioro ambiental. Algunos de estos han sido: (York et al., 2003; Waggoner y Ausubel, 2002; Gans y Jost, 2005; Daniels, 2010; Shi, 2002; Dietz y Rosa, 1997; Preston, 1996).

Por otro lado, México ha reconocido que la población ejerce presión en el deterioro de sus ecosistemas. La SEMARNAT (2012) sostuvo que la población humana es el agente de presión más importante sobre los ecosistemas. Esto se debe a que un incremento de la poblacional ha traído consigo una mayor demanda de recursos naturales, lo que presiona fuertemente sus reservas en la naturaleza. Por ejemplo, para cubrir la demanda de agua en la ZMVM, además del abastecimiento que se obtiene de los acuíferos de la propia zona metropolitana, se requiere del agua que viaja a través del sistema Cutzamala y que puede provenir de presas ubicadas en el estado de Michoacán (p. e., El Bosque y Tuxpan).

Los datos de esta variable fueron obtenidos del Consejo Nacional de Población (CONAPO). Datos de proyecciones 1990-2010.

**PIB *per cápita*.** Se refiere a la relación entre el valor total de todos los bienes y servicios finales generados durante un año por la economía de México y el número de sus habitantes en ese año. Los datos se presentan a precios corrientes.

Se incluirá al PIB *per cápita* ya que de acuerdo con Ehrlich y Holdren (1972) un factor importante del deterioro ambiental es el ingreso. Esto se debe a que niveles más altos de ingreso, la población demandará una mayor cantidad de bienes y servicios lo que a su vez ejercerá una mayor presión en los ecosistemas.

Por otro lado, la Curva de Kuznets Ambiental (CKA) sugiere que existe una relación en forma de U invertida entre el ingreso y el deterioro ambiental, esto es porque a bajos niveles de ingreso *per cápita*, el crecimiento económico implica industrialización, de forma que se extrae más energía y otras materias primas del medio ambiente, lo cual deriva en niveles más altos de contaminación, pero en el largo plazo, las personas sienten cada vez más deseos de reducir el impacto que genera el crecimiento en el medio ambiente y disponen de los medios para hacerlo, es decir que a mayor crecimiento las personas estarán dispuestas a pagar por el deterioro ambiental (Common y Stagl, 2008).

De acuerdo con Common y Stagl (2008) este comportamiento solo es aplicable para algunas formas de daño pero no para todas.

Lo importante a resaltar en esta investigación es la evidencia que existe una relación entre crecimiento económico y medio ambiente. Los datos fueron obtenidos de INEGI. Dirección General de Estadísticas Económicas. Dirección General Adjunta de Cuentas Nacionales. Dirección de Cuentas de Corto Plazo y Regionales.

**PIB industrial.** Esta variable suma el PIB de los sectores relacionados con la industria que se consideran importantes en la emisión de contaminantes atmosféricos. Estos sectores son: minería, electricidad, agua y suministro de gas por ductos al consumidor final, construcción e industrias manufactureras. De acuerdo con el Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN) estos sectores constituyen la “industria”. Debido a que el PIB se encuentra por sector de actividad económica, se sumaron los valores de los sectores mencionados para obtener el PIB industrial, este es presentado por entidad federativa en 2008 a precios corrientes.

Además de incorporar al modelo el PIB industrial se incluye cada uno de sus componentes.

**Sector minería.** “El sector de la minería comprende unidades económicas dedicadas principalmente a la extracción de petróleo y gas, y de minerales metálicos y no metálicos; incluye la explotación de canteras, operaciones en pozos, operaciones de beneficio, así como otras preparaciones que se hacen usualmente en la mina. Incluye también los servicios de apoyo exclusivos a la minería. Para el cálculo del indicador se utilizan datos provenientes de la Estadística de la Industria Minerometalúrgica y de la Encuesta Mensual de la Industria Manufacturera elaboradas por el INEGI, de la compañía Exportadora de Sal, S. A. de C. V. y de Petróleos Mexicanos (PEMEX)” (INEGI, 2014b)

Este sector produce principalmente partículas suspendidas menores a 10 y 2.5  $\mu\text{m}$ . (INE-SEMARNAT, 2009).

**Sector electricidad, agua y suministro de gas por ductos al consumidor final.** “Comprende a los servicios de generación, transmisión y suministro de energía eléctrica para su venta; a la captación, potabilización y suministro de agua, así como a la captación y tratamiento de aguas residuales, y al suministro de gas por ductos al consumidor final;

las principales fuentes son la Comisión Federal de Electricidad, Comisión Reguladora de Energía (CRE), Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y PEMEX” (INEGI, 2014b).

Este sector está relacionado con la emisión de dióxido de azufre, monóxido de carbón, óxidos de nitrógeno y carbón negro (INE-SEMARNAT, 2009).

**Sector construcción.** “Comprende a las actividades de edificación residencial, ya sea de vivienda unifamiliar o multifamiliar; a la edificación no residencial, como naves y plantas industriales, inmuebles comerciales, institucionales y de servicios; a la construcción de obras de ingeniería civil, como puentes, carreteras, presas, vías férreas, centrales eléctricas y puertos; a la realización de trabajos especializados, como cimentaciones, montaje de estructuras prefabricadas, instalación en construcciones de equipos y materiales prefabricados, acabados en edificaciones, demolición, relleno de suelo, movimiento de tierra, excavación, drenado y otras preparaciones a los suelos. Puede tratarse de construcción nueva, ampliación, remodelación, mantenimiento o reparación integral de las construcciones. Incluye también la construcción operativa; a la supervisión y administración de construcción de obras, y a la construcción de obras en combinación con actividades de servicios; la principal fuente en la Encuesta Nacional de Empresas Constructoras (ENEC). Para el subsector 238 Trabajos especializados para la construcción su cálculo se fundamenta en el comportamiento ponderado del consumo aparente (producción y/o ventas nacionales más los importados menos los exportados) de los principales materiales utilizados” (INEGI, 2014b).

El sector de la construcción estaría relacionado de manera indirecta con la emisión de contaminantes debido a la energía que utiliza para llevar a cabo los procesos de construcción. Los principales materiales que utiliza son acero, hierro, cemento, arena, cal, madera, aluminio, etc. La industria cementera es una de las principales consumidoras de energía, por este motivo el sector de la construcción estaría relacionado con la emisión de contaminantes.

**Sector industrias manufactureras.** “Abarca las actividades dedicadas a la transformación mecánica, física o química de materiales o sustancias con el fin de obtener productos nuevos. También se consideran manufacturas las actividades de maquila; el ensamble de partes y componentes o productos fabricados; la reconstrucción de maquinaria y equipo industrial, comercial, de oficina y otros, y el acabado de productos



manufacturados mediante el teñido, tratamiento calorífico, enchapado y procesos similares. Igualmente se incluye aquí la mezcla de materiales, como los aceites lubricantes, las resinas plásticas, las pinturas y los licores, entre otras. El trabajo de transformación se puede realizar en sitios como plantas, fábricas, talleres, maquiladora u hogares; ya sea que el trabajo se efectúe utilizando máquinas accionadas por energía o equipo manual” (INEGI, 2014b).

El sector de industrias manufactureras está relacionado con la emisión de monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno (INE-SEMARNAT, 2009).

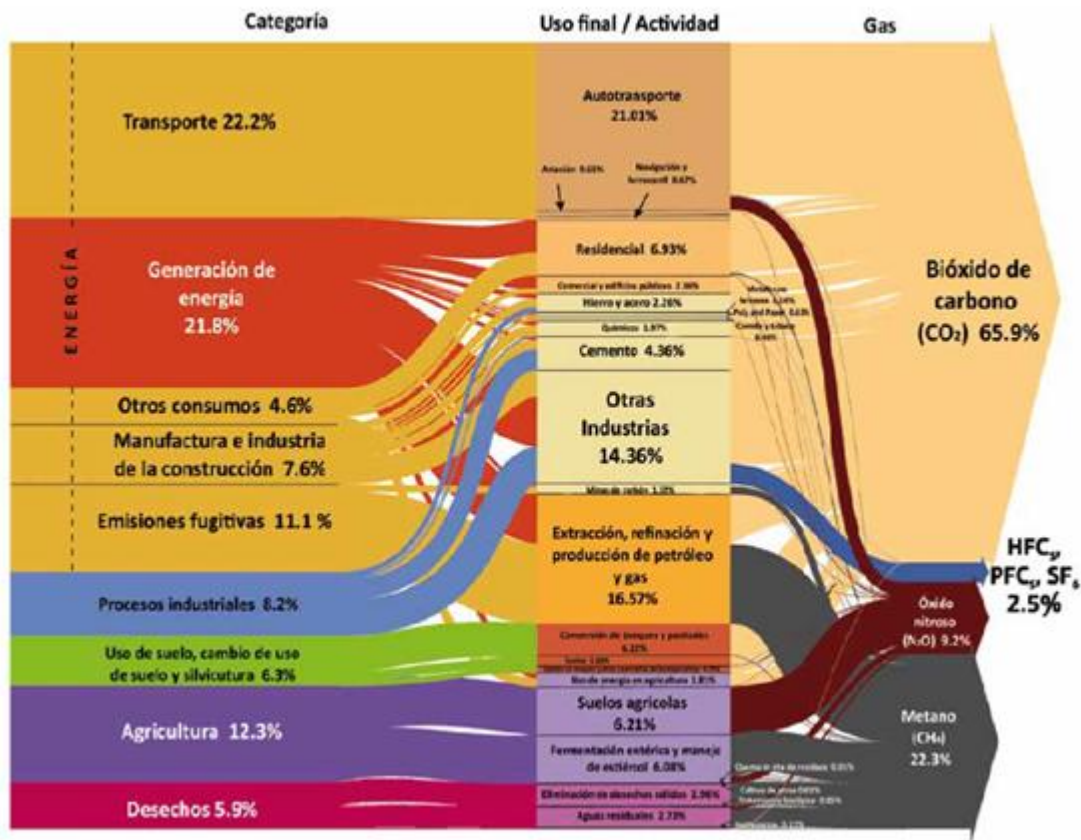
El PIB industrial fue calculado con base en datos del INEGI. Anuario de estadísticas por entidad federativa 2011

**PIB agrícola.** Se refiere al PIB generado en 2008 por entidad federativa del sector agricultura, ganadería, aprovechamiento forestal, pesca y caza.

Se incluirá al PIB generado por la industria y el PIB agrícola ya que los sectores de una economía impactan de manera distinta al medio ambiente, en este caso se busca conocer el impacto del sector industrial y del agrícola para observar en qué medida afecta cada sector al deterioro del aire. El PIB industrial incluye a algunos de los sectores más importantes en las emisiones de CO<sub>2</sub>. El sector agrícola se incluye ya que es considerado el mayor usuario de los recursos naturales. De acuerdo con la SEMARNAT (2012), el sector agrícola utiliza el 11% de la superficie terrestre y el 70% del agua total extraída de los acuíferos, ríos y lagos.

La figura 8 muestra las principales fuentes de emisiones de GEI, su puede observar que las categorías transporte, generación de energía, agricultura, emisiones fugitivas y procesos industriales son las principales fuentes de emisión de los GEI.

Figura 8. Diagrama de emisiones de GEI para México, 2010.



Fuente: INE-SEMARNAT (2012)

Los datos del PIB agrícola fueron obtenidos del anuario de estadísticas por entidad federativa 2011.

**Población urbana.** Se refiere a la población que vive en zonas urbanas. De acuerdo con el INEGI, una población se considera rural cuando tiene menos de 2500 habitantes, mientras que la urbana es aquella donde viven más de 2,500 personas (INEGI 2014c).

Se incluye a la población urbana ya que algunos estudios sugieren que existe una CKA pero no es el ingreso el que tiene relación con el deterioro ambiental sino la urbanización, considerando a ésta como un indicador de modernización (York, Rosa y

Dietz, 2003). Además, el efecto que tiene la población urbana en el deterioro ambiental varía del impacto que tiene la población no urbanizada (Jiang y Hardee, 2010).

Los datos fueron obtenidos de INEGI, Censo de Población y Vivienda 2010.

**Superficie cosechada.** Se refiere a la superficie cosechada en tierras de temporal y de riego por entidad federativa en el año 2008.

Se incluye a la superficie cosechada debido a que la agricultura es una fuente importante de emisión de GEI. Las prácticas agrícolas producen principalmente metano y óxidos nitrosos.

Los datos fueron obtenidos del Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta.

El cuadro 3 muestra el nombre de las variables y el código con el que se trabajará en los paquetes estadísticos. También se muestra el signo que se espera obtener en los resultados.

Cuadro 3. Clasificación de las variables.			
Variable	Código	Unidad de medida.	Signo esperado
<b>Variables independientes.</b>			
Población	POB	Número de personas.	Positivo
Población urbana	POBURB	Número de personas.	Positivo
Población urbana al cuadrado	POBURB2	Número de personas.	Negativo
PIB <i>per cápita</i>	PIBPC	Miles de pesos	Positivo
PIB <i>per cápita</i> al cuadrado	PIBPC2	Miles de pesos	Negativo
PIB industrial	PIBIND	Miles de pesos	Positivo
PIB industrial: minería	PIBINDMIN	Miles de pesos	Positivo

PIB industrial: electricidad, agua y suministro de gas por ductos al consumidor final	PIBINDEAS	Miles de pesos	Positivo
PIB industrial: construcción	PIBINDCON	Miles de pesos	Positivo
PIB industrial: industrias manufactureras	PIBINDMAN	Miles de pesos	Positivo
PIB agrícola	PIBAGR	Miles de pesos	Positivo
Superficie cosechada	SUPCOS	Hectáreas	Positivo
<b>Variables dependientes.</b>			
Dióxido de azufre	SO	Toneladas	Positivo
Monóxido de carbono.	CO	Toneladas	Positivo
Emisión de óxidos de nitrógeno.	NO	Toneladas	Positivo
Emisión de compuestos orgánicos volátiles.	COV	Toneladas	Positivo
Emisión de partículas en suspensión menores a 2.5 µm	PM	Toneladas	Positivo
Emisión de partículas en suspensión menores a 10 µm	PMM	Toneladas	Positivo
Amoniaco	NH	Toneladas	Positivo
Carbón negro.	CN	Toneladas	Positivo

En el presente capítulo se planteó el modelo teórico que se utilizará para analizar los factores que inciden en el deterioro del aire en México y se describieron las variables explicativas y explicadas que se utilizarán en el modelo.

## Capítulo 4. Estimación y resultados del modelo

En este capítulo se realiza un análisis descriptivo de los datos y un modelo de sección cruzada para analizar cómo la población y la actividad económica impactan en el deterioro del aire en México. Los datos se obtienen para el año 2008 para cada una de las entidades federativas de México.

## 4.1 Estadística descriptiva

En el cuadro 4 se muestra la estadística descriptiva de los contaminantes que se utilizaron como variables dependientes.

Cuadro 4. Estadística descriptiva de las variables dependientes. Emisiones de contaminantes atmosféricos durante 2008.

Variable	Unidad de medida	Media	Desviación estándar	Mín	Máx.
Dióxido de azufre	Toneladas	70,037.93	110,761.5	1,120.4 (Nayarit)	576,247.8 (Campeche)
Monóxido de carbono	Toneladas	1,032,378.00	1,314,611	40,299.74 (Baja California Sur)	4,452,127.25 (Michoacán de Ocampo)
Óxidos de nitrógeno	Toneladas	100,307.00	91,135.87	9,521.93 (Tlaxcala)	296,329.3 (Nuevo León)
Compuestos orgánicos volátiles	Toneladas	188,285.80	164,723.2	14,367.24 (Baja California Sur)	579,868.3 (Jalisco)
Partículas en suspensión (menores a 10 µm)	Toneladas	24,968.67	19,673.91	2,713.32 (Baja California Sur)	106,438.5 (Veracruz)
Partículas en suspensión (menores a 2.5 µm)	Toneladas	17,844.97	15,636.45	1,530.91 (Baja California Sur)	82,177.35 (Veracruz)
Amoníaco	Toneladas	26,997.05	18,961.16	3,763.68 (Baja California Sur)	82,302.93 (Jalisco)
Carbón negro.	Toneladas	2,444.26	2,487.613	215.37 (Aguascalientes)	13,375.5 (Veracruz)

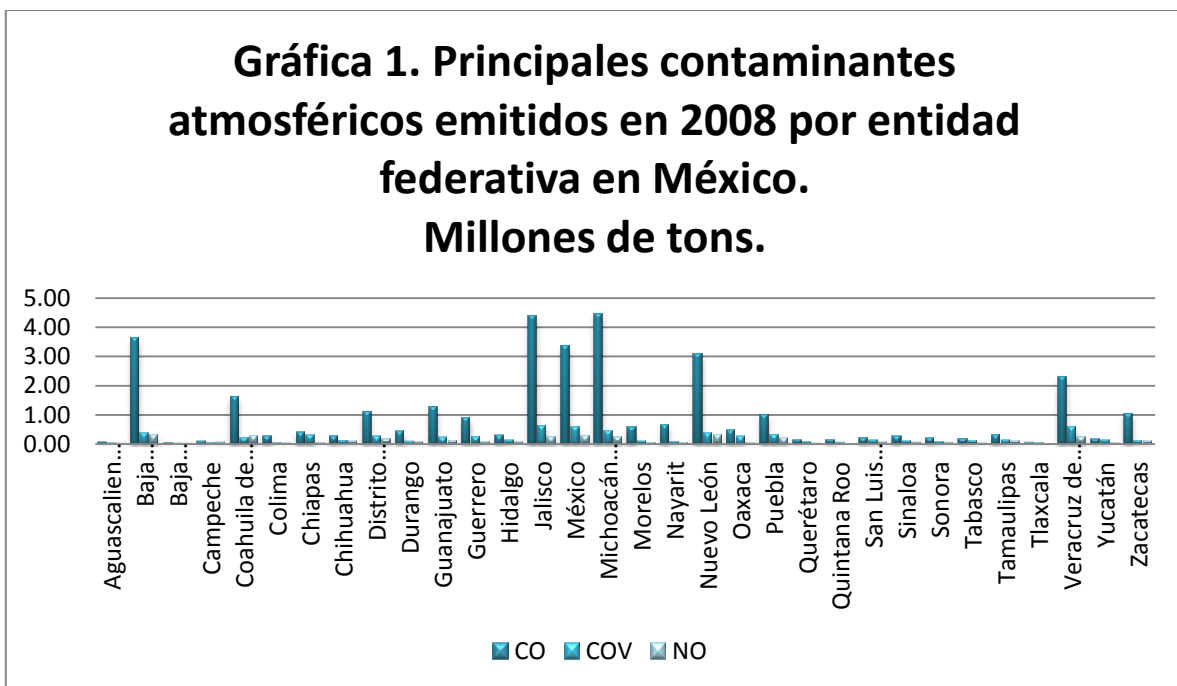
Fuente: Elaboración propia con datos del inventario nacional de emisiones de contaminantes atmosféricos por fuente, 2008 (SEMARNAT, 2013)

En el cuadro 4 se puede observar que una de las entidades más contaminantes es Veracruz y de las menos contaminantes es Baja California Sur. Es probable que esto se deba al tipo de actividad económica que se realiza en cada entidad. Por ejemplo, en Veracruz el parque vehicular y las actividades industriales la hacen ser una de las más contaminantes del país. Se observa que los datos de cada variable son muy dispersos pues la desviación estándar es muy alta comparada con la media. El único contaminante

cuyos datos no se encuentran muy dispersos es el carbón negro y el monóxido de carbono.

También se puede observar que en promedio, los tres principales contaminantes atmosféricos que se emiten en México son el monóxido de carbono, los compuestos orgánicos volátiles y los óxidos de nitrógeno. El monóxido de carbono puede causar problemas en la salud, éste puede inhabilitar el transporte de oxígeno hacia las células y provocar mareos, dolor de cabeza, náuseas, estados de inconsciencia e inclusive la muerte. Los compuestos orgánicos volátiles además de que contribuyen al efecto invernadero pueden provocar problemas en la salud sobre todo de tipo hematológicos. Los óxidos de nitrógeno pueden provocar irritación en el sistema respiratorio y ocular.

En la gráfica 1 se muestran los tres principales contaminantes emitidos en México durante 2008 por entidad federativa, se puede observar que los principales emisores de CO son Michoacán, Jalisco y Baja California. Los principales emisores de COV son Morelos, Oaxaca y Baja California y los principales emisores de NO<sub>x</sub> son Quintana Roo, Oaxaca y Jalisco.



En el cuadro 5 se muestra la estadística descriptiva de las variables independientes, las principales actividades llevadas a cabo por el hombre que impactan en el deterioro del aire en México.

Cuadro 5. Estadística descriptiva de las variables independientes por entidad federativa

Variable	Unidad de medida	Media	Desviación estándar	Mín	Máx.
Población	Número de personas	3,478,094.00	2,968,144	605,343 (Baja California Sur)	15,040,385 (México)
Población urbana	Número de personas	73%	14.01%	46% (Oaxaca)	98% (Distrito Federal)
PIB <i>per cápita</i>	Miles de pesos	85.15	64.50	34.44 (Chiapas)	395.55 (Campeche)
PIB industrial	Miles de pesos	136,222,483.25	148,862,512.9	14,825,549.00 (Colima)	739,233,280.00 (Campeche)
PIB industrial: Minería	Miles de pesos	37,424,390.13	129,286,698.28	8,988.00 (Tlaxcala)	702,473,879.00 (Campeche)
PIB industrial: electricidad, agua y suministro de gas por ductos al consumidor final	Miles de pesos	5,749,370.00	4,676,596.43	327,941 (Zacatecas)	18,043,543.00 (Veracruz)
PIB industrial: Construcción.	Miles de pesos	27,098,461.13	22,746,392.74	1,850,958.00 (Tlaxcala)	95,150,613.00 (Nuevo León)
PIB industrial: Manufactura	Miles de pesos	65,950,261.69	70,825,457.25	2,205,903.00 (Baja California Sur)	278,577,494.00 (México)
PIB agrícola	Miles de pesos	12,657,534.50	10,042,395.99	1,013,556 (Quintana Roo)	41,512,077.00 (Jalisco)
Superficie cosechada	Hectáreas	640,713.55	467,337.55	23,541.06 (Distrito Federal)	1,397,329 (Jalisco)

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI y CONAPO

En el cuadro se puede observar que los datos que más presentan dispersión son la población urbana, el PIB *per cápita* y el PIB industrial del sector minería. El resto de los datos muestra una desviación estándar cercana a la media.

También se puede observar un promedio de 3,478,094.00 personas por entidad federativa, la mayoría de la población en México es población urbana. En el Distrito Federal, el 98% de su población es urbana. El PIB *per cápita* es en promedio 85,150 pesos anuales. Dentro del PIB industrial, la categoría que más aporta a la economía es el PIB generado por la industria manufacturera, seguido por la minería. El Estado de México es la entidad que más genera PIB en la industria manufacturera. El PIB agrícola promedio es de \$12,700,000. La superficie cosechada es de 17,844.97 hectáreas promedio.

## 4.2 Resultados del modelo econométrico

En el presente apartado se muestran los resultados obtenidos de la estimación de los modelos. Se realiza un modelo por cada contaminante para mostrar qué variables son las que tienen un mayor impacto en el deterioro ambiental.

En la literatura empírica, los contaminantes que se han utilizado para medir el deterioro ambiental han sido las emisiones de óxido de nitrógeno, dióxido y monóxido de carbono, smog en el aire, la tasa de deforestación, volumen de aguas residuales, volumen de recolección de basura, áreas naturales protegidas, árboles plantados, licencias ambientales, rellenos sanitarios, volumen de recolección de basura, etc. (Gómez et al., 2011). En este trabajo se utilizaron ocho contaminantes del aire en México. Estos son: dióxido de azufre, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, compuestos orgánicos volátiles, partículas en suspensión menores a 10 y 2.5  $\mu\text{m}$ , amoníaco y carbón negro.

Respecto a las variables explicativas, éstas están representadas por las principales fuerzas antropogénicas que impactan en el deterioro del aire, por fuerzas antropogénicas se entiende, aquellas actividades llevadas a cabo por el hombre y que impactan en el deterioro del aire. Los resultados muestran que las variables que tienen mayor impacto son: la población, la población rural, el PIB *per cápita*, el PIB industrial,



electricidad, agua y suministro de gas por ductos al consumidor final, el PIB agrícola y la superficie cosechada. A pesar de que la población y el PIB *per cápita* son significativos para algunos contaminantes, no se verifica en todos los modelos que el impacto de estas variables sea más que proporcional en la emisión de los contaminantes como se ha encontrado en la literatura empírica.

En el cuadro 6 se muestran los resultados obtenidos de los modelos econométricos. En cada uno de los modelos se llevó a cabo una regresión incluyendo a las variables PIB *per cápita* y población urbana así como a su término cuadrático. Lo anterior con la finalidad de probar la existencia de una CKA. Sin embargo, estas variables no fueron significativas en ningún caso, por tal motivo, fueron eliminadas de los modelos y se rechaza la hipótesis de la CKA relativa a la población urbana y al PIB *per cápita*.

Cuadro 6. Resultados de los modelos.													
Contaminante	R <sup>2</sup>	Constante	POB	POB URB	POB RUR	PIBPC	PIB IND	PIB IND MIN	PIB IND EAS	PIB IND CON	PIB IND MAN	PIBAGR	SUP COS
SO <sub>2</sub>	46.8	-5.76 (0.339)	-1.53 (0.005)		1.12 (0.001)	1.5 (0.017)			1.14 (0.002)				
CO													
NO <sub>x</sub>	61.76%	-8.37 (0.009)	0.84 (0.000)			0.85 (0.006)							0.25 (0.073)
COV	81.92%	-4.08 (0.026)	1.10 (0.000)			-0.11 -0.479							
Partículas en suspensión menores a 10 µm	80.26%	-2.66 (0.158)	0.29 (0.007)			0.17 (0.304)							0.57 (0.000)
Partículas en suspensión menores a 2.5 µm	71.49%	-3.44 (0.147)	0.35 (0.012)			0.13 (0.540)							0.54 (0.000)
NH <sub>3</sub>	89.35%	-4.31 (0.002)	0.58 (0.000)			-0.12 (0.310)							0.39 (0.000)
Carbón negro	69.94%	-4.92 (0.052)	0.43 (0.004)			-0.04 (0.850)							0.47 (0.000)
* Los números entre paréntesis representan el p-value													

Todas las variables están expresadas en forma logarítmica, esto con la finalidad de poder obtener la elasticidad ecológica de cada una de las variables explicativas con respecto a los contaminantes. En la mayoría de los modelos el R cuadrado es superior al 60%, esto quiere decir que en la mayoría de los casos las variables explicativas explican a las emisiones en más del 60%. El único caso en el que el R cuadrado es inferior al 60% es en el modelo de dióxido de azufre, en este caso el modelo explica en casi 47% las emisiones de dióxido de azufre, tratándose de un modelo con datos de sección cruzada, este R cuadrado puede considerarse aceptable. Las pruebas que se hicieron para verificar la correcta especificación de los modelos estimados se muestran en el anexo B.

Se incorpora el concepto de EE para analizar la sensibilidad de los cambios de los cambios de la emisión de contaminantes ante cambios en las actividades económicas que contribuyen al deterioro ambiental. En el cuadro 7 se muestra un resumen de los resultados obtenidos de las elasticidades.

Cuadro 7. Elasticidades ecológicas.

Nombre	Código	Coefficiente
Elasticidad ecológica población-dióxido de azufre	EE <sub>SOPOB</sub>	-1.53
Elasticidad ecológica población rural-dióxido de azufre	EE <sub>SOPPOBRURPOR</sub>	1.12
Elasticidad ecológica PIB <i>per cápita</i> -dióxido de azufre	EE <sub>SOPIBPC</sub>	1.5
Elasticidad ecológica PIB industrial, electricidad, agua y suministro de gas por ductos al consumidor final-dióxido de azufre	EE <sub>SOPIBINDEAS</sub>	1.14
Elasticidad ecológica población-óxidos de nitrógeno	EE <sub>NOPOB</sub>	0.84
Elasticidad ecológica PIB <i>per cápita</i> -óxidos de nitrógeno	EE <sub>NOPIBPC</sub>	0.85
Elasticidad ecológica superficie cosechada-óxidos de nitrógeno	EE <sub>NOSUPCOS</sub>	0.25
Elasticidad ecológica población-compuestos orgánicos volátiles.	EE <sub>COVPOB</sub>	1.10
Elasticidad ecológica población-Partículas en suspensión menores a 10 µm	EE <sub>PMPOB</sub>	0.29

Elasticidad ecológica superficie cosechada-Partículas en suspensión menores a 10 $\mu\text{m}$	$EE_{\text{PMSUPCOS}}$	0.57
Elasticidad ecológica población-Partículas en suspensión menores a 2.5 $\mu\text{m}$	$EE_{\text{PMMPOB}}$	0.35
Elasticidad ecológica superficie cosechada-Partículas en suspensión menores a 2.5 $\mu\text{m}$	$EE_{\text{PMMSUPCOS}}$	0.54
Elasticidad ecológica población-Amoniaco	$EE_{\text{NHPOB}}$	0.58
Elasticidad ecológica superficie cosechada-Amoniaco	$EE_{\text{NHPIBAGR}}$	0.39
Elasticidad ecológica población-carbón negro	$EE_{\text{CNPOB}}$	0.43
Elasticidad ecológica superficie cosechada-carbón negro.	$EE_{\text{CNSUPCOS}}$	0.47

## Población.

En el modelo dióxido de azufre se observa que existe una relación negativa entre el crecimiento de la población y la emisión de dióxido de azufre. La elasticidad negativa que se obtuvo es  $EE_{\text{SOPOB}}=-1.53$ . Esto quiere decir que ante un incremento de uno por ciento de la población, las emisiones van a disminuir en 1.53%. Este resultado difiere de los estudios realizados por Meadows, 1972; Ehrlich, 1968; Ehrlich y Holdren, 1972; Preston, 1996; Dietz y Rosa, 1997; Waggoner y Ausubel, 2002; Schoijet, 2005; WWF, 2006, 2008, 2020, 2012; York, Dietz y Rosa, 2003; Jiang y Hardee, 2010 y Shi, 2002 quienes sugieren que el tamaño de la población mantiene una relación positiva con la emisión de contaminantes.

Las principales fuentes de emisión de dióxido de azufre son los procesos de combustión en los que se utiliza como combustible el carbón, el petróleo, el diesel o el gas natural. Campeche es la entidad que más emite dióxido de azufre y en dicha localidad se encuentra ubicada Cantarell, el activo más contaminante de México, emite el 48% de las emisiones de azufre a la atmósfera. Hidalgo es la segunda entidad que más emite dióxido

de azufre y en esta entidad se encuentran la refinería Miguel Hidalgo y la termoeléctrica Francisco Pérez Ríos que juntas emiten 33 veces más dióxido de azufre que todo el valle de México.

La relación negativa que se observa en relación con la población y las emisiones de dióxido de azufre es probable que se deba a las siguientes razones: 1) los esfuerzos que se han hecho por reducir el contenido de azufre en los combustibles. A pesar de que la población mantiene una tasa de crecimiento positiva, las emisiones de dióxido de azufre han disminuido. 2) La existencia de nuevas fuentes de energía está haciendo que la población crezca a una tasa más rápida que lo que lo hacen las emisiones de dióxido de azufre. A pesar de que un crecimiento de la población demanda más energía, una mayor cantidad de autos, etc., mismos que produce emisiones de SO<sub>2</sub>, las emisiones se han reducido. 3) La producción de energía y combustibles no está directamente relacionada con la población de cada entidad ya que la energía y los combustibles que se producen en Campeche, Hidalgo, Coahuila, etc. no son consumidos por su población sino que es consumida por otras entidades por lo que el modelo únicamente diría que las entidades menos pobladas son las que emiten más dióxido de azufre y es que las plantas generadoras de energía y electricidad se encuentran ubicadas en entidades de baja población. Por ejemplo Campeche, Hidalgo y Coahuila son las tres entidades que más emiten dióxido de azufre y ocupan el lugar 30, 18 y 16 en tamaño de población respectivamente.

La variable población es significativa y con signo positivo en los siguientes modelos: óxidos de nitrógeno, compuestos orgánicos volátiles, partículas en suspensión menores a 10 y 2.5  $\mu\text{m}$ , amoníaco y carbón negro. El nivel de confianza al que son significativas es de 99, 99, 95, 90, 99 y 95% respectivamente.

En referencia a los óxidos de nitrógeno la relación es positiva ya que la emisión de estos está relacionada con procesos de generación de energía eléctrica, actividades industriales y principalmente automotores. El 62% de las emisiones de dióxido de azufre provienen de fuentes móviles, es decir, autos. Por lo tanto, se espera que un incremento de la población aumente la cantidad de vehículos en circulación y a su vez se incrementen las emisiones de óxidos de nitrógeno.

En cuanto a la emisión de COV el 95% de las emisiones provienen de fuentes móviles y de área por lo que se espera que un incremento en la población aumente la emisión de estos contaminantes.

En la emisión de partículas en suspensión menores a 2.5 y 10 micras, el amoníaco y el carbón negro, la principal fuente de emisión son las fuentes de área, dentro de estas se encuentran procesos como combustión residencial, las quemas agrícolas, aplicación de plaguicidas, cultivo agrícola, comercios tales como clubes deportivos, gasolineras, talleres de hojalatería y pintura, hospitales, etc. por lo tanto, se espera que un incremento de la población aumente la demanda de estos servicios, por tal motivo, la relación de la emisión de estos contaminantes tiene una relación positiva con la población.

De los resultados obtenidos en los modelos se puede observar que en el caso de los modelos de emisión de COV y NH<sub>3</sub>, la variable población es la que mayor impacto tiene con respecto al resto de las variables. En el caso de los COV la única variable significativa estadísticamente es la población, es probable que este hecho se deba a que el 95% de las emisiones provienen de fuentes de área y móviles por lo que un aumento de la población aumentará la demanda de servicios relacionados con las emisiones de fuentes de área y móviles. En el caso del amoníaco, la elasticidad de la población es mayor que la elasticidad de la superficie cosechada, esto se debe a que las emisiones de amoníaco son más sensibles a cambios en la población que a cambios en la superficie cosechada.

Las elasticidades ecológicas que se obtuvieron son las siguientes:  $EE_{NOPOB} = 0.84$ ,  $EE_{COVPOB} = 1.10$ ,  $EE_{PMPOB} = 0.29$ ,  $EE_{PMMPOB} = 0.35$ ,  $EE_{NHPOB} = 0.58$  y  $EE_{CNPOB} = 0.43$ . Esto significa que ante un cambio en 1% en la población, las emisiones de óxidos de nitrógeno, compuestos orgánicos volátiles, partículas en suspensión menores a 10  $\mu\text{m}$ , partículas en suspensión menores a 2.5  $\mu\text{m}$ , amoníaco y carbón negro variarán en 0.84, 1.10, 0.29, 0.35, 0.58 y 0.43% respectivamente. Note que en la mayoría de los casos el impacto del crecimiento de la población es menos que proporcional, únicamente en la emisión de COV la elasticidad es mayor que uno.

En el modelo de COV la única variable que es significativa es la población, y la elasticidad es mayor que uno. Este resultado es similar al que obtienen los estudios que

dan sustento a la identidad IPAT. Sin embargo, la variable ingreso, representada por el PIB *per cápita*, no es significativa cuando se trata de explicar la emisión de COV. La variable población explica a las emisiones en un 79.26%. Al realizar un modelo con una sola variable es normal que se piense que exista un problema de variables omitidas que generarán heterocedasticidad en el modelo. Para verificar que éste no es el caso se lleva a cabo la prueba White y la Breusch Pagan Godfrey. En ambos casos no se puede rechazar la hipótesis nula de errores homocedásticos. Los resultados de las pruebas se pueden consultar en el cuadro A2 del anexo B.

Los resultados obtenidos en los modelos difieren de los que se han encontrado en la literatura empírica. La identidad IPAT sugiere que el impacto de la población en las emisiones de contaminantes es de uno o cercano a uno. York et al. (2003) y Dietz y Rosa (1997) encuentran una relación elástica. Shi (2002) encuentra que para los países en desarrollo existe una elasticidad cercana a dos. La corriente Malthusiana sugiere que existe una relación más que proporcional de las fuerzas antropogénicas en el deterioro ambiental (Shi, 2002). En este trabajo se encontró que el único modelo en el que se verifica una relación elástica es en el modelo de emisión de COV es probable que esto se deba a que la emisión de COV proviene principalmente de fuentes de área y móviles. En el modelo de NOx la elasticidad es cercana a uno y también es probable que esto se deba a que la principal fuente de emisión de NOx proviene de fuentes móviles, es decir transporte, automóviles, etc. En los modelos en los que se ha encontrado una elasticidad ecológica de uno o cercana a uno, como es el caso de York et al. (2003), se ha utilizado como variable explicativa la emisión de CO<sub>2</sub> y la principal fuente de emisión de este contaminante son los automotores.

En el caso del modelo SO<sub>2</sub> la elasticidad con respecto a la población es negativa, las principales emisiones de este contaminante provienen de fuentes fijas por lo que la interpretación de la elasticidad es probable que únicamente esté indicando que las entidades que mas emiten SO<sub>2</sub> son las entidades menos población tienen.

Para los modelos de partículas en suspensión menores a 2.5 y 10 µm, amoniaco y carbón negro la relación es inelástica, es decir, el impacto es menos que proporcional y es probable que esto se deba a que la principal fuente de emisión de estos contaminantes son las fuentes de área, es decir las emisiones que provienen de comercios como

panaderías, tortillerías, tintorerías, etc. Esto quiere decir que el impacto de la población será mayor en aquellos contaminantes cuya fuente principal de emisión sean las fuentes móviles que en los que la fuente principal de emisión son las fuentes de área.

### **Población urbana y rural**

Autores como Ehrhardt-Martinez et al. (2002) basados en teorías de la modernización ecológica, encuentran fuerte evidencia estadística para afirmar que existe una relación entre la población urbana, como indicador de modernización, y la deforestación. Esta relación que encuentran tiene una forma de U invertida parecida a la CKA. York et al. (2003) incluye en su análisis a la población urbana para observar su comportamiento al momento de analizar la huella energética y las emisiones de CO<sub>2</sub>, como indicadores de deterioro ambiental, y encuentran que no hay evidencia estadística que corrobore la idea de una CKA relativa a la población urbana relacionada con las emisiones de CO<sub>2</sub> y la huella energética.

Por otro lado, autores como Jiang y Hardee (2010) argumentan que un incremento de la población urbana conllevará a una mayor emisión de GEI.

En este trabajo también se encontró que en ningún caso la población urbana presenta una curva en forma de U invertida.

Por otro lado, se encuentra una relación positiva entre la población rural y la emisión de SO<sub>2</sub>. Este resultado diría que ante un incremento de la población rural aumentarán las emisiones de SO<sub>2</sub> sin embargo es probable que el modelo únicamente esté diciendo que en el lugar donde más se emite SO<sub>2</sub> existe una mayor cantidad de población rural, tal es el caso de Hidalgo, Guerrero, Veracruz, Oaxaca que son de los estados que más contaminan y que el porcentaje de su población rural es alto.

Se incorporó a la población rural ya que la población urbana está altamente correlacionada con la población y no permitía evaluar el impacto de la población en la emisión de SO<sub>2</sub>.

### **PIB per cápita**



El PIB *per cápita* representa el ingreso de la población y se considera que tiene repercusiones en el deterioro ambiental ya que a mayores niveles de ingreso la población demandará una mayor cantidad de bienes y servicios, lo que a su vez, ejercerá una mayor presión en el medio ambiente.

En los resultados obtenidos en el modelo econométrico se obtuvo que el PIB *per cápita* es una variable significativa con un nivel de confianza del 90 y 95% en la emisión de SO<sub>2</sub>, y NO<sub>x</sub> respectivamente. En ambos casos, ésta variable es la que mayor impacta en la emisión de los contaminantes en cuestión con respecto al resto de las variables.

Las elasticidades ecológicas de estos dos modelos son  $EE_{SO_{2}PIBPC} = 1.5$  y  $EE_{NO_{x}PIBPC} = 0.85$ . En el primer caso, se puede observar una elasticidad mayor que uno, consistente con lo que se ha observado en la literatura empírica. Esto quiere decir que ante un incremento del 1% en el PIB *per cápita*, las emisiones de SO<sub>2</sub> aumentarían 1.5%, en el segundo caso, un incremento de 1% del PIB *per cápita*, aumentaría las emisiones de NO<sub>x</sub> en .85%, es decir, tendrá un impacto menos que proporcional.

Se puede observar que el impacto que tienen la población y el PIB *per cápita* en el deterioro ambiental varía considerablemente en los diferentes estudios que se han realizado, esto puede depender tanto de los datos como de las características de los países que se estén analizando. En este caso, en un país en desarrollo como México se puede observar que la población y el ingreso en la mayoría de los casos presentan un impacto menos que proporcional en las emisiones de contaminantes atmosféricos.

Por otro lado, Wey (2011), analiza los motivos por los cuales se pueden obtener diferentes resultados al momento de calcular el impacto de la población en la emisión de contaminantes, al respecto menciona que esto se puede deber a la forma en que el modelo está planteado, Shi (2002) utiliza un modelo de series de tiempo con sección cruzada y en sus resultados se observa un impacto mucho más grande que el que se obtiene cuando se utilizan datos transversales, tal es el caso de York et al. (2003). En el estudio que aquí se realiza para el caso de México, la falta de datos dificulta realizar un trabajo como el que lleva a cabo Shi (2002).

## **PIB industrial, electricidad, agua y suministro de gas por ductos al consumidor final.**

Este sector está relacionado con la emisión de dióxido de azufre, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y carbón negro (INE-SEMARNAT, 2009). Sin embargo, en el modelo estimado solo se encontró significancia estadística en la emisión de dióxido de azufre. La  $EE_{SOPIBINDEAS} = 1.14$  indica que un incremento en el PIB de este sector aumentaría las emisiones del dióxido de azufre en 1.14% lo cual tiene sentido si se toma en cuenta que la emisión de dióxido de azufre se deriva de la generación de energía eléctrica y de ciertas actividades industriales así como de las plantas termoeléctricas que usan carbón.

El resultado obtenido en el modelo de dióxido de azufre coincide con la conclusión de Meadows (1972) quien sugiere que la acelerada industrialización es uno de los principales factores que impactan en el deterioro ambiental.

## **Superficie cosechada.**

Se incluye a la superficie cosechada debido a que la agricultura es una fuente importante de emisión de GEI. Las prácticas agrícolas producen principalmente metano y óxidos nitrosos.

La superficie cosechada está relacionada con la emisión de óxidos nitrosos, partículas en suspensión menores a 10 y 2.5  $\mu\text{m}$ , amoníaco y la emisión de carbón negro. Las elasticidades que se obtuvieron son las siguientes:  $EE_{NOSUPCOS}=0.25$ ,  $EE_{PMSUPCOS}=0.57$ ,  $EE_{PMMSUPCOS}=0.54$ ,  $EE_{NHSUPCOS}=0.39$  y  $EE_{CNSUPCOS}=0.48$ . Se puede observar que todas son menores a uno. Lo anterior es consistente con el hecho de que una de las principales fuentes de emisión de partículas en suspensión menores a 10 y 2.5  $\mu\text{m}$ , amoníaco y carbón negro provienen de fuentes de área.

En este capítulo se analizó a través de ocho modelos econométricos el impacto de las principales fuerzas antropogénicas en el deterioro ambiental. Se encuentra que las más importantes son: la población, la población rural, el PIB *per cápita*, el PIB industrial,

sector electricidad, agua y suministro de gas por ductos al consumidor final y la superficie cosechada.

En cada modelo se analizó a la población urbana, al PIB *per cápita* y a sus términos cuadráticos para verificar la existencia de una CKA. Sin embargo, en ningún modelo estas variables fueron significativas, por lo tanto, se descarta la hipótesis de una CKA relacionada con la población urbana y el PIB *per cápita*. El resultado coincide con los hallazgos de Gómez et al. (2011) quien relaciona diferentes variables ambientales con el PIB *per cápita* y concluye que en general, no hay relación entre crecimiento económico y aumento en el cuidado de las variables medioambientales en México, excepto para el volumen de aguas residuales y volumen de recolección de basura.

Se realizó un análisis de elasticidades para capturar la sensibilidad que presentan las emisiones de los contaminantes cuando las fuerzas antropogénicas cambian. Los resultados muestran que únicamente la  $EE_{SOPPOBRURPOR}$ ,  $EE_{SOPIBPC}$ , la  $EE_{SOPIBINDEAS}$  y la  $EE_{COVPOB}$  son elásticas. Este resultado coincide con los que obtuvieron Dietz y Rosa (1997) y York, Dietz y Rosa (2003). En estos modelos se valida la identidad IPAT ya que se obtuvo una elasticidad cercana a uno.

Por otro lado, el resto de las elasticidades como son:  $EE_{NOPOB}$ ,  $EE_{NOPIBPC}$ ,  $EE_{PMSUPCOS}$ ,  $EE_{PMMSUPCOS}$ ,  $EE_{PMPOB}$ ,  $EE_{PMMPPOB}$ ,  $EE_{NHPOB}$ ,  $EE_{NHSUPCOS}$ ,  $EE_{CNPOB}$ , y  $EE_{CNSUPCOS}$  presentan una relación inelástica, es decir un coeficiente menor a uno. Este resultado no puede dar sustento empírico a la corriente Malthusiana y a la identidad IPAT y sus derivados ya que en éstas se habla de una relación proporcional entre los contaminantes y el deterioro ambiental. Sin embargo, aun cuando el coeficiente es menor que uno, no significa que estas variables no sean significativas en el problema del deterioro ambiental.

En cuanto a los sectores industrial y agrícola se observó que el PIB industrial impacta más que el PIB agrícola en la emisión de contaminantes atmosféricos, el PIB industrial sector electricidad agua y suministro de gas por ductos al consumidor final tiene una elasticidad de 1.07 con respecto a la emisión de dióxido de azufre mientras que el PIB agrícola no mostró evidencia de significancia estadística en los modelos.

En general, la población desempeña un papel importante en el deterioro ambiental en México. Sin embargo no en todos los contaminantes ésta es significativa. Tampoco se observó un impacto más que proporcional de esta variable con respecto a la emisión de los contaminantes analizados. Únicamente en la emisión de COV y NH<sub>3</sub> la población fue la variable de mayor impacto con respecto a las demás.

## Conclusiones generales y recomendaciones

### Conclusiones

La degradación ambiental es un problema al que se enfrenta hoy en día el mundo entero. El crecimiento de la población y las actividades económicas han sido algunos de los principales factores que contribuyen a este problema.

El desarrollo sustentable es uno de los objetivos planteados tanto por la economía neoclásica como por la economía ecológica. Ambas buscan satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin que esto impida a las generaciones futuras hacer lo mismo. La contaminación atmosférica es un problema que está afectando a las generaciones presentes y que por su propia naturaleza afectará a las generaciones futuras. La calidad del aire no es un bien que pueda sustituirse con algún otro bien por lo que este trabajo rechaza la propuesta de la sustentabilidad débil planteada por la economía neoclásica. Este problema de contaminación atmosférica puede ser abordado desde el punto de vista de la teoría neoclásica como una externalidad o se puede hacer desde el punto de vista de la economía ecológica la cual sugiere que para solucionar el problema de la contaminación atmosférica es necesario observar cuáles son los factores que influyen en esta para poder abordar el problema. En este trabajo se observó que los factores que más influyen en la contaminación atmosférica son la población, el PIB per *cápita*, el PIB industrial del sector energía agua y suministro de gas por ductos al consumidor final y la superficie cosechada.

Las variables significativas en el modelo planteado fueron la población, el PIB *per cápita*, el PIB industrial del sector energía agua y suministro de gas por ductos al consumidor final, y la superficie cosechada. Se rechazó la existencia de una CKA relativa al PIB *per cápita* y la población urbana ya que el término cuadrático de estas variables no fue significativo. El PIB industrial, PIB industrial de los sectores: minería, construcción, industrias manufactureras y el PIB agrícola no fueron significativos, en el caso del PIB industrial se eliminó de los modelos ya que estaba altamente correlacionado con la población y no permitía probar el papel que desempeña la población en la emisión de los contaminantes. El resto de las variables se eliminaron no porque no sean importantes sino porque no ayudan a explicar la emisión de los contaminantes. El  $R^2$  más bajo que se obtuvo fue el del modelo  $SO_2$  y fue de 47%, en todos los demás modelos fue superior al 60% lo que indica que las variables en su conjunto explican más del 60% la variación de los contaminantes.

En los modelos planteados se encontró que la población fue el factor principal que impacta en las emisiones de COV, partículas en suspensión menor a  $10\ \mu m$  y  $NH_3$ . El PIB *per cápita* fue el principal factor en las emisiones de  $SO_2$  y  $NO_x$  y la superficie cosechada fue el principal factor en la emisión de partículas en suspensión menor a  $2.5\ \mu m$  y carbón negro.

Respecto a las elasticidades ecológicas se observó que las más altas fueron la  $EE_{SO_{IBPC}}$ ,  $EE_{SO_{IBINDEEAS}}$  y  $EE_{COVPOB}$  siendo de 1.5, 1.14 y 1.10 respectivamente. Las elasticidades relativas a la población mostraron ser menores que uno, esto significa que existe una variación menos que proporcional ante un cambio de la población en la emisión de  $NO_x$ , partículas en suspensión menores a 10 y  $2.5\ \mu m$ ,  $NH_3$  y carbón negro.

En estudios realizados por autores como York et al. (2003) y Shi (2002) encuentran elasticidades ecológicas mayores que uno. Es probable que los resultados obtenidos en este trabajo difieran con los obtenidos por estos autores debido a los datos ya que dichos autores utilizan modelos de datos panel y en este trabajo se utilizó un modelo de corte transversal y la muestra es menor. Para ampliar el tamaño de la muestra y verificar si los resultados obtenidos se mantienen será necesario calcular u obtener las emisiones de contaminantes atmosféricos para los años 2006 y 2007 ya que solo existe información para 2005 y 2008.

Las hipótesis planteadas en este trabajo señalan que los principales factores que inciden en el deterioro del aire en México son el tamaño de la población, el ingreso, el consumo y el tipo de tecnología que se utilice. Además existe una relación positiva entre la población y el ingreso y la emisión de contaminantes atmosféricos.

Se concluye que el tamaño de la población en México ejerce presión en la contaminación atmosférica, principalmente cuando los contaminantes provienen de fuentes móviles, es decir de transporte y autos como es el caso de los óxidos de nitrógeno y los compuestos orgánicos volátiles. En el resto de los modelos se confirma que existe una relación positiva entre la población y los contaminantes atmosféricos, excepto en el caso del SO<sub>2</sub> cuya fuente de emisión principal son las fuentes fijas.

El PIB per *cápita*, un indicador de riqueza y consumo que ejerce presión cuando se trata de contaminantes como son el dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno, en el caso del dióxido de nitrógeno el nivel de confianza de esta variable es de 90% por lo que se puede decir con poca seguridad que un aumento de la riqueza aumentará las emisiones de SO<sub>2</sub> sobre todo porque la demanda de energía y electricidad, fuentes de emisión de SO<sub>2</sub> no está relacionada con el ingreso de cada entidad, sino con el ingreso de todo el país. Los óxidos de nitrógeno cuya fuente principal de emisión son las fuentes móviles, es decir, transporte y autos muestran que si aumenta el ingreso aumentará la emisión de estos contaminantes, esto es congruente con el hecho de que también en este modelo, emisiones de NO<sub>x</sub>, la elasticidad de la población es cercana a uno, por lo tanto un aumento del ingreso y la población hará que haya una mayor demanda de automotores y por consiguiente una mayor cantidad de NO<sub>x</sub>.

En cuanto a la variable tecnología, se trata de una variable difícil de medir, por tal motivo, se retomó la propuesta de York et al., (2003) la cual dice que en el modelo econométrico se puede interpretar como tecnología todas aquellas variables que no son ni la población ni el ingreso pero que tienen relación con la emisión de contaminantes. En este trabajo se incorporaron variables como la población urbana y la superficie cosechada y se observó que la superficie cosechada tiene una fuerte relación con los contaminantes atmosféricos cuando se trata de contaminantes cuya fuente principal de emisión son fuentes de área.

## **Recomendaciones.**

De acuerdo con los datos obtenidos se observa que la población es un factor importante en las emisiones de contaminantes atmosféricos por lo tanto será necesario llevar a cabo una política que contemple el crecimiento de la población como un factor importante causante del deterioro del aire en México. Esto quiere decir que será necesario disminuir el tamaño de la población a través de políticas de planificación familiar y educación sobre reproducción que en el largo plazo logre reducir la presión sobre los recursos naturales con los que se cuentan.

También se observó que el ingreso es otro factor que impacta en la calidad del aire, esto quiere decir que quienes más contaminan son las personas con mayor ingreso, esto en el caso de la emisión de la emisión de óxidos de nitrógeno. Sin embargo, las personas que resultan más afectadas por la contaminación atmosférica son las más vulnerables y las de menores ingresos, por lo tanto, será necesario estudiar la forma en que está distribuido el ingreso y qué tipo de productos se están consumiendo de tal forma que el ingreso conlleve a mejorar la calidad de vida de la población y no a la inversa. La emisión de óxidos de nitrógeno proviene principalmente de fuentes móviles, es decir, del uso de transporte y automóviles. La recomendación sería mejorar el transporte público, un transporte público eficiente y de bajas emisiones para mejorar la calidad del aire.

Otro elemento importante que se observó que impacta en la mala calidad del aire fue la superficie cosechada. Es probable que esto se deba al tipo de tecnología que se está utilizando en las prácticas agrícolas por lo tanto será necesario implementar mejoras tecnológicas que ayuden a disminuir las emisiones de contaminantes.

## **Posibles extensiones.**

Llevar a cabo un estudio en el que se analicen las implicaciones sociales, políticas, culturales y económicas de reducir la tasa de crecimiento de la población en México.

Analizar el potencial en la calidad ambiental de una política de planificación familiar y educación sobre reproducción.

Realizar dos modelos econométricos adicionales en el que las variables dependientes sean la calidad del agua y el deterioro del suelo y contrastar los resultados obtenidos con los que se obtuvieron en este trabajo que por cuestiones de tiempo no pudieron realizarse en este trabajo.



## Anexo A

Tabla A1. Principales fuentes de emisión de contaminantes atmosféricos.

<b>Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).</b>	<b>Monóxido de carbono (CO).</b>	<b>Compuestos orgánicos volátiles (COV).</b>
<p>Las emisiones de SO<sub>2</sub> dependen del contenido de carbón y azufre en el combustible. Derivadas de la generación de energía eléctrica y de actividades industriales como son: la química, petrolera, cementera, metalúrgica, metálica. Las plantas termoeléctricas que usan carbón o combustóleo con alto contenido de azufre pueden ser fuentes importantes de SO<sub>2</sub>. Los automotores contribuyen en 25% a la emisión de SO<sub>2</sub></p>	<p>Derivadas de la generación de energía eléctrica y de actividades industriales como son: la química, metalúrgica, manufacturera, petrolera, cementera y procesadora de productos vegetales y animales, entre otras. Las emisiones derivadas de la combustión utilizada para la generación de energía o vapor, dependen de la calidad de los combustibles y de la eficiencia de los quemadores, mantenimiento del equipo y de la presencia de equipo de control al final del proceso (filtros, precipitadores y lavadores, entre otros). Combustión de vehículos a gasolina y diesel.</p>	<p>Quema de combustibles y transporte. Suelen estar presentes en los disolventes utilizados en procesos de limpieza de ropa, aplicaciones de pintura, limpieza de superficies, impresión, barnizados, aplicación de adhesivos, etc. Plantas de generación de electricidad, industria química, metalúrgica, refinación petrolera, producción metálica primaria, producción metálica secundaria, producción cementera, industria automotriz, industria maderera, producción y petróleo de gas, terminares a granel. Combustión de vehículos a gasolina y diesel.</p>

Tabla A1. Continuación

Óxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> ).	Partículas en suspensión (menores a 10 y 2.5 µm).
<p>Derivadas de la generación de energía eléctrica y de actividades industriales como son: la química, petrolera, cementera, metálica primaria metalúrgica, manufacturera y procesadora de productos vegetales y animales, entre otras. Las emisiones derivadas de la combustión utilizada para la generación de energía o vapor, dependen de la calidad de los combustibles y de la eficiencia de los quemadores, mantenimiento del equipo y de la presencia de equipo de control al final del proceso (filtros, precipitadores y lavadores, entre otros). Combustión de vehículos a gasolina y diesel. Las fuentes más comunes de óxidos de nitrógeno en la naturaleza, son la descomposición bacteriana de nitratos orgánicos, los incendios forestales, quema de rastrojos y la actividad volcánica.</p> <p>Las principales fuentes antropogénicas de emisión se producen en los escapes de los vehículos motorizados y en la quema de combustibles fósiles. Otros focos de menor relevancia, se llevan a cabo en los procesos biológicos de los suelos, en los que se produce la emisión de nitritos (NO<sub>2</sub>) por parte de los microorganismos.</p>	<p>Quemas agrícolas forestales, combustión de vehículos a gasolina y diesel, actividades industriales y resuspensión de polvo, plantas de generación de electricidad, industria química, refinación petrolera, producción metálica primaria, producción metálica secundaria, producción cementera, producción minera miscelánea, industria maderera, explotación de minas/cantera, manufactura de productos de madera, industria azucarera, producción de metales elaborados, industria textil, plantas de asfalto, industria alimentaria y agricultura,</p>

Tabla A1. Continuación.

<b>Amoniaco (NH<sub>3</sub>).</b>	<b>Carbón negro.</b>
<p>Degradación de residuos animales, basuras y del uso de fertilizantes nitrogenados que provoca una elevada concentración de nitratos de las aguas superficiales. A nivel industrial, los focos de contaminación más significativos tienen lugar en los procesos de fabricación y tratamiento de textiles, plásticos, explosivos, pulpa y papel, alimentos y bebidas, productos de limpieza domésticos, refrigerantes y otros productos. En algunos sitios, las operaciones ganaderas son las principales fuentes de emisión de amoníaco. Las pérdidas de NH<sub>3</sub> provenientes de fertilizantes nitrogenados también contribuyen significativamente a las emisiones de este gas.</p>	<p>Derivadas de la generación de energía eléctrica y de actividades industriales como son: la química, textil, alimentaria, maderera, metalúrgica, metálica, manufacturera y procesadora de productos vegetales y animales, entre otras. Las emisiones derivadas de la combustión utilizada para la generación de energía o vapor, dependen de la calidad de los combustibles y de la eficiencia de los quemadores, mantenimiento del equipo y de la presencia de equipo de control al final del proceso (filtros, precipitadores y lavadores, entre otros). Los principales contaminantes asociados a la combustión son partículas. El carbón negro se produce en la combustión incompleta e ineficiente de combustibles fósiles, biocombustibles y biomasa</p>

Fuentes: INE-SEMARNAT (2009)  
 AIDA (2014)  
 IPNI (2015)

Tabla A2. Mecanismos asociados con cada una de las grandes categorías de fuentes de área.

Categoría de fuente	Combustión	Evaporación	Perturbación Mecánica	Procesos Biológicos
Uso de combustible en fuentes estacionarias	Combustión residencial			
Uso de solventes		Desengrasado		
Almacenamiento y transporte de productos de petróleo	Distribución de gasolina, fugas de gas LP			
Fuentes industriales y comerciales ligeras.	Fabricación de ladrillos.		Construcción de edificios.	Panaderías.
Fuentes agrícolas.	Quemas agrícolas	Aplicación de plaguicidas.	Cultivo agrícola	Desechos animales.
Fuente de manejo de residuos.	Incineración	Plantas públicas de tratamiento.		

Fuentes: INE-SEMARNAT (2009)

## Anexo B

Pruebas del modelo econométrico para verificar su correcta especificación.

**Normalidad.** Es el primer supuesto del modelo de regresión lineal, para verificar que se cumpla el supuesto analizamos los residuos del modelo.

Las figuras A1, A2, A3, A4, A5, A6 y A7 muestran los histogramas de los residuos de los diferentes modelos, así como estadísticos que nos ayudan a determinar si se cumple el supuesto de normalidad.

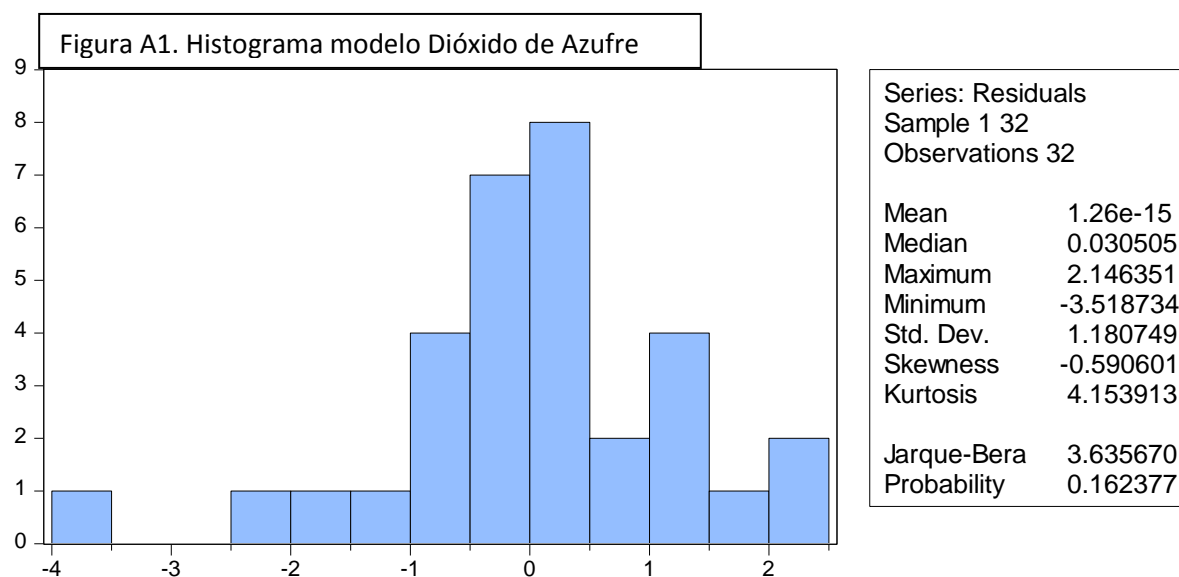
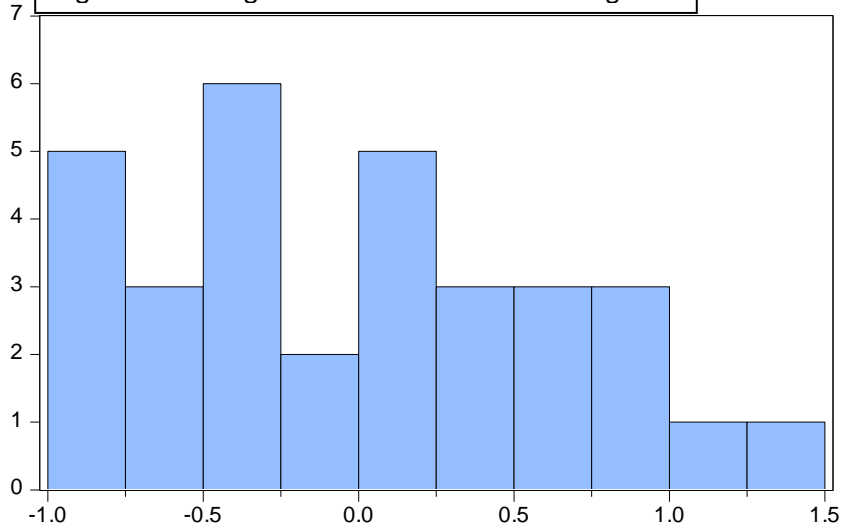
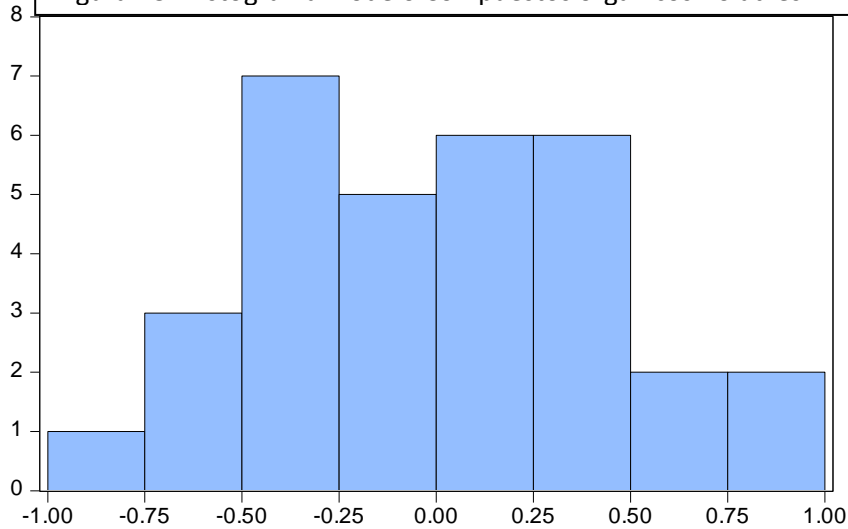


Figura A2. Histograma modelo Óxidos de nitrógeno



Series: Residuals	
Sample 1 32	
Observations 32	
Mean	-1.51e-15
Median	-0.029407
Maximum	1.404060
Minimum	-0.988474
Std. Dev.	0.631207
Skewness	0.427641
Kurtosis	2.296646
Jarque-Bera	1.634953
Probability	0.441544

Figura A3. Histograma modelo Compuestos orgánicos Volátiles



Series: Residuals	
Sample 1 32	
Observations 32	
Mean	1.47e-15
Median	-0.001804
Maximum	0.874195
Minimum	-0.770310
Std. Dev.	0.428545
Skewness	0.217070
Kurtosis	2.258121
Jarque-Bera	0.985149
Probability	0.611051

Figura A4. Histograma modelo Partículas en suspensión menores a 10  $\mu\text{m}$

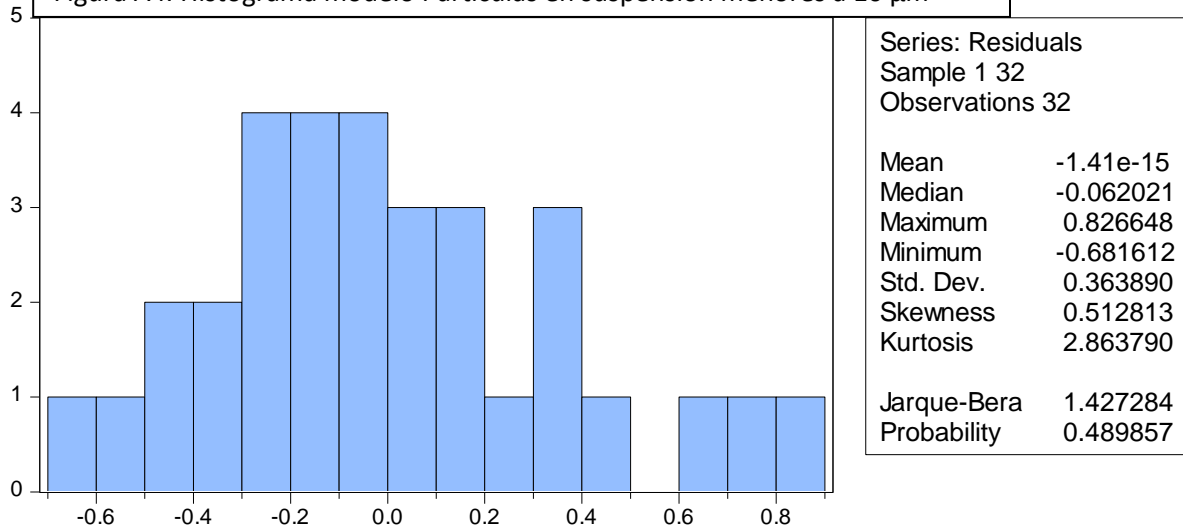
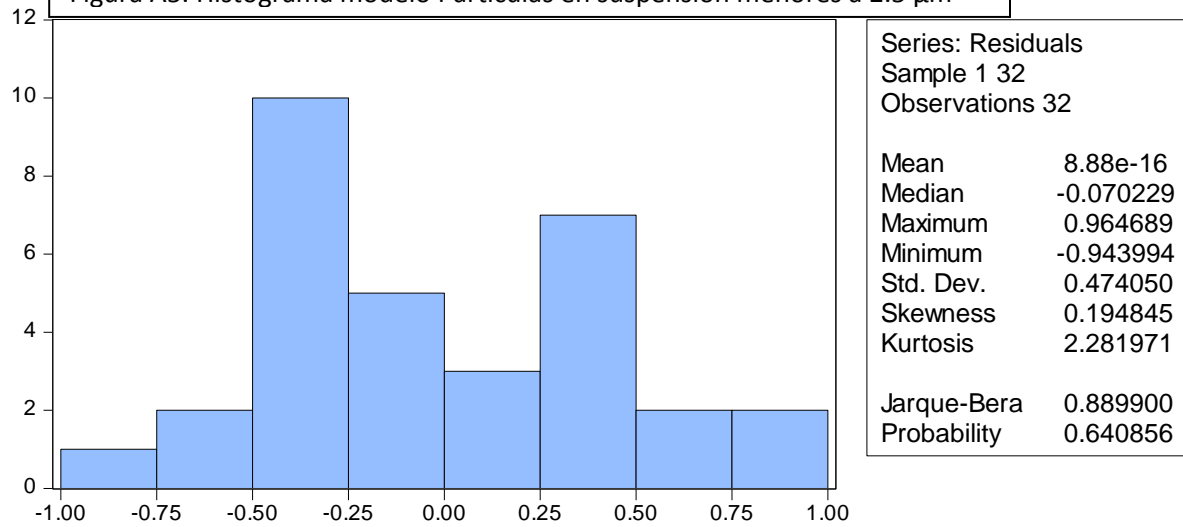
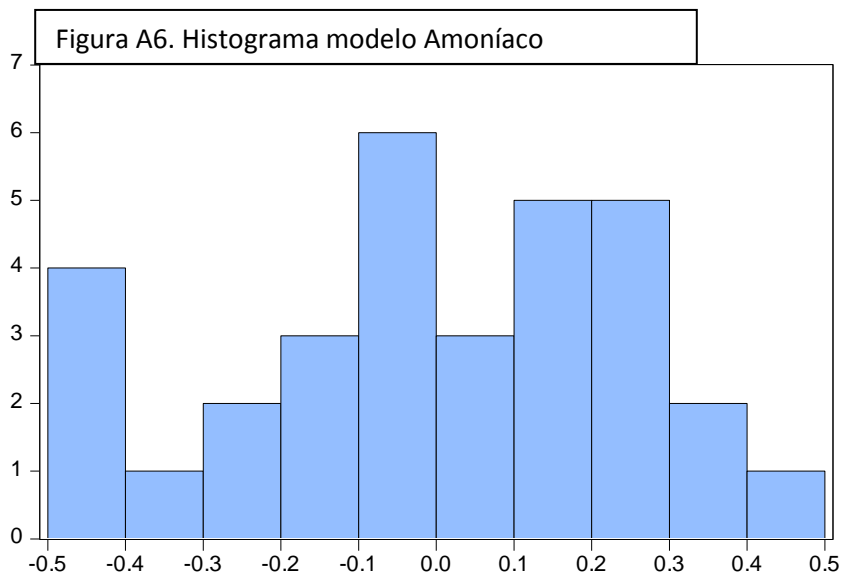
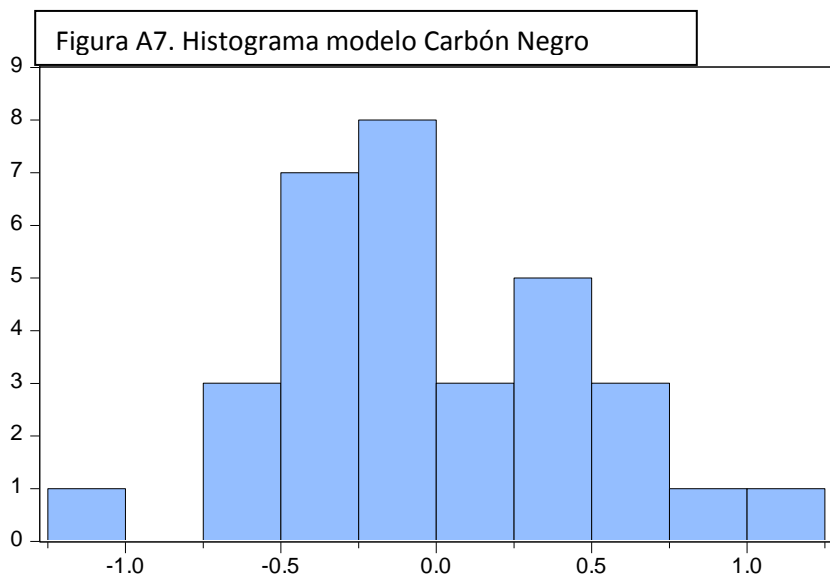


Figura A5. Histograma modelo Partículas en suspensión menores a 2.5  $\mu\text{m}$





Series: Residuals	
Sample 1 32	
Observations 32	
Mean	-3.06e-15
Median	0.022355
Maximum	0.444010
Minimum	-0.498979
Std. Dev.	0.258446
Skewness	-0.305946
Kurtosis	2.216198
Jarque-Bera	1.318345
Probability	0.517279



Series: Residuals	
Sample 1 32	
Observations 32	
Mean	-1.28e-15
Median	-0.076973
Maximum	1.036651
Minimum	-1.232117
Std. Dev.	0.503477
Skewness	0.102871
Kurtosis	2.894055
Jarque-Bera	0.071405
Probability	0.964927

Cuadro A1. Resultados obtenidos para probar normalidad.

Nombre	Sesgo	Curtosis	Jarque Bera	SK test. (probabilidad conjunta)
Dióxido de azufre	-0.5906	4.1539	3.6356(0.16)	0.0802
óxidos de nitrógeno	0.4276	2.2966	1.63 (0.44)	0.3767



Compuestos orgánicos volátiles.	0.217	2.2581	0.9851 (0.6110)	0.5505
Partículas en suspensión menores a 10 $\mu\text{m}$	0.5128	2.8637	1.4272 (0.4898)	0.3654
Partículas en suspensión menores a 2.5 $\mu\text{m}$	0.1948	2.2819	0.8899 (0.6408)	0.6034
Amoniaco	-0.3059	2.2161	1.3183 (0.5172)	0.4115
Carbón negro	0.1028	2.894	0.0714 (0.9649)	0.9061

En el cuadro A1 se puede observar el sesgo y la curtosis obtenidos del modelo. Por si solos, estos resultados no nos ayudan a determinar si los datos tienen una distribución normal o no. Para determinar la normalidad de los residuales utilizamos el estadístico Jarque Bera, este estadístico utiliza los valores obtenidos del sesgo y la curtosis. Cuando los residuales están normalmente distribuidos tienen una distribución Chi-Cuadrada con dos grados de libertad. Rechazamos la hipótesis de errores normalmente distribuidos si el valor calculado del estadístico excede el valor crítico seleccionado de la distribución Chi-Cuadrada con dos grados de libertad. El valor crítico de 5% de una distribución Chi-Cuadrada con dos grados de libertad es de 5.99.

H0: Errores normalmente distribuidos

H1: Errores no distribuidos normalmente.

El valor obtenido del estadístico Jarque-Bera es, menor que 5.99 en todos los modelos, por lo tanto no podemos rechazar la hipótesis de errores normalmente distribuidos

Otra forma de probar la normalidad de los residuos es con la prueba sktest. La prueba sktest (Skewness-Kurtosis) que realiza Stata sigue los mismos principios que la prueba JB. Para su correcta aplicación se requiere un mínimo de 8 observaciones. Aunque utiliza a los coeficientes de asimetría y curtosis, sktest presenta una prueba de normalidad basada en la asimetría y otra sustentada en la curtosis. Finalmente combina las dos pruebas en un estadístico resumen. La opción noadjust suprime el ajuste propuesto por Royston (1991).

En los resultados obtenidos del modelo se observa que la probabilidad asociada a este estadístico es mayor que 0.05 por lo que no se puede rechazar la hipótesis nula de errores normalmente distribuidos.

### Heterocedasticidad

La heteroscedasticidad indica que la varianza del error condicionado a las variables explicativas no es constante a lo largo de las observaciones, esta no causa sesgo e inconsistencia, sin embargo, en presencia de esta los estadísticos que usamos para probar las hipótesis de los supuestos de Gauss Markov, no son válidos, por ejemplo el estadístico F no se distribuye como una distribución F y el estadístico LM no tiene una distribución chi cuadrada asintótica (Wooldridge, 2009). Para corroborar si el modelo es heterocedastico o no realizamos la prueba White y la Breusch-Pagan Godfrey. Los resultados obtenidos en los modelos se muestran en el cuadro A2.

Cuadro A2. Resultados obtenidos para probar heterocedasticidad						
Nombre	Resultados Breusch Pagan Godfrey			Resultados White.		
	F-statistic	Prob. F*	Prob. Chi-Square **	F-statistic	Prob. F*	Prob. Chi-Square **
Dióxido de azufre	1.561421	(4,27) 0.2131	(4)0.1983	1.230088	(14,17) 0.3384	(14) 0.2231
óxidos de nitrógeno	0.826142	(3,28) 0.4906	(3) 0.4571	1.00335	(9,22) 0.4662	(9) 0.4090
Compuestos orgánicos volátiles.	0.824326	(2,29) 0.4485	(2) 0.4229	1.14082	(5,26) 0.3642	(5) 0.3306

Partículas en suspensión menores a 10 µm	0.785596	(3,28) 0.5121	(3) 0.4781	0.58001	(9,22) 0.7992	(9) 0.7262
Partículas en suspensión menores a 2.5µm	0.419893	(3,28) 0.7401	(3) 0.7108	0.45208	(9,22) 0.8908	(9) 0.8348
Amoniaco	1.457976	(3,28) 0.2473	(3) 0.2286	2.23839	(9,22) 0.0595	(9) 0.0831
Carbón negro	0.483734	(3,28) 0.6963	(3) 0.6647	0.46717	(9,22) 0.8810	(9) 0.8224
* Los números entre paréntesis son los grados de libertad y el número de observaciones menos los grados de libertad menos uno que se utilizaron para obtener el estadístico F						
** Los números entre paréntesis son los grados de libertad						

La hipótesis nula de homocedasticidad es:

$$H_0: \delta_1 = \delta_2 \dots \delta_k = 0$$

donde  $\delta_1, \delta_2 \dots \delta_k$  son los coeficientes de las variables del modelo de regresión auxiliar cuya variable dependiente son los errores al cuadrado del modelo de regresión original (Wooldridge, 2009).

De acuerdo con las hipótesis planteadas se observa que las probabilidades asociadas a los estadísticos F y Chi-Cuadrada son mayores a 0.05, por lo que no podemos rechazar H0 que indica homocedasticidad.

### Multicolinealidad

Se refiere a aquella situación en la que dos o más variables independientes se encuentran correlacionadas (Wooldridge, 2009). Este problema se puede detectar con el coeficiente de correlación.

A continuación se muestran los resultados que se obtuvieron en los modelos.

	lso	lpob	lpobrur	lpibpc	lpibindeas
lso	1				
lpob	0.0964	1			
lpobrur	0.2672	0.5504	1		
lpibpc	0.1386	-0.1997	-0.5952	1	
lpibindeas	0.3871	0.7095	0.2704	-0.023	1

Tabla A4. Coeficiente de correlación. Modelo óxidos de nitrógeno				
	Lno	lpob	Lpibpc	lsupcos
lno	1			
lpob	0.6915	1		
lpibpc	0.1326	-0.182	1	
lsupcos	0.3618	0.4550	-0.5483	1

Tabla A5. Coeficiente de correlación. Modelo compuestos orgánicos volátiles			
	lcov	lpob	lpibpc
lcov	1		
lpob	0.8903	1	
lpibpc	-0.2359	-0.1820	1

Tabla A6. Coeficiente de correlación. Modelo partículas en suspensión menores a 10 µm				
	Lpm	lpob	Lpibpc	lsupcos
lpm	1			
lpob	0.6151	1		
lpibpc	-0.3798	-0.1820	1	
lsupcos	0.8555	0.4550	-0.5483	1

Tabla A7. Coeficiente de correlación. Modelo partículas en suspensión menores a 2.5 µm				
	Lpm	lpob	Lpibpc	lsupcos
lpmm	1			
lpob	0.6087	1		
lpibpc	-0.3674	-0.1820	1	
lsupcos	0.7971	0.4550	-0.5483	1

Tabla A8. Coeficiente de correlación. Modelo amoníaco				
	Lnh	lpob	Lpibpc	lsupcos
lnh	1			
lpob	0.8131	1		
lpibpc	-0.3471	-0.1820	1	
lsupcos	0.7895	0.4550	-0.5483	1

Tabla A9. Coeficiente de correlación. Modelo carbón negro				
	Lcn	lpob	lpibpc	lsupcos
lcn	1			

lpob	0.63	1		
lpibpc	-0.4191	-0.1820	1	
lsupcos	0.7715	0.4550	-0.5483	1

De acuerdo con la matriz de correlación se puede observar que no existe multicolinealidad que pueda generar problemas en el modelo.

Otro método que se utilizó para probar que no existen problemas de multicolinealidad fue el factor de inflación de la varianza (FIV). Este método mide el nivel de colinealidad entre los regresores en una ecuación. El FIV muestra que tanto de la varianza de un coeficiente estimado de un regresor ha sido inflado debido a la colinealidad con los otros regresores. Éste se puede calcular dividiendo la varianza de un coeficiente estimado entre la varianza de los coeficientes de otros regresores que no han sido incluidos en la ecuación. Un coeficiente mayor que 10 indicaría problemas de multicolinealidad.

A continuación se muestran los resultados obtenidos para los modelos calculados. Se puede observar que el valor del FIV centrado es menor a 10 por lo que es posible descartar problemas de multicolinealidad.

Factor de inflación de la varianza del modelo <b>dióxido de azufre</b>			
Variable	Coefficient Variance	Uncentered VIF	Centered VIF
C	35.07816	701.2514	NA
LPOB	0.245313	1073.482	2.818276
LPOBRUR	0.100733	348.1699	2.250561
LPIBPC	0.348552	130.3773	1.613693
LPIBINDEAS	0.107166	494.8738	2.109731

Factor de inflación de la varianza del <b>modelo óxidos de nitrógeno.</b>			
Variable	Coefficient Variance	Uncentered VIF	Centered VIF
C	9.129333	662.2808	NA
LPOB	0.029045	458.9266	1.271495
LPIBPC	0.085806	116.4711	1.441574
LSUPCOS	0.019755	241.5022	1.757690

Factor de inflación de la varianza del <b>modelo compuestos orgánicos volátiles</b>			
Variable	Coefficient Variance	Uncentered VIF	Centered VIF
C	3.187787	519.6161	NA
LPOB	0.010515	373.3053	1.034274
LPIBPC	0.027398	83.56355	1.034274

Factor de inflación de la varianza del modelo <b>partículas en suspensión menores a 10 µm</b>			
Variable	Coefficient Variance	Uncentered VIF	Centered VIF
C	3.034139	662.2808	NA
LPOB	0.009653	458.9266	1.271495
LPIBPC	0.028518	116.4711	1.441574
LSUPCOS	0.006566	241.5022	1.75769

Factor de inflación de la varianza del modelo <b>partículas en suspensión menores a 2.5 µm</b>			
Variable	Coefficient Variance	Uncentered VIF	Centered VIF
C	5.149262	662.2808	NA
LPOB	0.016382	458.9266	1.271495
LPIBPC	0.048398	116.4711	1.441574
LSUPCOS	0.011143	241.5022	1.75769

Factor de inflación de la varianza del modelo <b>amoníaco</b>			
Variable	Coefficient Variance	Uncentered VIF	Centered VIF
C	1.765605	764.0109	NA
LPOB	0.005288	498.3749	1.380790
LPIBPC	0.012330	99.82743	1.235574
LPIBAGR	0.004687	521.1768	1.643972

Factor de inflación de la varianza del modelo <b>carbón negro</b>			
Variable	Coefficient Variance	Uncentered VIF	Centered VIF
C	5.808387	662.2808	NA
LPOB	0.01848	458.9266	1.271495

LPIBPC	0.054593	116.4711	1.441574
LSUPCOS	0.012569	241.5022	1.75769

## Bibliografía

- Aguilar, A. y Pérez, R. (2008). "La contaminación agrícola del agua en México: retos y perspectivas" en *Problemas del Desarrollo. Revista Latinoamericana de Economía*. Vol. 39. Núm. 153. pp. 205-215
- AIDA. Asociación Interamericana para la Defensa del Ambiente (2014). El Carbono Negro: Concepto, Efectos Climáticos y Oportunidades en su Control. Disponible en: [http://www.aida-americas.org/sites/default/files/AIDA\\_Carbono%20Negro%20FINAL.pdf](http://www.aida-americas.org/sites/default/files/AIDA_Carbono%20Negro%20FINAL.pdf)  
Consultado el 30 de Septiembre de 2014.
- Alfie, M. (2011). "Avatares y desafíos de la política ambiental Mexicana" en Alfie, M. (Comp.) *Dinámica Ambiental en México*. México, UAM Azcapotzalco.
- Ávila, Universidad Autónoma de San Luis Potosí (2015) "Inventario de emisiones de fuentes de área para la ciudad de San Luis Potosí" [En línea] México, Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico13/058.pdf> [Accesado el día 12 de febrero de 2015]
- Blackman, A.; Epanchin, R.; Siikamäki, J. y D. Velez. (2014). *Biodiversity conservation in Latin America and the Caribbean: prioritizing policies*. Abingdon. Resources For The Future.
- Bradshaw, C. y Brook, B. (2014). "Human population reduction is not a quick fix for environmental problems" en *PNAS*. Vol. 111 Núm. 46. pp. 16610–16615
- Chertow, M. (2001). *The IPAT equation and its variants. Changing the views of technology and environmental impact*, *Journal of Industrial Ecology*, Vol. 4, No. 4 pp.13-29.
- Common, M. y Stagl, S. (2008). *Introducción a la Economía Ecológica*, México, Editorial Reverté
- Commoner, B. (1972). *A Bulletin Dialogue: on "The Closing Circle" - Response*. *Bulletin of the Atomic Scientists*: pp.17–56.



- Commoner, B. (1971). *The Closing Circle: Nature, Man, and Technology*. New York :Knopf, 1971.
- CONAGUA. (2010). *Agua en el mundo*. Disponible en: [http://www.conagua.gob.mx/conagua07/contenido/documentos/sina/capitulo\\_8.pdf](http://www.conagua.gob.mx/conagua07/contenido/documentos/sina/capitulo_8.pdf) consultado el 1 de junio de 2014.
- CONAGUA. (2012). "Calidad de agua según indicador DBO5" *Conagua* [En línea México. Disponible en: <http://www.conagua.gob.mx/atlas/ciclo25.html>
- Costanza, R.; Cumberland, J.; Daly, H.; Goodland, R. y R. Noorgard. (1999). *Una introducción a la economía ecológica*. México, CECSA.
- Cropper, M. y Griffiths, C. (1994). *The Interaction of Population Growth and Environmental Quality*. *The American Economic Review*, Vol. 84, No. 2, pp. 250-254
- Daly, H. y J. Farley. (2003). *Ecological Economics. Principles and Applications*. Washington. Island Press.
- de Jong, B.; Anaya, C.; Masera, O.; Olguín, M.; Paz, F.; Etchevers, J.; Martínez, R.; Guerrero, G. y C. Balbontín. (2010). "Greenhouse gas emissions between 1993 and 2002 from land-use change and forestry in Mexico" en *Forest Ecology and Management* Núm. 60. pp.1689–1701.
- Dietz, T. y Rosa E. (1997). *Effects of population and affluence on CO2-emissions*, in: Protocol of the National Academy of ScienceS usa, 94. pp. 175-179.
- Ehrlich, P. y Holdren J. (1972). *A bulletin dialogue on "The Closing Circle"*: Critique: One dimensional ecology. *Bulletin of the Atomic Scientists* 28(5). pp.16–27.
- Ehrlich, P y Holdren J. (1971). *Impact of Population Growth*.*Science, New Serie*.3977 (marzo). pp. 1212-1217
- Ehrlich, P. (1968). *The Population Bomb*.New York: Ballantine Books.
- FAO. (2005).*Gran escasez de alimentos en 36 países, informa la FAO* Disponible en:<http://www.fao.org/newsroom/es/news/2005/90082/index.html>. Consultado el 8 de abril de 2014

- Gans, O. y Jost F. (2005). *Decomposing the impact of population growth on environmental deterioration. Discussion paper series*, 422 (septiembre). pp. 1-12
- Hartwick, J. (1977). "Intergenerational equity and the investing of rents from exhaustible resources" en *American Economic Review*. Vol. 67 Núm. 5. Diciembre. pp. 972-974.
- INEEC (2015) "Los vehículos automotores como fuente de emisión" *Inecc* [En línea]. México. Disponible en: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/618/vehiculos.pdf> [Accesado el día 12 de febrero de 2015]
- INECC-SEMARNAT (2014). Lluvia ácida. Disponible en: <http://www.inecc.gob.mx/calaires-informacion-basica/554-calaires-lluvia-acida>. Consultado en noviembre de 2014
- INEGI (2013). *Cuentas económicas y ecológicas de México, 2007-2011*. Boletín de prensa núm. 045/13. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/inegi/contenidos/espanol/prensa/boletines/boletin/Comunicads//Especiales/2013/Febrero/comunica4.pdf>. Consultado el 8 de abril de 2014.
- INEGI (2014). *Agua potable y drenaje*. Disponible en <http://cuentame.inegi.org.mx/territorio/agua/dispon.aspx?tema=T>. Consultado el 8 de abril de 2014.
- INEGI. (2014b). Información oportuna sobre la actividad industrial en México durante octubre de 2014. [En línea] Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/inegi/contenidos/espanol/prensa/comunicados/Actbol.pdf> [Consultado el 13 de diciembre de 2014].
- INEGI. (2014c). Cuéntame INEGI. Disponible en: [http://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/rur\\_urb.aspx?tema=P](http://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/rur_urb.aspx?tema=P). Consultado el 30 de septiembre de 2014.
- INE-SEMARNAT. (2009). "Guía para la estimación de emisiones de fuentes fijas" *Inecc* [En línea] México, Disponible en: [http://www.inecc.gob.mx/descargas/calaires/2009\\_guia\\_fijas\\_preliminar\\_taller.pdf](http://www.inecc.gob.mx/descargas/calaires/2009_guia_fijas_preliminar_taller.pdf) [Accesado el día 27 de noviembre de 2014]

- INE-SEMARNAT. (2012). "México Quinta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático" México.
- IMCO. (2012). *Comunicado de prensa*. Disponible en: [http://imco.org.mx/medio\\_ambiente/conferencia\\_de\\_prensa\\_sobre\\_calidad\\_del\\_aire\\_en\\_ciudades\\_del\\_pais\\_y\\_su\\_impacto/](http://imco.org.mx/medio_ambiente/conferencia_de_prensa_sobre_calidad_del_aire_en_ciudades_del_pais_y_su_impacto/). Consultado el 8 de abril de 2014.
- IMCO. (2015). "La contaminación del aire: un problema que daña la salud y la economía" [En línea]. Disponible en: [http://imco.org.mx/medio\\_ambiente/la-contaminacion-del-aire-un-problema-que-dana-la-salud-y-la-economia/](http://imco.org.mx/medio_ambiente/la-contaminacion-del-aire-un-problema-que-dana-la-salud-y-la-economia/) [Accesado el día 12 de febrero de 2015]
- IPCC. (2008). *Documento Técnico no. VI sobre Cambio Climático y Agua*. Disponible en [http://www.ipcc.ch/pdf/technical-papers/ccw/ccw%20sp/front\\_matter\\_sp.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/technical-papers/ccw/ccw%20sp/front_matter_sp.pdf). Consultado el 15 de octubre de 2015.
- Jiang, L. y Hardee, K. (2010). "How do Recent Population Trends Matter to Climate Change" en *Population Research Policy Review*. Núm. 30. pp. 287-312
- Kolstad, C. (2001). *Economía Ambiental*. México, Oxford University Press.
- Labandeira, X., León, C. y Vázquez, M.J. (2006). *Economía Ambiental*. Pearson Educación.
- Martínez, J. y Roca, J. (2000). *Economía Ecológica y Política Ambiental*. México. PNUMA, FCE.
- Meadows, D. y Meadows, D. (1972). *Los límites del crecimiento: Informe al Club de Roma Sobre el Predicamento de la Humanidad*. Nueva York: FCE.
- Ministerio de agricultura, alimentación y medio ambiente. (2007). NH<sub>3</sub> ¿Qué es? Disponible en: <http://www.prtr-es.es/NH3-amoniaco,15593,11,2007.html> Consultado el 30 de septiembre de 2014.
- ONU. (1998). *Protocolo de Kyoto de la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático*.
- ONU (1987). *Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (Comisión Brundtland): Nuestro Futuro Común*.

- Daniels, P. (2010). *Climate change, economics and Buddhism — Part I: An integrated environmental analysis framework*, Ecological Economics, No. 69. pp. 952–961
- Pérez, R.; Ávila, S. y A. Aguilar. (2010). *Introducción a las economías de la naturaleza*. México. UNAM, liec
- Pérez, R. (Coor.) (2012). *Agricultura y Contaminación del Agua*. México, UNAM, liec.
- Pimentel, D.; Whitecraft, M.; Scott, Z.; Zhao, L.; Satkiewicz, P.; Scott, T.; Philips, J.; Szimák, D.; Singh, G.; Gonzalez, D. y T. Moe. (2010). "Will Limited Land, Water, and Energy Control Human Population Numbers in the Future?" en *Human Ecology*. Núm. 38. pp. 599-611
- Preston, S. (1996). *The effect of population growth on environmental quality*, in: Population Research and Policy Review 15. pp. 101-107.
- Schoijet, M. (2005). *Población y producción de alimentos. Tendencias recientes*. Problemas del Desarrollo Revista Latinoamericana de Economía Vol. 36, núm. 141, abril-junio/2005
- Schoijet, M. (2008). *Límites del crecimiento y cambio climático*, Primera parte: límites del crecimiento Capítulo 1: La aparición y recepción de límites del crecimiento. México, Siglo XXI editores.
- SEMARNAT. (2006). "La gestión ambiental en México" *Semarnat* [En línea], México, Disponible en: [http://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/informacionambiental/Documents/06\\_otras/Gestion\\_Ambiental.pdf](http://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/informacionambiental/Documents/06_otras/Gestion_Ambiental.pdf) (Consultado el 28 de marzo de 2014).
- SEMARNAT. (2011). Glosario, disponible en: <http://www.semarnat.gob.mx/educacion-ambiental/glosario> (consultado el 28 de marzo de 2014).
- SENER. (2011). *Prospectiva del mercado de petróleo crudo: 2010-2025*.
- SEMARNAT. (2012). *Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales indicadores clave y de desempeño ambiental edición 2012*. Capítulo 1. Población y medio ambiente México, disponible

en:[http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe\\_12/01\\_poblacion/cap1\\_1.html](http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_12/01_poblacion/cap1_1.html):  
(consultado el 26 de marzo de 2014).

SEMARNAT. (2014). "Principales contaminantes atmosféricos y sus efectos sobre la salud" *Semarnat* [En línea] México, Disponible en: [http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/estadisticas\\_2000/informe\\_2000/05\\_Aire/5.2\\_Normatividad/data\\_normatividad/contaminantes.htm](http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/estadisticas_2000/informe_2000/05_Aire/5.2_Normatividad/data_normatividad/contaminantes.htm) [Accesado el día 27 de noviembre de 2014]

Shi, A. (2002). "The impact of population pressure on global carbon dioxide emissions, 1975 /1996: evidence from pooled cross-country data" *Ecological Economics*. Núm. 44 pp. 29-42

Stern, N. (2006). *Stern Review on the Economics of Climate Change*. [http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20100407172811/http://www.hm-treasury.gov.uk/stern\\_review\\_report.htm](http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20100407172811/http://www.hm-treasury.gov.uk/stern_review_report.htm). [Accesado el día 27 de noviembre de 2014]

Wackernagel, M. y Rees. W. (1962). *Nuestra huella ecológica: reduciendo el impacto humano sobre la tierra*. Canadá, IEP

Waggoner, P. y Ausubel, J. (2002). "A framework for sustainability science: a renovated IPAT identity". en *Proceedings of the National Academy of Sciences* 99 núm. 12. pp. 7860-7865.

Wark, K. y C. Warner. (1994). *Contaminación del aire. Origen y control*. México: editorial limusa.

Wey, T. (2011). "What STIRPAT tells about effects of population and affluence on the environment?" en *Ecological Economics*. Núm. 72. pp. 70-74

WWF. (2006). *Informe Planeta Vivo 2006*, WWF International, Gland, Suiza.

WWF. (2008). *Informe Planeta Vivo 2008*, WWF International, Gland, Suiza.

WWF. (2010). *Informe Planeta Vivo 2010*, WWF International, Gland, Suiza.

WWF. (2012). *Informe Planeta Vivo 2012*, WWF International, Gland, Suiza.

- York, A.; Eugene, R. y T. Dietz (2003). *Methods, STIRPAT, IPAT, and ImPACT: analytic tools for unpacking the driving forces of environmental impacts*. *Ecological economics* 46 (junio). pp. 551-365
- Stern, N. 2006. *Stern Review on the Economics of Climate Change*.
- Aguilar, A. y Pérez, R. (2008). "La contaminación agrícola del agua en México: retos y perspectivas" en *Problemas del Desarrollo. Revista Latinoamericana de Economía*. Vol. 39. Núm. 153. pp. 205-215
- AIDA. Asociación Interamericana para la Defensa del Ambiente (2014). *El Carbono Negro: Concepto, Efectos Climáticos y Oportunidades en su Control*. Disponible en: [http://www.aida-americas.org/sites/default/files/AIDA\\_Carbono%20Negro%20FINAL.pdf](http://www.aida-americas.org/sites/default/files/AIDA_Carbono%20Negro%20FINAL.pdf)  
Consultado el 30 de Septiembre de 2014.
- Alfie, M. (2011). "Avatares y desafíos de la política ambiental Mexicana" en Alfie, M. (Comp.) *Dinámica Ambiental en México*. México, UAM Azcapotzalco.
- Ávila, Universidad Autónoma de San Luis Potosí (2015) "Inventario de emisiones de fuentes de área para la ciudad de San Luis Potosí" [En línea] México, Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico13/058.pdf> [Accesado el día 12 de febrero de 2015]
- Blackman, A.; Epanchin, R.; Siikamäki, J. y D. Velez. (2014). *Biodiversity conservation in Latin America and the Caribbean: prioritizing policies*. Abingdon. Resources For The Future.
- Bradshaw, C. y Brook, B. (2014). "Human population reduction is not a quick fix for environmental problems" en *PNAS*. Vol. 111 Núm. 46. pp. 16610–16615
- Chertow, M. (2001). *The IPAT equation and its variants. Changing the views of technology and environmental impact*, *Journal of Industrial Ecology*, Vol. 4, No. 4 pp.13-29.
- Common, M. y Stagl, S. (2008). *Introducción a la Economía Ecológica*, México, Editorial Reverté

- Commoner, B. (1972). *A Bulletin Dialogue: on "The Closing Circle" - Response*. Bulletin of the Atomic Scientists: pp.17–56.
- Commoner, B. (1971). *The Closing Circle: Nature, Man, and Technology*. New York :Knopf, 1971.
- CONAGUA. (2010). *Agua en el mundo*. Disponible en: [http://www.conagua.gob.mx/conagua07/contenido/documentos/sina/capitulo\\_8.pdf](http://www.conagua.gob.mx/conagua07/contenido/documentos/sina/capitulo_8.pdf) consultado el 1de junio de 2014.
- CONAGUA. (2012). "Calidad de agua según indicador DBO5" *Conagua* [En línea México. Disponible en: <http://www.conagua.gob.mx/atlas/ciclo25.html>
- Costanza, R.; Cumberland, J.; Daly, H.; Goodland, R. y R. Noorgard. (1999). *Una introducción a la economía ecológica*. México, CECSA.
- Cropper, M. y Griffiths, C. (1994). *The Interaction of Population Growth and Environmental Quality*. The American Economic Review, Vol. 84, No. 2, pp. 250-254
- Daly, H. y J. Farley. (2003). *Ecological Economics. Principles and Applications*. Washington. Island Press.
- de Jong, B.; Anaya, C.; Maser, O.; Olguín, M.; Paz, F.; Etchevers, J.; Martínez, R.; Guerrero, G. y C. Balbontín. (2010). "Greenhouse gas emissions between 1993 and 2002 from land-use change and forestry in Mexico" en *Forest Ecology and Management* Núm. 60. pp.1689–1701.
- Dietz, T. y Rosa E. (1997). *Effects of population and affluence on CO2-emissions*, in: Protocol of the National Academy of ScienceS usa, 94. pp. 175-179.
- Ehrlich, P. y Holdren J. (1972). *A bulletin dialogue on "The Closing Circle"*: Critique: One dimensional ecology. Bulletin of the Atomic Scientists 28(5). pp.16–27.
- Ehrlich, P y Holdren J. (1971). *Impact of Population Growth*. Science, New Serie.3977 (marzo). pp. 1212-1217
- Ehrlich, P. (1968). *The Population Bomb*.New York: Ballantine Books.

- FAO. (2005). *Gran escasez de alimentos en 36 países, informa la FAO* Disponible en: <http://www.fao.org/newsroom/es/news/2005/90082/index.html>. Consultado el 8 de abril de 2014
- Gans, O. y Jost F. (2005). *Decomposing the impact of population growth on environmental deterioration. Discussion paper series*, 422 (septiembre). pp. 1-12
- Hartwick, J. (1977). "Intergenerational equity and the investing of rents from exhaustible resources" en *American Economic Review*. Vol. 67 Núm. 5. Diciembre. pp. 972-974.
- INEEC (2015) "Los vehículos automotores como fuente de emisión" *Inecc* [En línea]. México. Disponible en: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/618/vehiculos.pdf> [Accesado el día 12 de febrero de 2015]
- INECC-SEMARNAT (2014). Lluvia ácida. Disponible en: <http://www.inecc.gob.mx/calair-informacion-basica/554-calair-lluvia-acida>. Consultado en noviembre de 2014
- INEGI (2013). *Cuentas económicas y ecológicas de México, 2007-2011*. Boletín de prensa núm. 045/13. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/inegi/contenidos/espanol/prensa/boletines/boletin/Comunicados/Especiales/2013/Febrero/comunica4.pdf>. Consultado el 8 de abril de 2014.
- INEGI (2014). *Agua potable y drenaje*. Disponible en <http://cuentame.inegi.org.mx/territorio/agua/dispon.aspx?tema=T>. Consultado el 8 de abril de 2014.
- INEGI. (2014b). Información oportuna sobre la actividad industrial en México durante octubre de 2014. [En línea] Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/inegi/contenidos/espanol/prensa/comunicados/Actbol.pdf> [Consultado el 13 de diciembre de 2014].
- INEGI. (2014c). *Cuéntame INEGI*. Disponible en: [http://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/rur\\_urb.aspx?tema=P](http://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/rur_urb.aspx?tema=P). Consultado el 30 de septiembre de 2014.



- INE-SEMARNAT. (2009). "Guía para la estimación de emisiones de fuentes fijas" *Inecc* [En línea] México, Disponible en: [http://www.inecc.gob.mx/descargas/calair/2009\\_guia\\_fijas\\_preliminar\\_taller.pdf](http://www.inecc.gob.mx/descargas/calair/2009_guia_fijas_preliminar_taller.pdf) [Accesado el día 27 de noviembre de 2014]
- INE-SEMARNAT. (2012). "México Quinta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático" México.
- IMCO. (2012). *Comunicado de prensa*. Disponible en: [http://imco.org.mx/medio\\_ambiente/conferencia\\_de\\_prensa\\_sobre\\_calidad\\_del\\_aire\\_en\\_ciudades\\_del\\_pais\\_y\\_su\\_impacto/](http://imco.org.mx/medio_ambiente/conferencia_de_prensa_sobre_calidad_del_aire_en_ciudades_del_pais_y_su_impacto/). Consultado el 8 de abril de 2014.
- IMCO. (2015). "La contaminación del aire: un problema que daña la salud y la economía" [En línea]. Disponible en: [http://imco.org.mx/medio\\_ambiente/la-contaminacion-del-aire-un-problema-que-dana-la-salud-y-la-economia/](http://imco.org.mx/medio_ambiente/la-contaminacion-del-aire-un-problema-que-dana-la-salud-y-la-economia/) [Accesado el día 12 de febrero de 2015]
- IPCC. (2008). *Documento Técnico no. VI sobre Cambio Climático y Agua*. Disponible en [http://www.ipcc.ch/pdf/technical-papers/ccw/ccw%20sp/front\\_matter\\_sp.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/technical-papers/ccw/ccw%20sp/front_matter_sp.pdf). Consultado el 15 de octubre de 2015.
- Jiang, L. y Hardee, K. (2010). "How do Recent Population Trends Matter to Climate Change" en *Population Research Policy Review*. Núm. 30. pp. 287-312
- Kolstad, C. (2001). *Economía Ambiental*. México, Oxford University Press.
- Labandeira, X., León, C. y Vázquez, M.J. (2006). *Economía Ambiental*. Pearson Educación.
- Martínez, J. y Roca, J. (2000). *Economía Ecológica y Política Ambiental*. México. PNUMA, FCE.
- Meadows, D. y Meadows, D. (1972). *Los límites del crecimiento: Informe al Club de Roma Sobre el Predicamento de la Humanidad*. Nueva York: FCE.
- Ministerio de agricultura, alimentación y medio ambiente. (2007). NH<sub>3</sub> ¿Qué es? Disponible en: <http://www.prtr-es.es/NH3-amoniac.15593.11.2007.html> Consultado el 30 de septiembre de 2014.

- ONU. (1998). *Protocolo de Kyoto de la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático*.
- ONU (1987). *Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (Comisión Brundtland): Nuestro Futuro Común*.
- Daniels, P. (2010). *Climate change, economics and Buddhism — Part I: An integrated environmental analysis framework*, Ecological Economics, No. 69. pp. 952–961
- Pérez, R.; Ávila, S. y A. Aguilar. (2010). *Introducción a las economías de la naturaleza*. México. UNAM, liec
- Pérez, R. (Coor.) (2012). *Agricultura y Contaminación del Agua*. México, UNAM, liec.
- Pimentel, D.; Whitecraft, M.; Scott, Z.; Zhao, L.; Satkiewicz, P.; Scott, T.; Philips, J.; Szimák, D.; Singh, G.; Gonzalez, D. y T. Moe. (2010). "Will Limited Land, Water, and Energy Control Human Population Numbers in the Future?" en *Human Ecology*. Núm. 38. pp. 599-611
- Preston, S. (1996). *The effect of population growth on environmental quality*, in: Population Research and Policy Review 15. pp. 101-107.
- Schoijet, M. (2005). *Población y producción de alimentos. Tendencias recientes*. Problemas del Desarrollo Revista Latinoamericana de Economía Vol. 36, núm. 141, abril-junio/2005
- Schoijet, M. (2008). *Límites del crecimiento y cambio climático*, Primera parte: límites del crecimiento Capítulo 1: La aparición y recepción de límites del crecimiento. México, Siglo XXI editores.
- SEMARNAT. (2006). "La gestión ambiental en México" *Semarnat* [En línea], México, Disponible en: [http://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/informacionambiental/Documents/06\\_otras/Gestion\\_Ambiental.pdf](http://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/informacionambiental/Documents/06_otras/Gestion_Ambiental.pdf) (Consultado el 28 de marzo de 2014).
- SEMARNAT. (2011). Glosario, disponible en: <http://www.semarnat.gob.mx/educacion-ambiental/glosario> (consultado el 28 de marzo de 2014).

- SENER. (2011). *Prospectiva del mercado de petróleo crudo: 2010-2025*.
- SEMARNAT. (2012). *Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales indicadores clave y de desempeño ambiental edición 2012*. Capítulo 1. Población y medio ambiente México, disponible en: [http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe\\_12/01\\_poblacion/cap1\\_1.html](http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_12/01_poblacion/cap1_1.html): (consultado el 26 de marzo de 2014).
- SEMARNAT. (2014). "Principales contaminantes atmosféricos y sus efectos sobre la salud" *Semarnat* [En línea] México, Disponible en: [http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/estadisticas\\_2000/informe\\_2000/05\\_Aire/5.2\\_Normatividad/data\\_normatividad/contaminantes.htm](http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/estadisticas_2000/informe_2000/05_Aire/5.2_Normatividad/data_normatividad/contaminantes.htm) [Accesado el día 27 de noviembre de 2014]
- Shi, A. (2002). "The impact of population pressure on global carbon dioxide emissions, 1975 /1996: evidence from pooled cross-country data" *Ecological Economics*. Núm. 44 pp. 29-42
- Stern, N. (2006). *Stern Review on the Economics of Climate Change*. [http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20100407172811/http://www.hm-treasury.gov.uk/stern\\_review\\_report.htm](http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20100407172811/http://www.hm-treasury.gov.uk/stern_review_report.htm). [Accesado el día 27 de noviembre de 2014]
- Wackernagel, M. y Rees. W. (1962). *Nuestra huella ecológica: reduciendo el impacto humano sobre la tierra*. Canadá, IEP
- Waggoner, P. y Ausubel, J. (2002). "A framework for sustainability science: a renovated IPAT identity". en *Proceedings of the National Academy of Sciences* 99 núm. 12. pp. 7860-7865.
- Wark, K. y C. Warner. (1994). *Contaminación del aire. Origen y control*. México: editorial limusa.
- Wey, T. (2011). "What STIRPAT tells about effects of population and affluence on the environment?" en *Ecological Economics*. Núm. 72. pp. 70-74
- WWF. (2006). *Informe Planeta Vivo 2006*, WWF International, Gland, Suiza.
- WWF. (2008). *Informe Planeta Vivo 2008*, WWF International, Gland, Suiza.

WWF. (2010). *Informe Planeta Vivo 2010*, WWF International, Gland, Suiza.

WWF. (2012). *Informe Planeta Vivo 2012*, WWF International, Gland, Suiza.

York, A.; Eugene, R. y T. Dietz (2003). *Methods, STIRPAT, IPAT, and ImPACT: analytic tools for unpacking the driving forces of environmental impacts*. *Ecological economics* 46 (junio). pp. 551-365

Stern, N. 2006. *Stern Review on the Economics of Climate Change*.