



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE ECONOMÍA



Cálculo de la elasticidad-producto de las emisiones de gases de efecto invernadero para México

Trabajo de investigación que presenta

Marco Esteban Rodríguez Olguín

Para obtener el grado de Licenciado en Economía

Directora de Tesis

Dra. Joana Cecilia Chapa Cantú

Monterrey, Nuevo León

Junio 2021

“Cálculo de la elasticidad-producto de las emisiones de gases de efecto invernadero para México”

Marco Esteban Rodríguez Olguín

Aprobación de Tesis

Asesor de Tesis

Firma

Dra. Joana Cecília Chapa Cantú

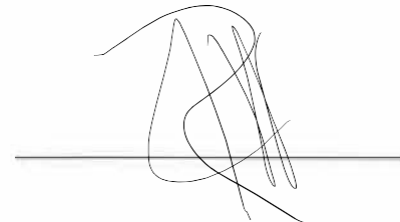


Sinodales

Dr. David Saucedo De La Fuente



Mtro. José Raymundo Galán González



DRA. KARLA I. RAMÍREZ DÍAZ
Secretaria Académica
Facultad de
Economía
Universidad Autónoma de Nuevo León

1 de octubre de 2021

AGRADECIMIENTOS

“Desde que era un niño, tenía una necesidad imperiosa de crecimiento y expansión. Para mí, la función y el deber de todo ser humano es el desarrollo sincero y honesto del potencial de uno mismo.”

-Bruce Lee

En primer lugar, agradezco a Dios por la vida, y por las aptitudes que me obsequio y me permiten llegar hasta aquí.

En segundo lugar, agradezco a mis padres porque siempre me han brindado su amor, y han hecho inmensurables sacrificios para que mis hermanos y yo tuviéramos todo lo necesario para desenvolvernos académicamente.

Gracias también a mis hermanos que, sin sus consejos, su apoyo, ni su vida, la mía no tendría sentido.

Y, por último, pero no menos importante, gracias a mi asesora y amiga la Dra. Joana Cecilia Chapa Cantú. Gracias por brindarme la confianza para realizar esta tesis, sin su apoyo y paciencia no habría sido posible.

En general, gracias a mis compañeros, amigos y personas que en algún momento de esta etapa de mi vida me brindaron su apoyo, su consejo o simplemente me escucharon. Gracias por compartir conmigo momentos de su vida.

Índice

- 1. Introducción.**
 - 1.1 Contenido.**
- 2. Capítulo 1. Repercusiones ambientales, económicas y de salud de los gases de efecto invernadero en el mundo.**
 - 2.1 Los efectos ambientales de los gases de efecto invernadero en un contexto mundial.**
 - 2.2. Efecto de los GEI en la salud humana.**
 - 2.3 El papel de los gases de efecto invernadero en el sector económico de los países.**
- 3. Capítulo 2. Contexto actual de las emisiones de los gases de efecto invernadero en México.**
 - 3.1 México dentro de los tratados ambientales internacionales.**
 - 3.2 Regulaciones ambientales en México.**
 - 3.3 Contexto ambiental de México en los últimos años.**
- 4. Capítulo 3. Estimación de la elasticidad-producto de las emisiones de gases de efecto invernadero y la búsqueda de la existencia de la Curva de Kuznets Ambiental para México.**
 - 4.1 Antecedentes.**
 - 4.2 Datos.**
 - 4.2.1 Particularidades y medidas de corrección de los datos.**
 - 4.3 Especificación del modelo.**
 - 4.4 La relación entre el PIB per cápita y las emisiones de GEI.**
 - 4.5 ¿Estudio espacial o temporal? Un análisis de datos panel para el mejor ajuste.**
 - 4.5.1 Modelos econométricos especiales y pruebas.**
 - 4.6 Cálculo de elasticidad-producto de las emisiones de gases de efecto invernadero en México.**
- 5. Capítulo 4. Resultados encontrados sobre las emisiones de GEI per cápita en los estados mexicanos.**
 - 5.1 Estadísticas descriptivas de los datos.**
 - 5.2 Emisiones de GEI per cápita vs PIB per cápita.**
 - 5.3 Correlación y multicolinealidad en las variables.**

5.4 Datos atípicos de la muestra.

5.5 Resultados de la estimación.

5.6 La elasticidad-producto de las emisiones de gases de efecto invernadero en México.

5.7 La estimación de la Curva de Kuznets Ambiental para México.

6. Conclusiones.

Bibliografía.

Anexo.

Introducción.

El cambio climático y el desarrollo económico sostenible son preocupaciones que los mexicanos como país deberían tener presentes. Hasta ahora se ha buscado perseguir lo segundo a expensas de lo primero, y esto ha llevado a encender las alarmas no solo en México, sino en el mundo.

Dentro de la producción económica, el consumo de combustibles fósiles en todos los sectores de la economía ha contribuido al calentamiento global, al liberar emisiones masivas de gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera cada año. Esto ha ocasionado fenómenos naturales más marcados y sin precedente histórico, como son los cambios drásticos en las temperaturas, el deshielo de los glaciares, el aumento en los niveles del mar, las temporadas intensas de ciclones, y el aumento de la actividad volcánica entre otros fenómenos meteorológicos y naturales que despiertan la atención mundial.

La alta emisión de gases de efecto invernadero se considera uno de los factores dominantes, de los cuales, el dióxido de carbono (CO₂) es el gas más abundante, y que resulta de la quema de combustibles fósiles. En 2018, México emitió 493 Megatoneladas de CO₂ y en 2019 su porcentaje de responsabilidad de emisiones mundiales fue de 1.3%, lo cual lo posiciona en el lugar 13 del mundo. El rápido desarrollo económico de México seguirá ejerciendo una mayor estimulación en el consumo de energía y el incremento de emisiones de CO₂. Por ello, es necesario explorar la relación entre el crecimiento económico y la degradación del medio ambiente, con el fin de ofrecer recomendaciones políticas para emprender un camino de desarrollo sustentable en México.

Un camino propuesto hacia el desarrollo sostenible fue la teoría de la Curva de Kuznets Ambiental (CKA) de Grossman y Krueger (1995) para describir la relación entre la contaminación y el ingreso.

Una gran cantidad de literatura ha investigado la hipótesis la CKA en diferentes países y regiones utilizando diferentes metodologías econométricas. Sin embargo, los resultados son contradictorios. Los estudiosos descubrieron que la relación la presentaba la CKA de múltiples formas, como U, U-invertida, N, etc. Además, también hay pruebas de que los resultados de las pruebas dependen de los modelos econométricos específicos.¹

¹ (Roy Chowdhury y Moran, 2012).

Según la teoría de algunos autores, estos confirman que los estudios basados en series temporales o datos de panel de sección cruzada proporcionarían inferencias incorrectas, que podrían ser engañosas en el contexto de la formulación de políticas nacionales para un país específico. En comparación con el enfoque econométrico convencional, las técnicas econométricas espaciales pueden explorar si los resultados económicos regionales o locales dependen o no de los estados o regiones contiguos. Zhao et al. (2014) argumentaron que había dependencia espacial entre los impulsores de las emisiones relacionadas con la energía y otras fuerzas económicas que cruzaban las fronteras de las provincias en China. Ignorar la dependencia espacial conduciría a parámetros estimados sesgados (LeSage y Pace, 2009).

Así mismo, para el caso mexicano se realiza un análisis en el que se detecta cierta dependencia espacial entre las emisiones de los estados mexicanos, por lo que se optó por utilizar una metodología de datos panel espacial en el cálculo de la CKA. Sin embargo, los datos recabados de las fuentes oficiales en México son escasos en este aspecto y, dada su naturaleza, se lleva a cabo (también) un manejo para controlar por autocorrelación, y que conduce esta investigación a ser estimada por medio del Modelo Espacial de Durbin, para tomar en cuenta los efectos contiguos entre estados.

Para este estudio, es relevante conocer tanto la relación de largo plazo y, la magnitud de cambio de las emisiones de GEI ante aumentos o decrementos el PIB de los estados. Y es que es importante, ya que este conocimiento puede propiciar herramientas de política pública útiles en la regulación de emisiones de gases de efecto invernadero a lo largo del país.

De esta manera se presentan los dos resultados: por un lado, la forma de la CKA para México y, por otra parte, la elasticidad-producto de las emisiones de GEI, con los que se pretenden confirmar las teorías planteadas para el caso de México.

Contenido

En el primer capítulo se hablará de los efectos que las emisiones de gases de efecto invernadero han ocasionado en el mundo. Se definirán los gases que esta investigación tomará para el estudio y su evolución prácticamente desde el siglo XIX. Se presenta también,

una descripción de las características de los GEI, de algunos de sus efectos en la salud humana y su efecto en el ámbito económico de los países.

En el capítulo dos se describe el contexto actual de las emisiones de GEI en México en los últimos años, la participación del país en algunos de los tratados ambientales internacionales más importantes, las regulaciones ambientales en México y las diferentes medidas nacionales que existen para medir las emisiones de sustancias contaminantes que se generan en la mayoría de los estados.

En el capítulo tres se describe la hipótesis de la Curva de Kuznets Ambiental y las condiciones que debieran de cumplirse para que en un país la relación planteada entre emisiones contaminantes e ingreso se cumpliera. Se hace una descripción informativa sobre los estados que más emisiones generan y los gases que más se emiten por las industrias del sector secundario. Se presentan los datos que fueron recabados para el estudio, así como la descripción de las transformaciones que fueron realizadas para la construcción de cada variable. Se muestran, además, algunas medidas de corrección que se hicieron a raíz de que los datos recopilados tenían ciertas peculiaridades. Se presentan las especificaciones del modelo econométrico elegido en primera instancia y se explica también, el cálculo a realizar para estimar la elasticidad-producto de las emisiones de GEI en México.

En el capítulo cuatro se muestran los resultados de la investigación, se ilustra la relación que tienen las emisiones de CO₂e per cápita y el PIB per cápita en general, y además, se muestra un análisis entre regiones. Se presenta la correlación entre las variables, la existencia de datos atípicos, las modificaciones que sufrió el modelo, los resultados de la estimación y la estimación de la elasticidad-producto de las emisiones de GEI en México. Y, por último, se presentan las conclusiones generales de la investigación en la última sección.

CAPÍTULO UNO. Repercusiones ambientales, económicas y de salud de los gases de efecto invernadero en el mundo.

Los efectos ambientales de los gases de efecto invernadero en un contexto mundial.

Es importante la familiarización con el contexto actual en el tema de las emisiones de gases de efecto invernadero, conocer la gravedad que estas sustancias representan para la salud de los seres humanos y también, el retroceso que provoca que no se controlen de manera

óptima tanto la contaminación y la degradación de los ecosistemas, así como, analizar de qué manera afecta el ámbito económico y el bienestar humano, en general.

Dentro de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, celebrado en Nueva York el 9 de mayo de 1992, se incorporó el Protocolo de Kioto. En este se estableció el compromiso de actuar de manera conjunta para contribuir a que la temperatura de la tierra creciera menos de lo estimado. Además, este acuerdo tiene por objetivo el reducir las emisiones de los gases de efecto invernadero, los cuales se componen de las siguientes sustancias:

- Dióxido de carbono (CO₂),
- Metano (CH₄),
- Óxido Nitroso (N₂O),

Y otros que son tres tipos de gases industriales fluorados:

- Hidrofluorocarbonos (HFC),
- Perfluorocarbonos (PFC) y
- Hexafluoruro de azufre (SF₆).

Y es que la actividad económica, el crecimiento poblacional y la mayor demanda por bienes en los últimos dos siglos han marcado un crecimiento en la tasa de emisiones de CO₂ emitidas a la atmósfera que no tiene precedentes².

Este lapso es conocido como el Antropoceno y es un periodo que está iniciando en el que los humanos estamos generado un cambio drástico en el medio ambiente. Es evidente que, de continuar por la senda del deterioro generalizado, enfrentaremos serios problemas de habitabilidad³.

De manera general, los gases de efecto invernadero son componentes químicos gaseosos de la atmósfera de la tierra que absorben y emiten radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación infrarroja emitido por la superficie de la Tierra, la atmósfera y las nubes, permitiendo mantener las temperaturas de la tierra controladas.

²"El cambio climático durante el Antropoceno".

<http://www.euskonews.eus/zbk/739/el-cambio-climatico-durante-el-antropoceno/ar-0739001001C/>

³ (Chaparro Mendivelso & Meneses Arias, 2015)

Si bien es cierto, la generación natural del CO₂ y de los GEI, en general, tienen la función de regular la temperatura de nuestro planeta, los humanos hemos provocado que las emisiones de estos gases se hayan salido de control, generándolas de manera desproporcionada a través de actividades artificiales conocidas como actividades antropogénicas. Esas actividades son más que nada producto de las actividades cotidianas e industriales que la población realiza, y con lo que generan a su vez los cambios atmosféricos que se viven actualmente.

Aunque se considera a las emisiones de CO₂ la principal causante del cambio climático antropogénico, el Panel Gubernamental para el Cambio Climático (IPCC) identifica también otras emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero, tales como el metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O), los cuales representan aproximadamente el 16% y el 6%, respectivamente, de las emisiones de contaminantes al aire. Hay además en la atmósfera una serie de gases de efecto invernadero creados íntegramente por el ser humano, como los halocarbonos y otras sustancias con contenido de cloro y bromo, regulados por el Protocolo de Montreal como el hexafluoruro de azufre (SF₆), los hidrofluorocarbonos (HFC) y los perfluorocarbonos (PFC).⁴

El efecto de los gases en el cambio climático depende de la fuerza de radiación de cada unidad de gas medida en relación con el efecto radiactivo del CO₂, así como el periodo de vida del gas (el tiempo que el gas permanece en la atmósfera antes de que los procesos naturales los remuevan).

Durante los últimos 50 años, la actividad humana, en particular el consumo de combustibles fósiles ha liberado cantidades de CO₂ y de otros gases de efecto invernadero suficientes para retener más calor en las capas inferiores de la atmósfera y alterar el clima mundial. En los últimos 100 años el mundo se ha calentado aproximadamente 0,75 °C. Durante los últimos 25 años el proceso se ha acelerado, y ahora se posiciona en 0,18 °C por década. La ola de calor que sufrió Europa en el verano de 2003, por ejemplo, registró un exceso de mortalidad cifrado en 70 000 defunciones, fenómeno que se repitió en el verano de 2010.⁵

4 (Benavides Ballesteros & León Aristizabal, 2007)

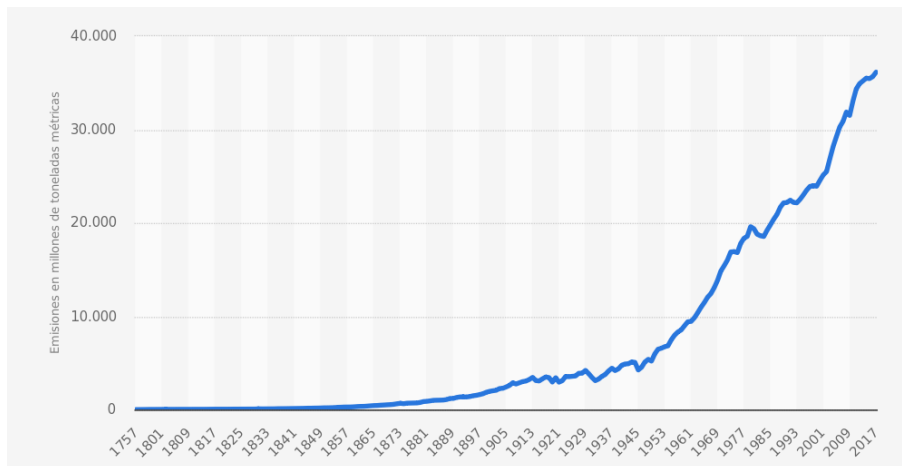
5 (Rodríguez Bertheau, Martínez Varona, Martínez Rodríguez, Fundora Hernández, & Guzmán Armenteros, 2011)

Estos coeficientes globales, consecuencia de la acción humana, superan con creces los coeficientes de cambio originados por las fuerzas geofísicas o de la biosfera que hasta ahora habían modificado la trayectoria del sistema terrestre; ni siquiera los eventos geofísicos bruscos se acercan a los actuales coeficientes de cambio de origen humano.⁶

En la siguiente gráfica puede observarse el comportamiento de las emisiones globales históricas (1757-2017) de CO₂ procedentes de la actividad industrial y los combustibles fósiles⁷:

Gráfica I. Emisiones globales históricas de CO₂ procedentes de la actividad industrial y los combustibles fósiles de 1757 a 2017 (en millones de toneladas métricas).

Fuente:
Carbon
Statista
En
gráfica
observar



Global
Project.
2019.
la
se puede
que las

emisiones globales de CO₂ tuvieron un crecimiento exponencial a partir de los inicios de 1900 y ha alcanzado una cantidad histórica de más de 30,000 millones de toneladas métricas.

6 (Consejo Económico y Social, 2019)

7 Gráfica de las emisiones globales históricas de CO₂ por Global Carbon Project. Publicado por Statista, 2018.
<https://es.statista.com/estadisticas/635382/emisiones-historcias-de-co2-globales/>

Es claro, observar que el gran aumento de estas emisiones es debido, en gran parte, a las actividades antropogénicas de los últimos siglos, al auge y los procesos de industrialización y mecanización, y al creciente desarrollo de ciudades alrededor del mundo.

Pero ¿por qué tomar de referencia estos seis gases de efecto invernadero y no incluir también las partículas de PM_{2.5} y PM₁₀, las cuales, son también abundantes y dañinas para la salud? ¿Por qué no tomar en cuenta también el Ozono, o los Compuestos Orgánicos Volátiles? Esto se explicará más adelante dentro de las limitaciones que se tuvieron dentro de este estudio. Lo que se tiene presente es que estos seis gases tienen la practicidad de transformarse y medirse en CO₂ equivalente, lo cual, hace el cálculo y el estudio más homogéneo y fácil. Además, no hay que perder de vista que individualmente, los gases de efecto invernadero tienen diferente naturaleza, emisores y efectos en el medio ambiente y la salud humana.

Por lo anterior, se presentan en la Tabla 1 a cada uno de los gases que se consideran de efecto invernadero, que serán tomados en cuenta en el estudio para México en donde se describen y se añade su respectivo tiempo de vida en la atmósfera y sus partículas por millón al 2017 según la Organización Meteorológica Mundial (WMO).

Tabla 1. Descripción de los gases de efecto invernadero (GEI).

<i>Sustancia</i>	<i>Descripción⁸</i>	<i>Tiempo de vida</i>	<i>Ppm* al 2017⁹</i>
CO₂	El dióxido de carbono es uno de los gases traza más comunes e importantes en el sistema atmósfera-océano-Tierra, es el más importante GEI asociado a actividades humanas y el segundo gas más importante en el calentamiento global después del vapor de agua.	Varias escalas de tiempo que van de 5, 10, 500 y hasta miles de años.	405.5±0.1 ppm
N₂O	El óxido nitroso, cuyas fuentes son de carácter natural y antropogénico, contribuye con cerca del 6% del forzamiento del efecto invernadero. El óxido nitroso es inerte en la troposfera. Su principal sumidero es a través de las reacciones	110 a 168 años	329.9±0.1 ppb

*Partículas por millón.

8 (Benavides Ballesteros & León Aristizabal, 2007)

9 (Organization & Global Atmosphere Watch, No. 14 | 2018.) https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=5455

	fotoquímicas en la estratosfera que afectan la abundancia de ozono estratosférico.		
CH₄	El metano es un fuerte GEI y juega un papel importante en la determinación de la capacidad de oxidación de la troposfera. Es removido de la atmósfera por reacción con radicales hidroxilos (OH) convirtiéndose finalmente en CO ₂ .	11 años	1859±2 ppb
HFC	Los Hidrofluorocarbonos (HFCs), perfluorocarbonos (PFCs) y el hexafluoruro de azufre (SF ₆) no destruyen la capa de ozono, sin embargo, estos son poderosos GEI. Los HFCs fueron inicialmente usados para reemplazar algunas Sustancias Agotadoras de Ozono (SAO) pero también es emitido como un subproducto en la manufactura del HCFC-22. Los PFCs y el SF ₆ son emitidos a partir de varios procesos industriales como son: la fundición del aluminio, la fabricación de semiconductores y la transmisión y distribución de energía eléctrica.	260 años	Aportan el 0.05% de las 491 ppm de CO _{2e} . ¹⁰
PFC		260 años	
SF₆		3,200 años	

Fuente: Elaboración propia con datos de la World Meteorological Organization.

En el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC), se estimó que las emisiones de CO₂ derivadas de la quema de combustibles fósiles y de los procesos industriales contribuyeron en cerca del 65% del total de emisiones de gases de efecto invernadero para el 2010.

Cabe mencionar que la energía proviene principalmente de recursos no renovables, como el carbón, el petróleo y gas natural, los cuales representan el 31%, 42% y 27%, respectivamente, del consumo mundial de los combustibles fósiles. Por lo que se tiene que mundialmente, el uso de carbón para la generación de energía eléctrica representó más de 14

¹⁰ (Agency, 2019) <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/atmospheric-greenhouse-gas-concentrations-6/assessment-1>

gigatoneladas de emisiones de dióxido de carbono equivalente (GtCO₂e) en 2013 – aproximadamente un tercio de las emisiones mundiales totales de gases de efecto invernadero (IEA 2015).

El potencial de calentamiento global (GWP, por sus siglas en inglés) es utilizado como una medida comparativa de los efectos que los gases de efecto invernadero pueden ocasionar respecto al gas más abundante, el CO₂. Esta medida funciona de acuerdo con una medición que se hace al ver que, si el GWP de los diversos gases de efecto invernadero fuese mayor a la unidad comparado con la misma cantidad de CO₂. Por ejemplo, para un horizonte de tiempo de 100 años, el potencial de calentamiento del metano es 28 veces más fuerte que el del CO₂.

Con todo esto, las consecuencias que genera el cambio climático ocasionado por las altas cantidades de gases de efecto invernadero emitidas al aire afectan la dinámica natural de todo el globo terráqueo, de los ecosistemas, del comportamiento de las estaciones y de la vida de la flora y la fauna.

A nivel mundial, el número de desastres naturales relacionados con la meteorología se ha triplicado con creces desde los años sesenta. Cada año esos desastres causan más de 60,000 muertes, sobre todo en los países en desarrollo.¹¹ Además, se estima que el cambio climático habría ampliado las zonas afectadas por sequías, multiplicado por dos la frecuencia de sequías extremas y por seis su duración media. (NW, 2004).¹²

En otro estudio sobre los efectos de largo plazo, se menciona que, “los desastres relacionados con los fenómenos climáticos extremos se han duplicado desde principios de 1990, con un promedio de 213 casos por año entre 1990 y 2016.”¹³

El hombre, sin cuidado y de manera irresponsable, ha alterado los ciclos naturales, las condiciones climáticas, y el dinamismo de los ecosistemas del planeta. Ha interrumpido el equilibrio ecológico y ha generado los problemas que se manifestaron en primera instancia de manera local, regional, hasta convertirse en un problema global el cual se ha tornado crítico para el futuro inmediato.

11 (Rodríguez Bertheau, Martínez Varona, Martínez Rodríguez, Fundora Hernández, & Guzmán Armenteros, 2011)

12 (NW, 2004)

13 (Consejo Económico y Social, 2019)

Efecto de los GEI en la salud humana.

La consecuencia natural ante los cambios ambientales drásticos ocasionados por la contaminación es que los seres vivos respondan de manera negativa a esta adaptación, en este caso por la generación de gases de efecto invernadero que, a su vez, es causado por actividades antropogénicas en la mayoría de las ciudades del mundo.

En particular, la contaminación presente en el aire que se respira va generando complicaciones de salud que le abren la puerta a cierto tipo de enfermedades y complicaciones que pueden llegar a aumentar las atenciones y los cuidados que se deben tomar en cuenta para la vida cotidiana.

La polución ambiental, promovida por la industrialización acelerada, por el consumismo y la producción desenfrenada, la dilapidación de combustibles fósiles y el desarrollo de guerras devastadoras, son algunos de los factores a tomar en cuenta cuando se evalúan las perspectivas de la salud en la población urbana y rural, infantil y adulta, de países desarrollados y subdesarrollados, donde la calidad del aire resulta un elemento fundamental.¹⁴

En un estudio de Ballester (2006) se mencionan las mayores preocupaciones que se tienen dentro del Protocolo de Kioto sobre los efectos de la contaminación en la salud humana, los cuales son:¹⁵

1. Cambios en la morbilidad en relación con la temperatura;
2. Efectos en la salud relacionados con eventos meteorológicos extremos (tornados, tormentas, huracanes y precipitaciones extremas);
3. Contaminación atmosférica y aumento de los efectos en salud asociados;
4. Enfermedades transmitidas por los alimentos y el agua, y
5. Enfermedades transmitidas por vectores infecciosos y por roedores.

14 (Romero Placeres, Diego Olite, & Álvarez Toste, 2006)

15 (Ballester, Díaz, & Moreno, 2006)

Las repercusiones de la contaminación en el ambiente son diversas, y estas mismas se ven reflejadas en los diferentes efectos que pueden ocasionar en la salud de los humanos. Hay numerosos efectos y evidencia de lo que la contaminación atmosférica ha ido ocasionando los últimos años, incluidas numerosas muertes. En diciembre de 2003, la Organización Mundial de la Salud (OMS), elaboró un estudio en el que se ponían de manifiesto las repercusiones del cambio climático en la salud. Según dicho informe, el 2.4% de todos los casos de diarrea que se produjeron en el mundo ese año y el 2% de los de malaria se debían al cambio climático. Además, en el año 2000 se produjeron 150,000 defunciones adicionales y se perdieron 5,5 millones de años de vida en función de la discapacidad como consecuencia del calentamiento global.

Además de esto, se agregan varios tipos de complicaciones respiratorias que pueden complicarse de manera crítica incluso, dependiendo del grupo de edad al que se refiera.

Las variaciones meteorológicas intensas a corto plazo también pueden afectar gravemente a la salud, causando estrés térmico o un frío extremo (hipotermia) y provocar el aumento de la mortalidad por enfermedades cardiacas y respiratorias.¹⁶

Los contaminantes atmosféricos también contribuyen en la disminución de la función pulmonar y al aumento de la reactividad bronquial, disminuir la tolerancia al ejercicio y a aumentar el riesgo de bronquitis obstructiva crónica, enfisema pulmonar, exacerbación del asma bronquial y cáncer pulmonar, entre otros efectos.¹⁷

En Pérez-Cirera (2018) se menciona que los grupos con mayores afectaciones por contaminantes atmosféricos son niños, adultos mayores y personas que sufren deficiencias pulmonares y cardiovasculares; no obstante, por su vulnerabilidad, también las poblaciones de estratos económicos bajos se incluyen en la lista.

Aunado a esto, en Nieto Sainz (2005) se dice que la población mayor de 65 años constituye el grupo más vulnerable de morbimortalidad por efecto de temperaturas extremas. Por otra parte, los ancianos, las personas de salud comprometida que padecen bronquitis crónica, asma o enfermedades cardiovasculares son los grupos de población más vulnerable al incremento de los contaminantes atmosféricos.

16 https://www.who.int/features/factfiles/climate_change/facts/es/index2.html

17 (Oyarzún G., 2010)

Dentro de las tantas consecuencias de los cambios atmosféricos por emisiones de gases de efecto invernadero son también, los cambios drásticos en las temperaturas y las alteraciones climatológicas. En Lema (2002) se indica que las temperaturas extremas, tanto altas como bajas, pueden causar disturbios fisiológicos y daños a diferentes órganos provocando enfermedad o la muerte en seres humanos. Una de las consecuencias más seguras y directas del cambio climático es un aumento en la morbilidad y la mortalidad humana en periodos de clima extremos como son las olas de calor. También menciona que el cambio climático podría causar un aumento en la frecuencia de periodos muy calurosos combinados con altas concentraciones de contaminantes dando lugar a cierta sinergia entre los efectos negativos de ambos fenómenos.¹⁸

Por otro lado, este trabajo menciona también que está demostrado que una mayor proporción de radiación ultravioleta de origen solar alcanza actualmente la superficie terrestre debido a la disminución de ozono en la estratosfera (parte alta de la atmósfera). Aunque la causa básica de la destrucción de la capa de ozono es la presencia de clorofluorocarbonos (CFC) y es ajena a la concentración de gases de efecto invernadero en la parte baja de la atmósfera, existen interacciones químicas y físicas entre estos dos fenómenos. Podría de hecho darse una interacción entre el cambio climático y una exposición mayor a los rayos ultravioletas y afectar de manera negativa a la salud humana.

Se anticipa que una exposición mayor a estos rayos causará mayor incidencia de cáncer de piel en poblaciones de piel clara, lesiones oculares como cataratas, y posiblemente también debilitará al sistema inmune, lo que tendría graves implicaciones para el riesgo de enfermedades infecciosas y respuestas a vacunaciones (Balbus 2001).

Como se puede observar, la recopilación de literatura enfocada en la salud humana frente al cambio climático y la mayor presencia de gases de efecto invernadero en la atmósfera deja en evidencia la cantidad de factores en los que la contaminación ha repercutido a lo largo de estos años y seguirá influyendo gravemente si no se toman las medidas adecuadas. Si bien, en la actualidad el mundo se ha visto golpeado frente a la fuerza de grandes catástrofes que no se habían visto antes, siendo los cambios repentinos de clima y los desastres naturales los más comunes, seguirán aconteciendo con más frecuencia si no se regularizan los procesos y se miden de una mejor manera las emisiones.

18 (Ize Lema, 2002)

El papel de los gases de efecto invernadero en el sector económico de los países.

En la actualidad existe un debate constante de lo que la contaminación representa para una economía, del nivel de gases de efecto invernadero generado en las grandes ciudades y del grado de preocupación que los agentes económicos muestran ante esta situación ya que ellos son, directa o indirectamente, los responsables de estos.

La falta de regulaciones estrictas por parte de los gobiernos en las economías de los países en vías de desarrollo, y los descuidos de los países desarrollados en la producción de los diferentes sectores para la obtención de bienes de consumo final llevaron al planeta a un desequilibrio de los ecosistemas y a una afectación de salud de la población.

Los problemas de salud mencionados con anterioridad afectan la competitividad económica de los países en el sentido en el que hay un impacto negativo en la productividad de la fuerza de trabajo; con una mayor exposición a estos gases aumenta el número de casos por problemas respiratorios, lo que lleva a una mayor demanda por consultas y tratamientos para controlarlos. Esto a su vez, provoca un aumento en la cantidad de presupuesto que debe destinarse a los servicios de salud, sin mencionar que debe ser un sistema de calidad. El Banco Mundial estimó que el impacto al Producto Interno Bruto en los países de América Latina como consecuencia de las afectaciones a la salud por la emisión de contaminantes al aire es de alrededor del 2% (Clean Air Institute, 2013).

Como ya se mencionó el costo económico de la contaminación pudiera verse reflejado en los altos costos en servicios de salud para las personas. Es por eso que es importante controlar las emisiones que se generan en la producción de las industrias del sector secundario y, en general, por todos los agentes económicos.

Sin embargo, es requerido también entender que estas regulaciones deben tener en cuenta demás factores que pudieran no ser medidos actualmente, o en su caso, difíciles de medir y contabilizar en términos que pudieran ser útiles para su estudio. En este caso, se consideran los factores que pudieran ayudar a explicar cómo reducir las emisiones de gases de efecto invernadero; por ejemplo, en algunos estudios han utilizado variables como el crecimiento

económico, la escolaridad, el número de autos per cápita, el consumo de energía, el consumo de carbón para la obtención de energía eléctrica, etc.

Para seguir con esta línea, está el estudio de Massa (2018) sobre las emisiones de GEI en Ecuador, donde se menciona que el crecimiento económico, si no es sustentable, puede tener un elevado costo ambiental. En este estudio, los autores encuentran que la variable de número de autos per cápita es significativa para la reducción de emisiones de CO₂, además indica que la variable escolaridad es relevante para conseguir una mayor educación de las personas en temas ambientales que ayudarían a reducir las emisiones.

Se menciona además que, las estimaciones de la CKA (Kuznets, 1955), evidencian que el mejoramiento ambiental no depende únicamente del crecimiento económico, como se ha probado en investigaciones previas, (Shafik y Bandyopadhyay, 1992; Grossman y Krueger, 1995; Panayotou, 2000), sino que la relación entre algunos indicadores de contaminación y el ingreso per cápita pueden ser representados como una U invertida, y pueden tener diversos efectos.

También es importante indagar sobre la dinámica de la causalidad existente entre las emisiones de gases de efecto invernadero y las diversas variables económicas de interés dependiendo de lo que se pretenda estudiar, así como el país de estudio.

En un estudio para la India de Alam (2011) se encontró como evidencia empírica que, en el largo plazo, el consumo de energía y las emisiones de CO₂ tenían una causalidad bidireccional pero que ninguna de estas variables causaba algún efecto en el ingreso del país. Por lo tanto, para este país en particular, se menciona que se podrían implementar políticas más eficientes y para la conservación de energía sin impedir el crecimiento económico, lo que le permitiría a India reducir las emisiones de CO₂ y contribuir significativamente a la reducción del calentamiento global, al mismo tiempo.

En Reza (2010) se estudió la relación causal entre el crecimiento económico, las emisiones de CO₂ y el consumo de combustibles fósiles para Irán en el periodo de 1967-2017. En este estudio se encontró una relación causal de Granger unidireccional tanto del producto interno bruto como las dos variables proxis de consumo de energía (productos petroleros y consumo de gas natural) hacia las emisiones de CO₂. Además, se encontró que las emisiones de CO₂, productos derivados del petróleo, y el consumo total de combustibles fósiles no causan el crecimiento económico sino solo el consumo de gas.

Además de indagar sobre la relación causal de las emisiones de gases de efecto invernadero, y de manera particular de las emisiones de CO₂, es importante también complementar estos estudios con conocimiento sobre cuál sería la mejor manera de implementar diversas políticas públicas que pudieran orientar el crecimiento y desarrollo económico de la nación de una manera más sustentable, aprovechando las ventajas tecnológicas y diseñar mecanismos cada vez más eficientes, que permitan aprovechar de una manera más óptima energías limpias de fuentes no tan contaminantes para la producción industrial y los mercados.

En Carballo (2017) se evalúa la sostenibilidad del modelo de desarrollo económico español en el periodo 1980-2010. Asimismo, realiza un análisis comparativo con las grandes economías europeas: Alemania, Francia, Italia y Reino Unido. Se estima la relación de largo plazo del consumo de energías renovables y no renovables con el desarrollo económico y la contaminación; encontrando un impacto positivo del consumo de energía renovable y no renovable sobre el crecimiento y el desarrollo para los cinco países. Y se encontró también que el efecto reductor de las renovables sobre las emisiones de CO₂ es menor que el efecto contaminante de las no renovables para España, Francia y Reino Unido.

En el estudio se concluye que el modelo de crecimiento de los países analizados estimula el consumo de energía no renovable, pero no el de las renovables. Esto apunta hacia la necesidad de diseñar políticas que estimulen la sustitución de energía no renovable por renovable.

El logro de un crecimiento económico sostenible y equitativo debería dissociarse de la degradación del medio ambiente; antes bien, debería favorecerse el consumo eficiente de los recursos mundiales. También son imprescindibles las inversiones en investigación y en innovaciones tecnológicas en los sectores de la energía, la agricultura, la industria, el transporte y la construcción, entre otros, y la cooperación intersectorial e interdisciplinaria. En las economías en desarrollo, es necesario combinar y coordinar la inversión pública con las oportunidades que ofrece la revolución tecnológica para redefinir las modalidades de consumo y producción en aras de un crecimiento con bajas emisiones de carbono.¹⁹

Para este estudio en particular se busca indagar a detalle el contexto ambiental que vive México actualmente, en particular de la contaminación por emisiones de gases de efecto

19 (Naciones Unidas, 2019)

invernadero, poniendo énfasis en el sector secundario. Así como conocer el comportamiento de la relación entre esta variable y las demás variables económicas y de control que se tienen disponibles para el país y que son relevantes para el objetivo del estudio. Pero esto se explicará en capítulos adelante.

CAPÍTULO DOS. Contexto actual de las emisiones de los gases de efecto invernadero en México.

México dentro de los tratados ambientales internacionales.

En este capítulo, se exponen los acuerdos internacionales en los que México participa para combatir el cambio climático, los cuales fueron acordados en los diferentes eventos realizados por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) en años pasados. Así también, se comentan algunas regulaciones ambientales que se aplican en el país, así como leyes y acuerdos nacionales que se desarrollaron a partir de estos eventos internacionales para mejorar la regulación de las emisiones de gases de efecto invernadero. Por último, se analiza el contexto actual que enfrenta el país en el tema de la contaminación del aire, o bien, sobre el papel de los gases de efecto invernadero dentro del sistema económico y la importancia que ha tomado en los últimos años. Para esto se definirán algunos conceptos importantes que permitirán entender mejor lo que se busca explicar dentro del estudio.

En primera instancia, se sabe que existen diversos acuerdos creados por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) de los cuales México es partícipe. El país ha firmado entre convenciones, acuerdos, convenios, protocolos, anexos y enmiendas, 77 tratados internacionales o acuerdos interinstitucionales en materia de medio ambiente. De ellos, hasta 1969 se firmaron tres, diez durante la década de 1970, veintitrés durante la década de 1980, cuarenta durante la década de 1990 y uno más en el año 2000. Cabe comentar que México

ha firmado once en el Marco de la Organización de las Naciones Unidas para la protección de la capa de ozono, para el desecho de materiales peligrosos, en materia del cambio climático y de la diversidad biológica.²⁰ De estos once acuerdos, hay tres en particular que son de relevancia para el tema que se trata en esta investigación.

Los acuerdos más relevantes sobre este tema de los cuales México forma parte son: la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático la cual fue firmada por México en 1992 y ese mismo año es aprobada por unanimidad en la Cámara de Senadores del H. Congreso de la Unión.

La Convención fue ratificada ante la ONU en 1993 y entró en vigor el 21 de marzo de 1994, estableciendo un marco de acción cuyo objetivo último es “lograr la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera en un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático...”²¹

Después, el Protocolo de Kioto se adoptó en 1995; basado en los principios de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, este instrumento, jurídicamente vinculante, en su primer periodo de compromisos (2008-2012), compromete a los países industrializados a reducir, en promedio, 5.2%, las emisiones de los gases de efecto invernadero (dióxido de carbono (CO₂), gas metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O)) y de tres gases industriales fluorados (Hidrofluorocarbonos (HFC's), Perfluorocarbonos (PFC) y Hexafluoruro de azufre (SF₆)). Aunque el Protocolo se aprobó en diciembre de 1997 entró en vigor hasta el 16 de febrero de 2005; México lo firmó el 9 de junio de 1998 y el Senado de la República aprobó su ratificación el 29 de abril de 2000.²²

Por último, México se suma al Acuerdo de París. El 22 de abril de 2016, en el que se conmemora el Día de la Tierra, se celebró en la ciudad de Nueva York una ceremonia de alto nivel para iniciar la firma del Acuerdo de París en el contexto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. El titular de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Rafael Pacchiano Alamán, firmó *ad referendum* y en representación

20 http://archivos.diputados.gob.mx/Centros_Estudio/Cesop/Eje_tematico/9_mambiente.htm

21 Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2018.

<https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/contexto-internacional-17057>

22 Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2018.

<https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/contexto-internacional-17057>

del presidente de la República, el Acuerdo de París adoptado en la 21° Conferencia de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Posteriormente, el 14 de septiembre de 2016 la Cámara de Senadores del H. Congreso de la Unión aprobó el Acuerdo de París.²³

Regulaciones ambientales en México.

En México fue creada la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) el 30 de noviembre del 2000, aunque esta dependencia ya había existido desde 1994. A esta le fue transferida la responsabilidad y las facultades en materia ambiental que tenía la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL).²⁴

La SEMARNAT es la dependencia de gobierno que tiene como propósito fundamental, constituir una política de Estado de protección ambiental, que revierta las tendencias del deterioro ecológico y sienta las bases para un desarrollo sustentable en el país. A través de una visión que busca que exista un país en el que todos abriguen una profunda y sincera preocupación por cuidar y conservar todo cuanto la naturaleza ha dado a nuestra patria, conciliando el genio humano con el frágil equilibrio de los demás seres vivos y su medio ambiente para alcanzar el desarrollo sustentable.²⁵

Además de esta dependencia de gobierno, el Instituto Nacional de Ecología (INE) y la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) fueron creados el 4 de junio de 1992 como órganos desconcentrados de la SEDESOL—es decir, como órganos con autonomía técnica y de gestión propia, pero dependientes de la SEDESOL.²⁶ Después, al igual que ocurrió con SEMARNAT, el INE pasó a ser el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC).

El INECC fue creado como un organismo público descentralizado de la Administración Pública Federal, con personalidad jurídica, patrimonio propio y autonomía de gestión, sectorizado en la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) que

²³ Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2018.

²⁴ https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/1600/Tecmed_Contestacion_a_la_demanda_20080604.pdf

²⁵ <http://www.conabio.gob.mx/uicn/SEMARNATCONANP.html>

²⁶ https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/1600/Tecmed_Contestacion_a_la_demanda_20080604.pdf

proporciona investigación técnica y científica en materia de ecología y cambio climático, para apoyar la toma de decisiones.²⁷

Fue creado con la entrada en vigor de la Ley General de Cambio Climático en 2012. Esta ley tiene como objetivo, según lo establecido en el Artículo 2do párrafo I del mismo documento: “Regular las emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero para lograr la estabilización de sus concentraciones en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático considerando en su caso, lo previsto por el artículo 2o. de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y demás disposiciones derivadas de la misma”.²⁸

La decisión del INECC también se plasma dentro de la misma ley, en el Artículo 15, párrafo I, se menciona su objetivo, el cual es, entre otros: “Coordinar y realizar estudios y proyectos de investigación científica o tecnológica con instituciones académicas, de investigación, públicas o privadas, nacionales o extranjeras en materia de cambio climático, protección al ambiente y preservación y restauración del equilibrio ecológico”.

Por eso mismo, el INECC reiteró su compromiso y estableció que, con el fin de apoyar la meta del Acuerdo de París, se debía reducir en 22% las emisiones de gases de efecto invernadero y en 51% las emisiones de carbono negro para el año 2030. Menciona que la reducción de gases de efecto invernadero se conseguirá a través del compromiso de los diferentes sectores participantes, de acuerdo con las metas siguientes: transporte 18%; generación eléctrica 31%; residencial y comercial 18%; petróleo y gas 14%; industria 5%; agricultura y ganadería 8% y residuos 28%.

Por otra parte, la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) fue publicada en el Diario Oficial de la Federación el 28 de enero de 1988. Esta ley regula el equilibrio ecológico y la protección al ambiente. Estipula en su Artículo 1º párrafo II “definir los principios de la política ambiental y los instrumentos para su aplicación”, y posteriormente, en el párrafo VI, “la prevención y el control de la contaminación del aire, agua y suelo”.²⁹

27 <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/208867/INECCFactSheets2017-3.pdf>

28 Ley General de Cambio Climático.

29 https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/1600/Tecmed_Contestacion_a_la_demanda_20080604.pdf

Esta ley, además, abarca otras estipulaciones ambientales en temas diversos como lo son: áreas naturales protegidas, evaluación del impacto ambiental, prevención y control de contaminación de la atmósfera, y registro de emisiones y transferencia de contaminantes, entre otros.³⁰

Pero estos reglamentos solo cumplen la función de que el gobierno federal pueda tener un control y registro de las emisiones que generan las industrias sujetas a reporte dependiendo cual sea el caso, no de estipular un límite definido de lo que a los agentes se les permitiría contaminar sin ser acreedores a una sanción o multa.

De la Ley General de Equilibrio Ecológico se derivan ciertas Normas Oficiales de las cuales se considera importante su mención, para entender las limitantes del estudio, así como entender la vía que el estudio sigue.

En primer lugar, es importante mencionar el Reglamento de la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de prevención y control de la contaminación a la atmósfera. Esta considera los siguientes criterios en su Artículo 13, sobre la protección de la atmósfera:

I.- La calidad del aire debe ser satisfactoria en todos los asentamientos humanos y las regiones del país; y

II.- Las emisiones de contaminantes a la atmósfera, sean de fuentes artificiales o naturales, fijas o móviles, deben ser reducidas o controladas, para asegurar una calidad del aire satisfactoria para el bienestar de la población y el equilibrio ecológico.³¹

En el Capítulo II (sobre emisiones de contaminantes a la atmósfera , generadas por fuentes fijas) Artículo 16 se estipula que: las emisiones de olores, gases, así como de partículas sólidas y líquidas a la atmósfera que se generen por fuentes fijas, no deberán exceder los niveles máximos permisibles de emisión e inmisión, por contaminantes y por fuentes de contaminación que se establezcan en las normas técnicas ecológicas que para tal efecto expida la Secretaría en coordinación con la Secretaría de Salud, con base en la

30 Leyes y Reglamentos Federales, D.O.F.; Gobierno de México. <http://www.ordenjuridico.gob.mx/leyes.php>

31 Reglamento de la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Prevención y Control de la Contaminación a la Atmósfera.

determinación de los valores de concentración máxima permisible para el ser humano de contaminantes en el ambiente que esta última determina.³²

Así mismo, en el Artículo 17 se obliga a los responsables de emisiones por medio de fuentes fijas a:

- Emplear equipos y sistemas que controlen las emisiones a la atmósfera.
- Integrar un inventario de sus emisiones contaminantes a la atmósfera.
- Instalar plataformas y puertos de muestreo.
- Medir sus emisiones contaminantes a la atmósfera.
- Llevar a cabo el monitoreo perimetral de sus emisiones contaminantes a la atmósfera, cuando la fuente de que se trate se localice en zonas urbanas o suburbanas, cuando colinde con áreas naturales protegidas, y cuando por sus características de operación o por sus materias primas, productos y subproductos, puedan causar grave deterioro a los ecosistemas.
- Llevar una bitácora de operación y mantenimiento de sus equipos de proceso y de control, entre otros.³³

Para efectos del reglamento, y para el registro de emisiones, las industrias que se consideran, según lo establecido en el Artículo 111-BIS de la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, como emisores de fuentes fijas de jurisdicción federal son las industrias: química, del petróleo y petroquímica, de pinturas y tintas, automotriz, de celulosa y papel, metalúrgica, del vidrio, de generación de energía eléctrica, del asbesto, cementera y calera y de tratamiento de residuos peligrosos.

Así mismo, esta información se complementa con lo dicho en el Reglamento de la LGEEPA en materia de Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC), en el cual se explica la manera y forma en que las industrias sujetas a reporte deberán presentar los mismos ante la SEMARNAT. Menciona en su Artículo 5 que “la información que se integre a la Base de datos del Registro que presenten los establecimientos sujetos a

³² Reglamento de la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Prevención y Control de la Contaminación a la Atmósfera.

³³ Véase a detalle, en el Artículo 17 dentro del Capítulo II del reglamento de la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Prevención y Control de la Contaminación a la Atmósfera.

reporte de competencia federal, será actualizada con los datos correspondientes a sus emisiones, transferencias de contaminantes y sustancias sujetas a reporte de competencia federal.” Es decir, que los establecimientos están obligados a reportar la cantidad de emisiones que generen que pudieran degradar el aire, suelo o agua, por medio de datos contenidos en cédulas, reportes licencias, permisos en materia ambiental que se tramiten a la Secretaría.³⁴

De esta manera, se menciona en la sección IV, Artículo 25 que: la información ambiental de carácter público de la base de datos del registro es la siguiente:

- I. Nombre de la persona física, denominación o razón social del establecimiento sujeto a reporte;
- II. Emisiones y transferencias de sustancias y contaminantes, conforme a lo establecido en el primer párrafo del artículo 10 del presente Reglamento, y
- III. Localización geográfica del establecimiento sujeto a reporte.

Y con lo antes mencionado, se da pie a mostrar cuáles son las sustancias sujetas a reporte, las cuales se estipulan en la Norma Oficial Mexicana, NOM-165-SEMARNAT-2013, que establece la lista de sustancias sujetas a reporte para el Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes.

La lista consta de 200 sustancias químicas que integran el RETC y que se consideran de prioridad para el país por su potencial de ocasionar daños al ambiente, y se presentan con sus respectivos umbrales de reporte, los cuales, se definen como la cantidad mínima a partir de la cual, los establecimientos sujetos a reporte de competencia federal deberán reportar las emisiones y transferencias de las sustancias.

Dentro del documento se presenta a detalle la lista de las 200 sustancias acordadas para su reporte, así como los umbrales establecidos cuando estas sean emitidas o transferidas. La Tabla II contiene las sustancias que son de interés para el estudio.

³⁴ Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes.

Tabla II. Lista de GEI que aparecen dentro de las sustancias sujetas a reporte de competencia federal del RETC.

<i>Nombre Común</i>	<i>Número CAS</i>	<i>Umbral de reporte (kg/año)</i>	
		<i>Manufactura, procesos y otros usos (MPU)</i>	<i>Emisión/Transferencia</i>
Bióxido de carbono	124-38-9		100,000
Óxido nitroso	10024-97-2		100,000
Metano	74-82-8	2,500	100,000
Hidrofluorocarbonos		2,500	100
Hexafluoruro de azufre	2551-62-4	5,000	Cualquier cantidad superior a cero
Perfluorocarbonos		5,000	1,000
Bióxido de nitrógeno	10102-44-0		100,000
Ácido sulfhídrico	7783-06-4	2,500	500

Fuente: Elaboración propia con datos de la NOM-165-SEMARNAT-2013.

En la Tabla II se presentan los números CAS los cuales funcionan como identificadores numéricos únicos que el Servicio de Información de Sustancias Químicas (Chemical Abstracts Service), asigna a una sustancia. Se muestran los umbrales de reporte que, en este contexto, son la cantidad mínima a partir de la cual, los establecimientos sujetos a reporte de competencia federal deberán reportar las emisiones y transferencias de las sustancias. Se puede observar que los umbrales se dividen en dos aspectos u orígenes que son los umbrales establecidos para la Manufactura, procesos y otros usos (MPU) los cuales son aplicables cuando estas sustancias, puras o contenidas en mezclas en una cantidad mayor al 1% en peso establecidas en la hoja de datos de seguridad o especificaciones técnicas, son utilizadas en las actividades industriales de los establecimientos sujetos a reporte o son producidas por ellos.

También se presentan los umbrales para las sustancias que vengan de emisiones y transferencias. Nótese que los umbrales de la mayoría de los gases y sustancias que se

tomarán en cuenta son 100,000 kg/año, lo cual se puede interpretar de la toxicidad que pueden representar para el ambiente, así como la frecuencia con la que se generan en la industria manufacturera. En el caso del Hexafluoruro de Azufre, se observa que su umbral es cualquier cantidad diferente de cero; por lo cual puede entenderse que es la sustancia que más daño causa al medio ambiente de las ocho enlistadas.

Una vez explicadas las leyes y las normas que se expidieron en el país en materia ambiental con el objetivo de tener un mayor control y mayor conciencia ambiental por lo establecido en los acuerdos internacionales de las Naciones Unidas; y que, a su vez, permitieron marcar el seguimiento de los que abarca este estudio, se verá a continuación el comportamiento a detalle de las demás sustancias presentadas que son de relevancia para entender el contexto ambiental de México en los últimos años.

Contexto ambiental de México en los últimos años.

No cabe duda de que a lo largo del territorio nacional se han vuelto críticos los niveles de emisiones de gases de efecto invernadero, que a su vez han desembocado en complicaciones sobre temas de salud pública principalmente.

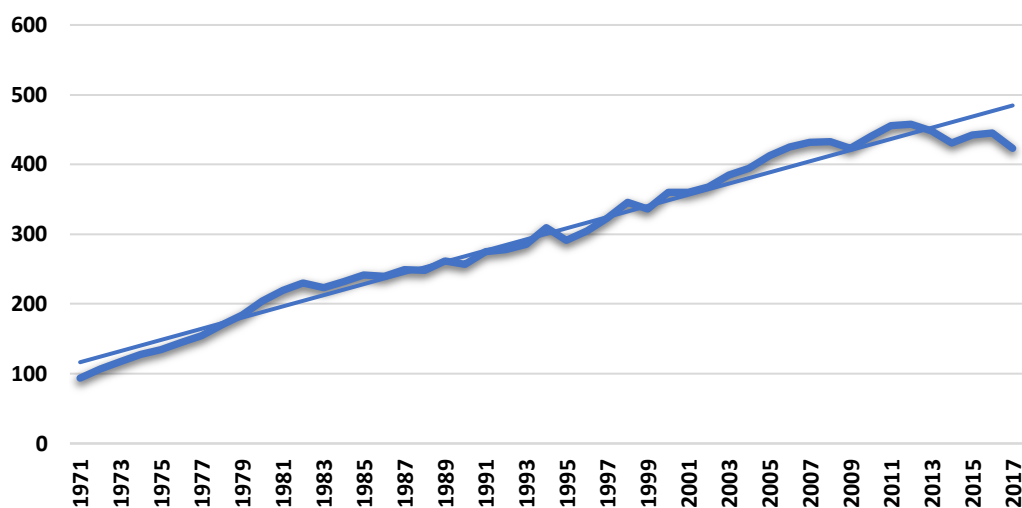
Muchas veces se habla de la contaminación como algo que debiera erradicarse por completo para que sea alcanzado el mejor escenario posible. Pero, lo que es cierto es que, aunque muchos estén en contra, la generación de contaminación es un resultado natural de los procesos productivos de las actividades económicas. Y no solo eso, sino también dentro de la vida cotidiana de los individuos.

Es por eso por lo que más allá de pensar en erradicarla, se debe pensar en encontrar un nivel óptimo en el que no represente una amenaza para la salud. Pero, sin lugar a duda se busca un nivel bajo. Y es aquí en donde entran en el juego demasiados factores para que esto suceda, todos los agentes de una economía participan; desde el gobierno, las empresas privadas, y los individuos. Al final, todo radica en diseñar mejoras tecnológicas que vuelvan a los procesos de producción más eficientes ecológicamente.

La contaminación es un concepto que se puede integrar de diferentes maneras, todas importantes para su explicación. Particularmente, aquí se hablará de la contaminación del aire, de la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera, un tema controversial en los últimos años por las alteraciones sobre el clima y el calentamiento global.

Primeramente, como se explicaba en el capítulo uno, las emisiones de dióxido de carbono global se acrecentaron de manera exponencial a partir de la Revolución Industrial a niveles sin precedentes hasta la actualidad, con tendencias que siguen en aumento. Con datos obtenidos de la SEMARNAT se hace una comparativa de las cifras de emisiones de CO₂ por consumo de combustibles fósiles para México en los últimos 40 años con respecto a las mismas cifras del resto del mundo.

Gráfica II. Emisiones de CO₂ para México de 1971-2017.³⁵



Fuente: Elaboración propia con datos de la SEMARNAT.

Como se puede observar la tendencia de las emisiones se muestra positiva a través de los años. En la ecuación (i) puede observarse que, en promedio, las emisiones en México han aumentado 8.0019 millones de toneladas cada año en los últimos 40 años. Es de esperarse que la línea de contaminación de México siga a la tendencia mundial. Mientras que, en 1971 se emitieron 93.7 millones de toneladas, esta cantidad aumento en 352% a lo largo de los 46 años hasta los 423.2 millones de toneladas en 2017.

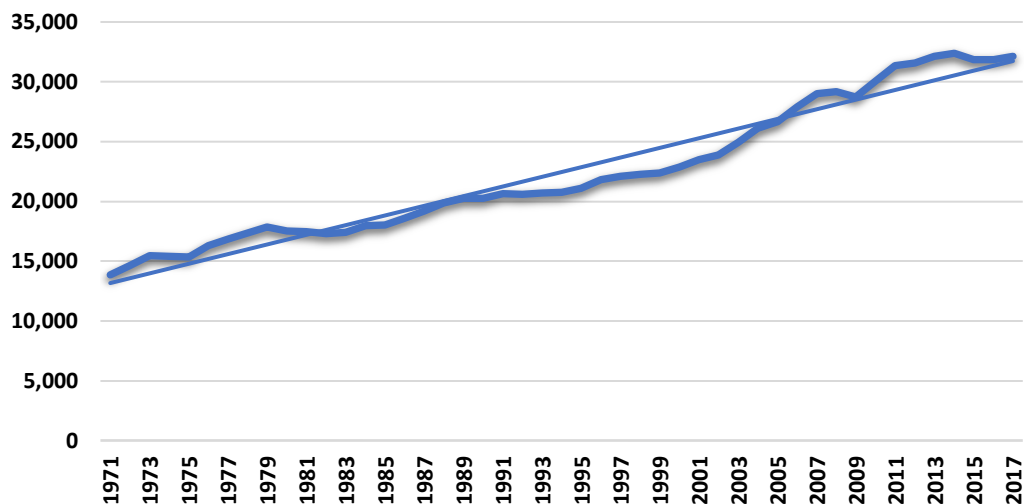
$$(i) \quad \textit{Emisiones de CO}_2_{México} = 108.48 + 8.0019 * \textit{años}_{México}$$

A pesar de que las instituciones en México ya tenían cierta conciencia de los acuerdos internacionales desde finales de los noventa, fue hasta los primeros años del nuevo milenio

³⁵ Datos en millones de toneladas de CO₂.

cuando entraron en vigor las leyes, por lo que el impacto de estas esperaría verse entre los años 2020 y 2030. Apenas alcanza a verse en la gráfica una pequeña estabilidad de las emisiones oscilando entre 400 y 450 millones de toneladas de CO₂ durante el 2011 al 2017. Habría que esperar en los años venideros para ver qué línea seguirán las emisiones.

Gráfica III. Emisiones de CO₂ en el resto del mundo de 1971-2017.³⁶



Fuente: Elaboración propia con datos de la SEMARNAT.

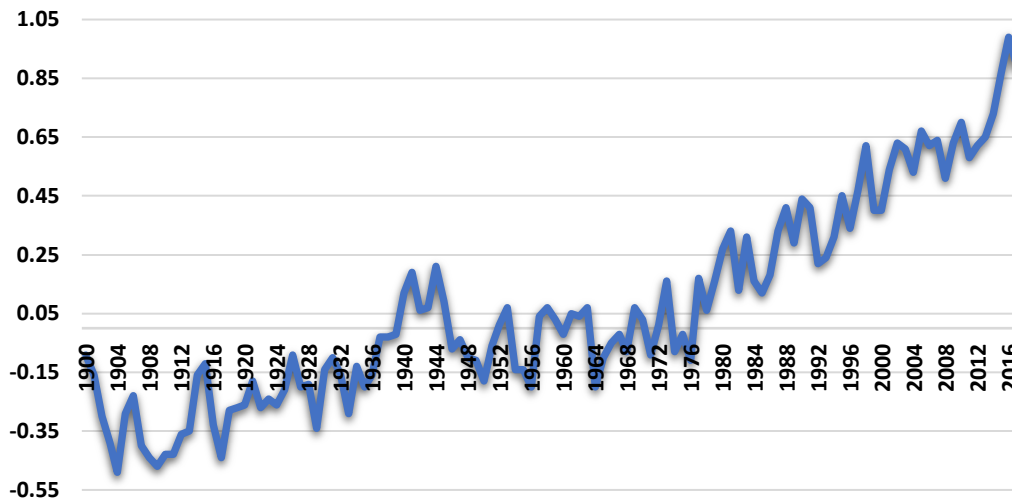
A comparación de México, las emisiones del resto del mundo según datos de la SEMARNAT se muestran con una tendencia positiva más aplanada a simple vista, y que durante los mismos años 2011-2017 parece oscilar entre las 30,000 a 33,000 millones de toneladas de CO₂. Sin embargo, analizando la ecuación (ii) se observa que, en promedio, cada año las emisiones de CO₂ en el mundo han ido aumentando en 403.71 millones de toneladas desde 1971.

$$(ii) \quad \textit{Emisiones de CO}_2_{Mundo} = 12,762 + 403.71 * \textit{años}_{Mundo}$$

Esto puede complementarse con la variación anual de la temperatura global de la gráfica IV que también es presentada por la SEMARNAT:

³⁶ Datos en millones de toneladas de CO₂.

Gráfica IV. Variación anual de la temperatura global en grados centígrados.



Fuente: Elaboración propia con datos de la SEMARNAT.

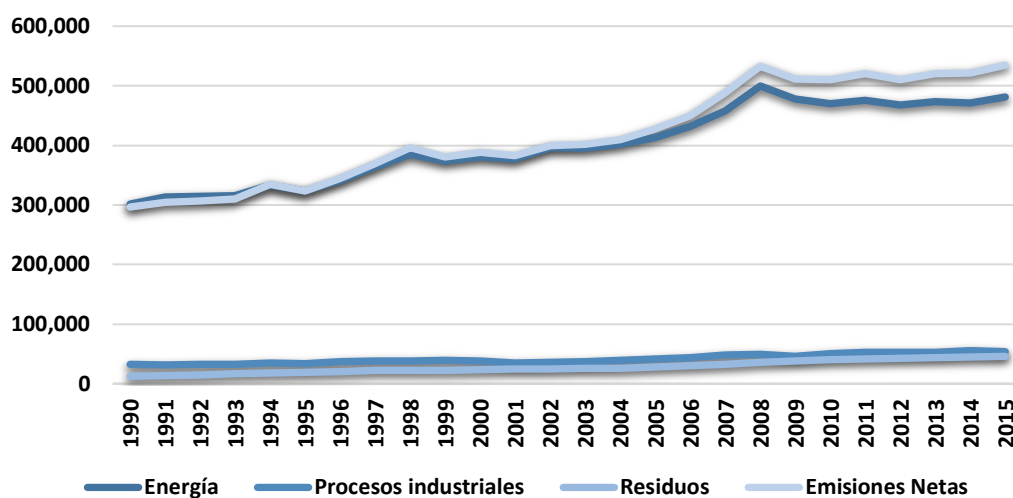
En la variación de la temperatura global en grados centígrados puede verse que, durante las primeras tres cuartas partes del siglo pasado, los cambios anuales fluctuaban alrededor del cero; pero al igual que el comportamiento de las emisiones estos cambios anuales fueron incrementando a partir de los años 70's; aun siendo muy variante, la tendencia persistió de manera positiva hasta llegar a un incremento de 0.89 grados centígrados en la temperatura en el 2017.

Con respecto a las emisiones, en México existe el Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (INEGYCEI) que presenta el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) en apego al Artículo 74 de la Ley General de Cambio Climático. El inventario comprende las emisiones de bióxido de carbono, metano, óxido nitroso, hidrofluorocarbonos, perfluorocarbonos, hexafluoruro de azufre y carbono negro en el periodo 1990-2015. El gas más relevante que emite nuestro país es el bióxido de carbono con 71% de las emisiones, seguido del metano con 21%.³⁷

*Datos en Gigagramos de CO₂e.

³⁷ Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). 2015. Primer Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. INECC/Semarnat, México.

Gráfica V. Emisión Nacional de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero, 1990-2015.*



Fuente: Elaboración propia con datos del INECC y SEMARNAT.

Los datos de la Gráfica V abarcan las emisiones de gases de efecto invernadero en GgCO₂e para México. Se muestran las emisiones desglosadas en los sectores de energía, el cual representa el 70% de las emisiones totales, seguido del sector de procesos industriales con el 8% de las emisiones totales y, por último, el sector residuos que emitió el 7% de las emisiones totales. No obstante, el ganado representó el 10% de las emisiones de CO₂ también, además de fuentes agregadas y fuentes de emisión de la tierra que generaron 5%, las cuales no fueron agregadas al no presentar datos de estos sectores pero que pueden consultarse en el Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero.³⁸ Al ser el sector energía el que genera más de la mitad de las emisiones de GEI su comportamiento es casi idéntico al de las emisiones netas.

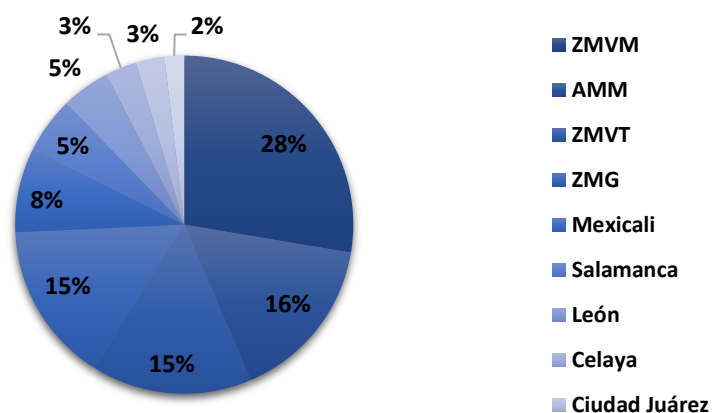
En México, existe también el Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire (SINAICA). Este es una serie de sistemas informáticos que permiten recabar información de la calidad del aire que se genera en las estaciones de monitoreo ubicadas a largo del territorio nacional en ciertas ciudades y áreas metropolitanas que cuentan con la infraestructura adecuada para ello. En el país hay 102 poblaciones en 30 estados que cuentan con estas estaciones de monitoreo, según datos de SEMARNAT y del INECC.

38 Inventario Nacional de emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero.
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/312045/INEGYCEI6CN_26_marzo_2018.pdf

La concentración de gases e indicadores que se registran gracias a estos sistemas de monitoreo son el dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, la dirección del viento, la humedad relativa y el índice de radiación ultravioleta. Así también, registra otros gases como el monóxido de carbono, el óxido nítrico, el óxido de nitrógeno, el ozono, así como partículas menores a 10 micras y partículas menores a 2.5 micras. Además, algunos indicadores como, la precipitación pluvial, la presión barométrica, la radiación solar, la radiación ultravioleta A, la radiación ultravioleta B, la temperatura y la velocidad del viento.

Estos datos se presentan por estación de monitoreo de manera diaria, las 24 horas del día, por lo que la calidad del aire de las diversas ciudades puede medirse por medio de la concentración registrada. Dicha concentración está regida por la Normas Oficiales Mexicanas establecidas por la Secretaría de Salud, las cuales establecen límites permisibles para la exposición de los seres humanos a estas sustancias que no atenten contra la salud de la población. Es decir, la contaminación atmosférica que se genera por las altas concentraciones de gases criterio en el aire, son contabilizados en cantidad de días que se mantengan por encima de la norma. Con base en datos publicados por la SEMARNAT se identificaron las diez ciudades y áreas metropolitanas del país con la mayor cantidad de días con concentraciones por encima de la norma para los diferentes gases criterio en el periodo de 2000 al 2016. Ello puede observarse en la gráfica VI.

Gráfica VI. Diez ciudades con más días por encima de la Norma, 2000-2016.³⁹



Fuente: Elaboración propia con datos de SEMARNAT.

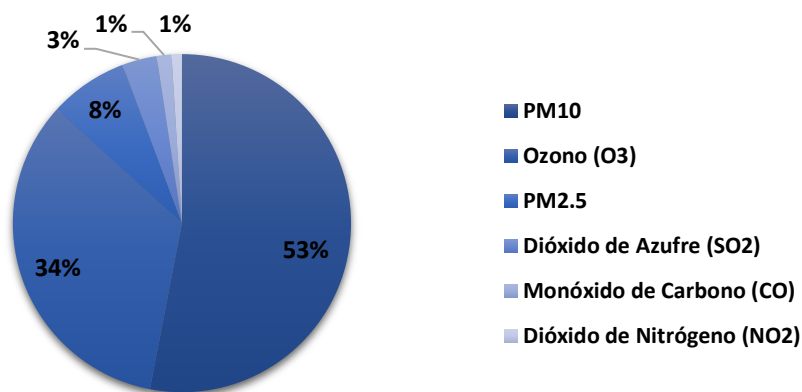
³⁹ Donde: ZMVM = Zona Metropolitana del Valle de México, AMM = Área Metropolitana de Monterrey, ZMVT = Zona Metropolitana del Valle de Toluca y ZMG = Zona Metropolitana de Guadalajara.

De un total de 18,815 días registrados por encima de la norma, el 93% fue reportado en estas diez ciudades, es decir, acumulan 17,586 días en el periodo mencionado.

Esos 17,586 días a su vez, se conforman por la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), la cual es la ciudad con el más alto porcentaje, con el 28%. En segundo lugar, está el Área Metropolitana de Monterrey (AMM) con el 16%, seguida de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca (ZMVT) y la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG), ambas con 15%. Después están Mexicali con 8%, Salamanca y León con 5%, Celaya y Ciudad Juárez con 3% e Irapuato con el 2%.

Por otro lado, se agrega también el número de días por encima de la norma analizado por tipo de sustancia para el mismo periodo de 2000 a 2016. Cabe señalar que en este caso se toman en cuenta las 102 ciudades que cuentan con sistema de monitoreo, de tal manera que nos permita saber la sustancia o sustancias que persisten con una mayor concentración por tiempo prolongado.

Gráfica VII. Días que se excede el valor por encima de la norma por sustancia criterio, 2000-2016.



Fuente: Elaboración propia con datos de la SEMARNAT.

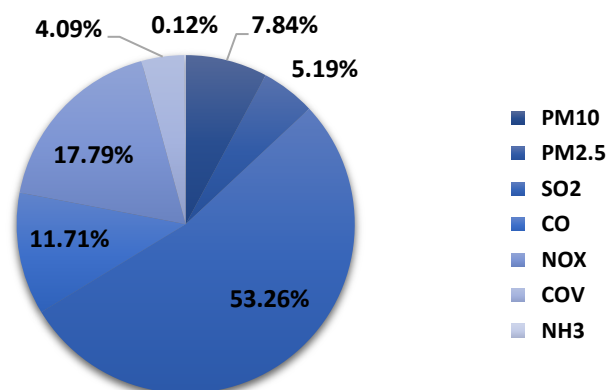
Las sustancias que están en niveles por encima de la norma una mayor cantidad de días son: las partículas menores a diez micras (PM₁₀) con el 53% de los días. El Ozono (O₃) con el 34% de los días, seguidas de las partículas menores a 2.5 micras (PM_{2.5}) con 8%, el dióxido de azufre (SO₂) con 3%. Posteriormente el monóxido de carbono (CO) y el dióxido de nitrógeno (NO₂) con el 1%, solamente. Por último, se analizaron las bases de datos del Inventario Nacional de Emisiones de Contaminantes Criterio (INEM) el cual, es un

instrumento estratégico para la gestión de la calidad del aire, ya que contiene las emisiones de contaminantes criterio de la industria, transporte, comercios, servicios, casas habitación, vegetación y suelo que se generan en el país.⁴⁰

En el INEM también se analizan las emisiones de sustancias criterio, pero en este caso, por tipo de fuente de emisión. Se dividen en contaminantes naturales y antropogénicos, y estos a su vez, pueden ser emitidos por fuentes fijas, de área, fuentes móviles o fuentes naturales, en un año determinado y de manera estatal y municipal.

Para el año 2016, que fue el último año del que se tiene reporte por parte del INEM se analizan las distribuciones por tipo de fuente de emisión en las Gráficas VIII, IX y X.

Gráfica VIII. Emisiones de contaminantes criterio por fuentes fijas, 2016.⁴¹



Fuente: Elaboración propia con datos de la SEMARNAT.

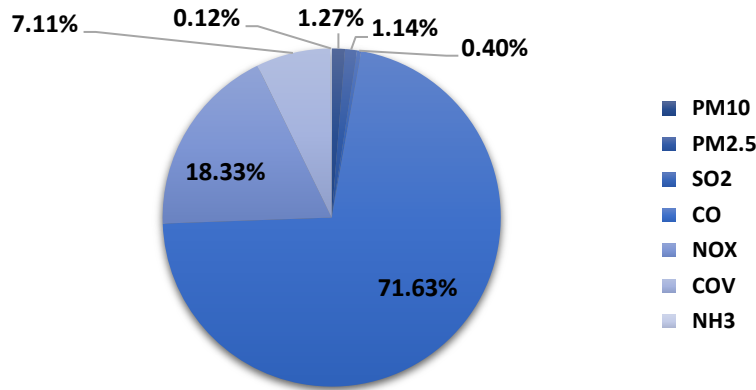
En el 2016, según los datos, se tiene que el principal contaminante criterio que se emitió por medio de fuentes fijas fue el SO₂ el cual abarca el 53.26%. Seguido del NO_x con 17.79% de las emisiones por este tipo de fuente.

Gráfica IX. Emisiones de contaminantes criterio por fuentes móviles, 2016.⁴²

40 Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/inventario-nacional-de-emisiones-de-contaminantes-criterio-inem>

41 Donde: PM₁₀ = Partículas menores a 10 micras, PM_{2.5} = Partículas menores a 2.5 micras, SO₂ = Dióxido de Azufre, CO = Monóxido de Carbono, NO_x = Óxidos de Nitrógeno, COV = Compuestos Orgánicos Volátiles y NH₃ = Amoniaco.

42 Donde: PM₁₀ = Partículas menores a 10 micras, PM_{2.5} = Partículas menores a 2.5 micras, SO₂ = Dióxido de Azufre, CO = Monóxido de Carbono, NO_x = Óxidos de Nitrógeno, COV = Compuestos Orgánicos Volátiles y NH₃ = Amoniaco.

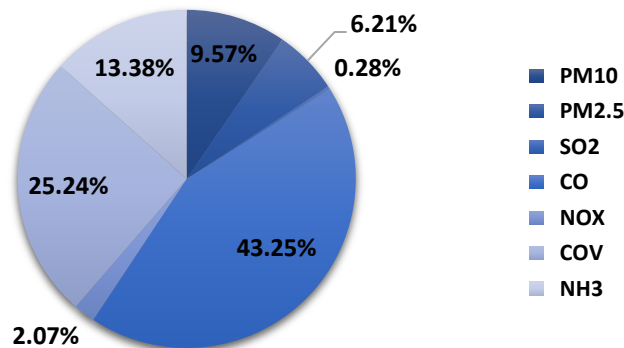


Fuente:

Elaboración propia con datos de la SEMARNAT.

Por otro lado, aunque no se analizan en este estudio las emisiones por fuentes móviles también juegan un papel importante en la contaminación de aire. En el 2016, el principal contaminante que se emitió en este rubro es el CO ya que abarcó el 71.63% de las emisiones. Por último, se incluyen también las emisiones por fuentes de área. En el 2016 se obtuvo que el contaminante criterio más importante de este rubro fue de igual manera el CO, con el 43.25%, seguido de los COV con un 25.24% de las emisiones.

Gráfica X. Emisiones de contaminantes criterio por fuentes de área, 2016.⁴³



Fuente: Elaboración propia con datos de la SEMARNAT.

Estos son algunos ejemplos de los datos disponibles en México para la medición de la contaminación del aire por medio de las emisiones de contaminantes criterio. Los datos particularmente utilizados para este estudio fueron obtenidos por el Registro de Emisiones y

43 Donde: PM₁₀ = Partículas menores a 10 micras, PM_{2.5} = Partículas menores a 2.5 micras, SO₂ = Dióxido de Azufre, CO = Monóxido de Carbono, NO_x = Óxidos de Nitrógeno, COV = Compuestos Orgánicos Volátiles y NH₃ = Amoniaco.

Transferencia de Contaminantes (RETC) antes explicado, pues van enfocados a las emisiones del sector industrial. Las bases de datos de los gases de efecto invernadero utilizados para este estudio se describirán de manera más precisa en el siguiente capítulo.

Se analizaron a lo largo de este capítulo ciertos tipos de gases importantes en la generación de contaminación del aire en particular del SO₂ y el NO₂ que se podrían incluir en un estudio complementario por ser mayormente emitidos por las industrias del sector secundario. Así mismo, no hay que quitar de vista cualquier tipo de gas emitido a la atmosfera, ya sea compuesto, de invernadero, polvo o cualquier tipo de partícula, puesto que representan un riesgo para la salud respiratoria de la población.

Por último, se puede decir que en México se han creado e implementado diversas nomenclaturas y leyes en los últimos cuarenta años con el fin de regular y frenar las emisiones de gases de efecto invernadero que se liberan a la atmósfera. Recientemente se han modificado y puntualizado ciertas nomenclaturas más específicas para tener cierto control en las emisiones generadas por ciertas industrias del sector secundario. Sin embargo, los esfuerzos que se han realizado en los últimos diez años aun no son suficientes. No se puede decir que no se ha avanzado en la reducción de emisiones contaminantes, pero falta aún un largo camino para llegar a las metas establecidas en los acuerdos internacionales.

CAPÍTULO TRES. Estimación de la elasticidad-producto de las emisiones de gases de efecto invernadero y la búsqueda de la existencia de la Curva de Kuznets Ambiental para México.

Como se ha hecho notar en el capítulo anterior, a México como a otros países en desarrollo, les hacen falta regulaciones más eficientes cuando se habla de temas ambientales,

particularmente en contaminación del aire. Aquí se indaga, primeramente, un poco más sobre este contexto, en particular del sector secundario y en sí, de la industria manufacturera en el país.

Antecedentes.

Siendo México un país en el que los recursos primarios son abundantes surge naturalmente una cultura de industrialización que tomó velocidad en su desarrollo durante el siglo pasado. Como un terreno libre por explotar, no fue hasta ver la notoria expansión y crecimiento demandante de productos e insumos lo que puso a México y ciertas de sus ciudades, dentro de las más contaminadas del mundo. Por un lado, vale la pena notar lo importante que son estas ciudades económicamente para el país por su aportación al desarrollo económico nacional. Sin embargo, los altos niveles de contaminación hacen que las condiciones de vida no sean las más adecuadas para los mexicanos de estas ciudades.

En México, los estados industrializados tienen una importante participación en el Producto Interno Bruto Nacional. En el 2018 el 45.55% del PIB fue generado por tan solo 5 de los 32 estados del país. En primer lugar, fue la CDMX que generó el 17.64% del PIB del país. Aunque no es un estado de naturaleza industrial, la capital cosmopolita es una de las ciudades con un importante aporte económico, aunque también, con cifras altas de GEI en las últimas décadas. Por ello, aunque la contaminación generada de la CDMX no es en gran parte por industrias del sector secundario se tomará en cuenta entre una de las ciudades principales con contaminación por gases de efecto invernadero. El segundo estado con mayor aportación al PIB es el Estado de México con 8.93%, Nuevo León con 7.47%, Jalisco con 6.91% y Veracruz con 4.59%.⁴⁴

Ahora bien, cuando hablamos de la participación de la industria manufacturera en el PIB, los estados con mayor porcentaje cambian un poco. El estado con mayor porcentaje de participación de la industria manufacturera en el PIB es Nuevo León con 10.55%. El Área Metropolitana de Monterrey se caracteriza por ser un conjunto de municipios industrializados; además siendo que la zona metropolitana alberga cerca del 95% de la población total del estado, esta entidad ha ido incrementando sus niveles de contaminación en los últimos años, lo que la ha puesto como la segunda ciudad más contaminada del país. En segundo lugar, está el Estado de México con el 10.09% de participación de este sector.

⁴⁴ Datos obtenidos del Banco de Información Económica, INEGI.

Así mismo, Jalisco con 9.14%, Coahuila con 8.41% y Guanajuato con 6.34%. Estas cinco entidades, en conjunto, suman el 44.52% de participación total de la industria manufacturera en el PIB del país, al menos en el 2018.⁴⁵

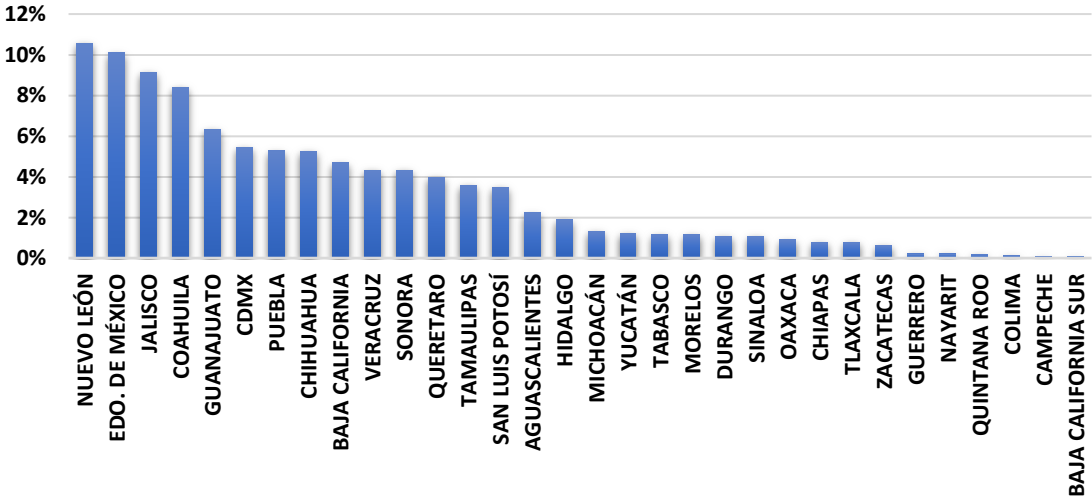
En la siguiente gráfica se muestra el porcentaje de participación del sector manufacturero en el PIB por estado en el 2018:

Gráfica XI. Porcentaje de participación de la industria manufacturera en el PIB nacional por estado, 2018.

Fuente: Elaboración propia con datos del BIE, INEGI.

Es puntual enfocarse en la participación del sector secundario para recalcar el porcentaje de PIB que se genera por medio de este sector, pero también es importante mencionarlo ya que no es coincidencia que la mayoría de los industriales que se encuentran en este sector son también generadores importantes de emisiones de sustancias dañinas para el aire y la salud de la población.

Una manera en la que se mide la concentración de sustancias contaminantes es por medio



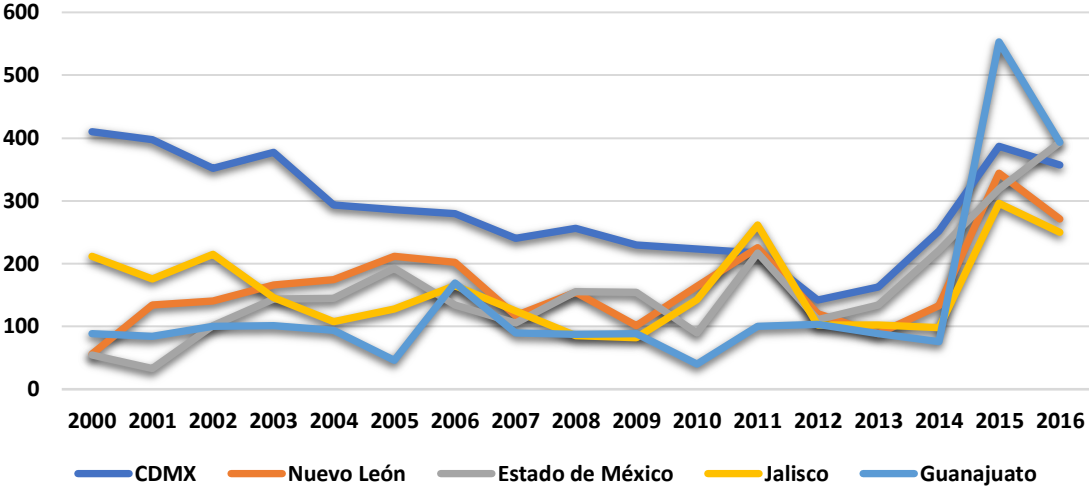
del Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire (SINAICA). Este sistema monitorea la concentración de ciertas sustancias contaminantes que se encuentren por encima de las Normas Oficiales Mexicanas establecidas por la Secretaría de Salud. En este caso, en

⁴⁵ Datos obtenidos del Banco de Información Económica, INEGI.

el periodo del 2000 al 2016, las 5 ciudades que más días estuvieron por encima de la Norma fueron: CDMX, Nuevo León, Estado de México, Jalisco y Guanajuato.

Tomando en cuenta la sumatoria de todas las sustancias, de 18,815 días registrados por arriba de la Norma, 15,366 días se concentran en estos estados, en sus ciudades y zonas metropolitanas, es decir, el 81.7% dentro de ese periodo de estudio. En la gráfica XII se muestra el comportamiento de los días por encima de la Norma de estos 5 estados, en el periodo de años mencionados.

Gráfica XII. Días por arriba de la Norma para las cinco ciudades más contaminantes del país durante el periodo del 2000 al 2016.



Fuente: Elaboración propia con datos de la SEMARNAT.

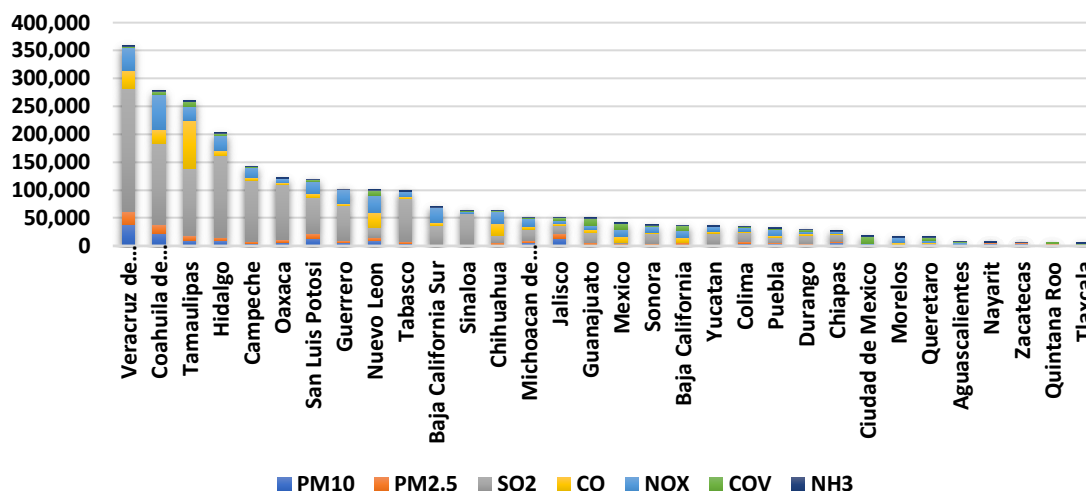
A partir del 2014, las 5 entidades muestran un aumento en la cantidad de días por arriba de la Norma. En 2016, el promedio de días en estos 5 estados fue de 330 días, aproximadamente. Si bien Coahuila entraba entre los primeros 5 estados con alto porcentaje de participación de la industria manufacturera, no había datos de sustancias contaminantes de sus ciudades.

Sin embargo, pasando a los contaminantes catalogados como “Contaminantes Criterio” generados en el 2016 y, tomando en cuenta solo los contaminantes antropogénicos de fuentes fijas reportados por el INEM, se tiene reporte de que el estado que más emisiones totales generó fue Veracruz con cerca de 360,000 toneladas conjuntas solo en este año. Cabe señalar que los contaminantes criterio no tiene un punto de comparación entre sí, como si lo tienen los GEI que pueden contabilizarse como CO₂ equivalente. Esta comparativa se hizo

simplemente como punto de análisis descriptivo, pero al tener pesos químicos distintos y efectos diferentes en la atmósfera, estas sustancias deben ser analizadas por separado.

Aquí se muestra la comparativa de los estados para las 6 sustancias que conforman los contaminantes criterio:

Gráfica XIII. Emisiones estatales de contaminantes criterio generadas por fuentes fijas en 2016.⁴⁶



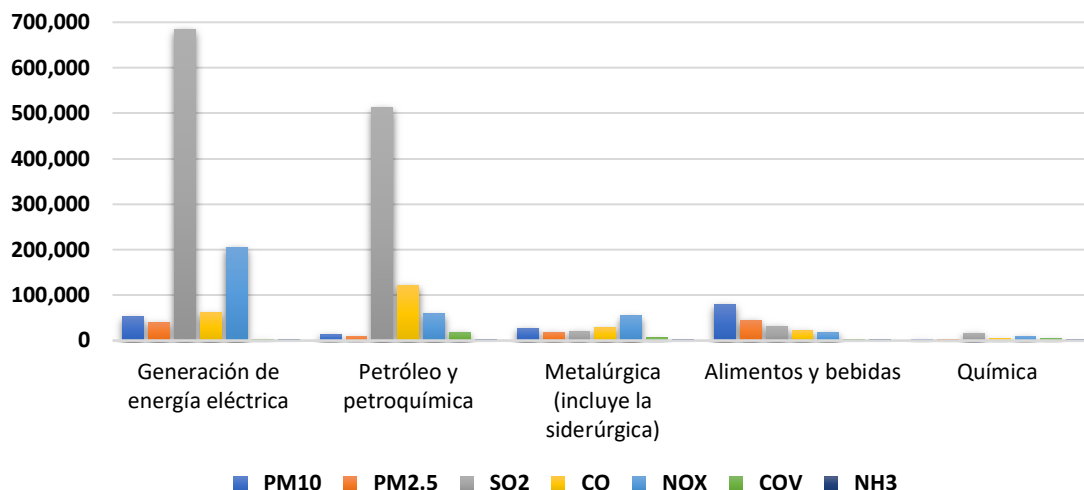
Fuente: Elaboración propia con datos del INEM y SEMARNAT.

Como puede observarse existe una pequeña discrepancia entre los lugares que ocupan los estados que aparecen como los que más emiten contaminantes criterio (Veracruz, en primer lugar) y los que tienen mayor participación del sector secundario en el Producto Interno Bruto (Nuevo León, en primer lugar). Y esto puede deberse más que nada al tipo de industria que se encuentre instalada en cada entidad y de la cantidad de toneladas de contaminación generadas.

En el Inventario Nacional de Emisiones de Contaminantes Criterio (INEM) se reportaron emisiones de 28 industrias que se consideran de fuentes fijas. De estas industrias las 5 que más emisiones reportaron en 2016 fueron las de generación de energía eléctrica, petróleo y petroquímica, metalúrgica (incluyendo la siderúrgica), alimentos y bebidas, y la industria química. En la gráfica XIV se muestran estas 5 industrias por tipo de contaminante criterio que emite cada una:

46 Donde, PM₁₀ = Partículas menores a 10 micras, PM_{2.5} = Partículas menores a 2.5 micras, SO₂ = Dióxido de Azufre, CO = Monóxido de Carbono, NO_x = Óxidos de Nitrógeno, COV = Compuestos Orgánicos Volátiles, NH₃ = Amoníaco.

Gráfica XIV. Industrias manufactureras con más emisiones de contaminantes* criterio en 2016.⁴⁷



Fuente: Elaboración propia con datos del INEM y SEMARNAT.

El dióxido de azufre (SO₂) es el gas más emitido por la industria de generación de energía eléctrica, la cual emitió cerca de 684,000 toneladas en el 2016, mientras que la industria del petróleo y petroquímica emitió 513,248 toneladas. En segundo lugar, están los óxidos de nitrógeno (NO_x) que fueron emitidos en 205,788 y 58,955 toneladas en estas dos industrias.

Además, como se mencionaba también en el capítulo anterior, el SO₂ es el contaminante criterio que más se generan por los emisores de fuentes fijas, que por lo regular están compuestos por las industrias del sector secundario. La principal fuente de emisión de dióxido de azufre a la atmósfera es la combustión de productos petrolíferos y la quema de carbón en centrales eléctricas y calefacciones centrales. Existen también algunas fuentes naturales, como es el caso de los volcanes. De igual manera, el SO₂ también se emplea en la industria del papel como agente blanqueador.⁴⁸

Por otra parte, ha habido estudios previos para el país en los cuales se han estimado los costos que las emisiones de gases de efecto invernadero representan para la sociedad. Dado

*Cifras en miles de toneladas.

47 Donde, PM₁₀ = Partículas menores a 10 micras, PM_{2.5} = Partículas menores a 2.5 micras, SO₂ = Dióxido de Azufre, CO = Monóxido de Carbono, NO_x = Óxidos de Nitrógeno, COV = Compuestos Orgánicos Volátiles, NH₃ = Amoniac.

* Cifras en miles de toneladas.

48 Instituto para la Salud Geoambiental.

que de alguna manera todos los sectores productivos generan directa o indirectamente emisiones de gases de efecto invernadero que tienen que ver con sus actividades de producción.

En Nápoles (2011) se explican los costos relativos que tienen las emisiones de gases de efecto invernadero dentro de las industrias manufactureras de México. El autor deriva la ecuación de costos relativos basándose en la matriz de coeficientes técnicos, conocida como matriz de Leontief y en la matriz de entregas o de distribución, también conocida como matriz de Ghosh (véase Dietzenbacher, 1997). Explica que el modelo permite conocer en qué porcentaje se incrementan los costos, como resultado de los efectos de la externalidad negativa que es la contaminación.

El autor presenta una tabla similar a la que se presenta enseguida, explicando que los porcentajes presentados pueden ser explicados como un costo incorporado por emisiones como si estas fueran insumos.

Tabla III. Incremento de costos por emisión de gases de efecto invernadero.

<i>Rama</i>	<i>Porcentaje</i>
Generación, transmisión y suministro de energía eléctrica.	17.87%
Fabricación de muebles y productos relacionados.	15.46%
Industrias metálicas básicas.	10.76%
Agua y suministro de gas por ductos al consumidor final.	10.69%
Fabricación de insumos textiles.	9.07%
Fabricación de productos a base de minerales no metálicos.	9.05%
Edificación.	8.70%
Industria alimentaria.	8.65%
Industria del papel.	8.63%
Fabricación de productos metálicos.	8.56%
Fabricación de equipo de computación, comun., med. y otros electrónicos.	8.54%
Fabricación de equipo de generación eléctrica y aparatos y accesorios eléctricos.	8.49%
Servicios relacionados con las actividades agropecuarias y forestales.	8.39%
Fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón.	8.39%
Industria de la madera.	8.29%
Otras industrias manufactureras.	8.11%
Industria del plástico y del hule.	7.90%

Fuente: Pablo Ruíz Nápoles (2011): *Estimación de los costos relativos de las emisiones de GEI en las ramas de la economía mexicana*. pp.182.

En general, se puede observar que los costos relativos que representan las emisiones en las distintas ramas productivas de México son altos. El autor explica que el cálculo de costos de remediación de la emisión de GEI puede interpretarse como un “costo de oportunidad” de la mitigación, es decir, el costo que la sociedad está pagando por no aplicar ninguna medida de reducción en la emisión de gases contaminantes asociados a la producción. Señala que también podría interpretarse como el costo en términos de la producción evaluada en dinero, que tendría que sacrificarse para reducir (aunque no totalmente) la emisión de gases de efecto invernadero, sin adoptar ningún cambio tecnológico que la reduzca o elimine. Es decir, el no asumir la externalidad negativa que deriva de la contaminación representa un costo extra para las industrias, o bien, una reducción de la producción que realmente podría evitarse de otra manera que no fuera a través de la innovación tecnológica de los procesos productivos.

Esto sirve para enfatizar la aceleración perdida en el camino a una economía con procesos productivos sustentables. Y que, si fuera de otra manera, se obtendrían beneficios no solo para el sector industrial, sino para el entorno en general y la calidad de vida de la población.

Datos.

Los datos para las variables económicas, ambientales, y demográficas a utilizar en el estudio abarcan un periodo del 2007 al 2018, es decir 12 años, con periodicidad anual, los cuales se fueron ajustando según la disponibilidad de la información. Además, la información se presenta de manera estatal, lo cual nos permite tener una visión más a detalle sobre la situación particular del país y no tanto en comparativa con otros países.

Los datos por utilizar para el caso mexicano tienen ciertas particularidades que son importantes señalar. Delinear las limitantes y los alcances que tiene la información disponible en el país es importante para que así, dentro de lo posible, puedan estimarse resultados reales.

En primer lugar, se encontraron datos relacionados con las emisiones de gases de efecto invernadero, que contemplan seis gases y compuestos químicos los cuales son: el dióxido de

carbono, el óxido nitroso, el metano, los hidrofluorocarbonos, los perfluorocarbonos y el hexafluoruro de azufre.

Esta clasificación de sustancias se considera dentro de la NOM-165-SEMARNAT-2013, y que son específicamente emitidos a través de fuentes fijas.

Así mismo, y con base en lo referido en el Artículo 111-BIS de la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, se consideran fuentes fijas de jurisdicción federal a las industrias: Química, Petróleo y petroquímica, Pinturas y tintas, Automotriz, Celulosa y papel, Metalúrgica, Vidrio, Generación de energía eléctrica, Asbesto, Cementera y calera y, Tratamiento de residuos peligrosos.⁴⁹

Por lo que, los datos sobre emisiones de GEI están referidos solo a estas y demás industrias que, además están disponibles por parte de la SEMARNAT a través del Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC).

El RETC es un registro implementado por la SEMARNAT, el cual obliga a las industrias de jurisdicción federal a contabilizar sus emisiones para posteriormente reportarlas anualmente. Se observa que las empresas que reportaron a la SEMARNAT, durante el periodo de estudio, no siguen una línea de comportamiento constante debido a que, dados los umbrales establecidos del nivel de emisiones permisibles, una misma empresa pudiera quedar sin obligación de reporte durante los años que no sobre pase el límite. También, cabe señalar que las empresas pueden repetirse durante un mismo año, dado que pueden tener más instalaciones en diferentes estados.

La Ley General del Cambio Climático, reformada en 2018, estableció que uno de sus objetivos principales es “regular las emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero para lograr la estabilización de sus concentraciones en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático considerando en su caso, lo previsto por el artículo 2o. de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y demás disposiciones derivadas de la misma”.

Las sustancias que conforman los gases con efecto invernadero tienen la característica que pueden transformarse a CO₂ equivalente (CO₂e); que es una medida en toneladas de la huella de carbono, con el fin de simplificar su medición y, en este caso, su estimación.

Para calcular la equivalencia de los gases de efecto invernadero se toma en cuenta el potencial de calentamiento global (GWP) que cada uno tiene en comparación con un kg de

49 Artículo 111-BIS de la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente.

CO₂. La siguiente tabla muestra estas equivalencias basado en el Segundo Informe de Evaluación del IPCC:

Tabla IV. Potencial de Calentamiento Global de los GEI.

<i>Sustancia</i>	<i>Formula química</i>	<i>Tiempo de vida (años)*</i>	<i>Potencial de Calentamiento Global (GWP)</i>		
			20 años	100 años	500 años
			Bióxido de Carbono	CO ₂	Variable
Metano	CH ₄	12±3	56	21	6.5
Óxido nitroso	N ₂ O	120	280	310	170
Hidrofluorocarbonos	HFC	50.3 ⁵⁰	-	2,530 ⁵¹	-
Perfluorocarbonos	PFC	10,814 ⁵²	-	7,614 ⁵³	-
Hexafluoruro de Azufre	SF ₆	3,200	16,300	23,900	34,900

Fuente: Global Warming Potentials (IPCC Second Assessment Report).

El cálculo para realizar la equivalencia correspondiente a cada sustancia a CO₂ equivalente se basó en el potencial de calentamiento global de 100 años. Sin embargo, debido a que los HFC y PFC abarcan diferentes subtipos de sustancias dentro de su grupo, se tomó un promedio del GWP de todos los subtipos. Con esto, se calculó la equivalencia para un GWP promedio de 2,530 para los HFC y de 7,614 para los PFC, según los datos expuestos por el IPCC.

Posteriormente, una vez calculada la equivalencia de las sustancias a CO₂e se obtienen las emisiones per cápita, dividiendo las emisiones de CO₂e entre la población de cada estado. Con esto, se obtienen las toneladas anuales de CO₂e emitidas por individuo.

En segundo lugar, se tienen los datos relacionados con el Producto Interno Bruto Estatal (PIBE). Los datos se presentan de manera anual, a precios constantes del año 2013 y son publicados por el INEGI dentro de su Banco de Información Económica (BIE).⁵⁴

50 Cifra promedio de años de vida de los diferentes tipos de HFC presentados por el IPCC.

51 Cifra promedio del potencial de calentamiento para los diferentes tipos de HFC presentados por el IPCC.

52 Cifra promedio de años de vida de los diferentes tipos de PFC presentados por el IPCC.

53 Cifra promedio del potencial de calentamiento para los diferentes tipos de PFC presentados por el IPCC.

54 INEGI; PIBE: <https://datos.gob.mx/busca/dataset/sistema-de-cuentas-nacionales-de-mexico-producto-interno-bruto-pib/resource/33ab212e-3ae8-4eda-988a-a3407bd332cc>

Una vez obtenidos los datos económicos, se procede a hacer lo mismo que se hizo con las emisiones, al dividir por la población de cada estado para obtener el PIB per cápita para cada año.

En tercer lugar, se utilizarán los censos de población de los años 2005 y 2010 publicados por el Consejo Nacional de Población (CONAPO). Dado que la información sobre población solo es publicada en los censos que realiza en INEGI cada 5 años, se realizará la construcción de tasas de población para los demás años, de manera que se pueda tener un estimado de la tasa de crecimiento poblacional. Esta tasa de crecimiento se calculará de la siguiente manera:

$$T = \frac{\{\ln(\text{año}_{final}) - \ln(\text{año}_{inicial})\}}{\text{Número de años del periodo}}$$

Además, la tasa de crecimiento poblacional será muy útil dentro del estudio; entre otras cosas, la tasa:

1. Será utilizada para obtener el PIB per cápita estatal. Más que nada esto ayudará a ponderar el ingreso estatal. El indicador se calculará simplemente dividiendo el PIB del estado i , entre su población correspondiente en el año t , como sigue:

$$PIB_{it} = \frac{PIBE_{it}}{Población_{it}}$$

2. Ayudará para el cálculo de la densidad poblacional (DP_{it}). Dicha variable se incluye en la ecuación del modelo y consiste en calcular la cantidad de habitantes por kilómetro cuadrado.

Este indicador se construye dividiendo la población del estado i entre la extensión territorial (medida en kilómetros cuadrados) de cada estado, como se muestra enseguida:

$$DP_{it} = \frac{Población_{it}}{Territorio_i}$$

3. Ayudará a la construcción de la siguiente variable, que se refiere a la estructura energética de los estados (CE_{it}) que, en Kang (2015) se define como el consumo de

carbón utilizado para la generación de energía. Sin embargo, dado que en México no hay información propiamente estatal de la cantidad de carbón que se consume para la generación de energía, se propone utilizar en su lugar la variable de consumo de energía eléctrica por entidad federativa. En este caso, también se calcula el consumo de energía per cápita.

$$CE_{it} = \text{Consumo de energía eléctrica estatal}_{it} / \text{Población}_{it}$$

Por último, se calcula también la apertura comercial (AC_{it}) de los estados que, se refiere al porcentaje de ingreso que representan las exportaciones e importaciones respecto al PIB estatal, y que se calcula como:

$$AC_{it} = (\text{Exp} + \text{Imp})_{it} / \text{PIBE}_{it}$$

Para la construcción de este indicador se utilizaron los datos de las exportaciones estatales publicadas por el INEGI del 2007 al 2018. Mientras que, para las importaciones, se consideró utilizar los datos de exportaciones de Estados Unidos a México publicados por el Bureau of Transportations Statistics, para cada estado durante el mismo periodo.⁵⁵

Estas variables conformarán el modelo que ayudará a explicar la relación existente entre las emisiones de CO₂e y el PIB de los estados, así como a la estimación de la elasticidad-producto de las emisiones de GEI en México.

Particularidades y medidas de corrección de los datos.

Existen ciertas particularidades para los diferentes datos, las cuales requirieron ciertas modificaciones de manera que su comportamiento no sesgara los resultados a obtener. En otras situaciones se tuvo que ajustar el estudio a la disponibilidad que tenían las diferentes dependencias sobre estos datos.

Algunas de las observaciones que hay que tener en cuenta sobre los datos son las siguientes:

⁵⁵ Bureau of Transportation Statistics. <https://www.bts.gov/transborder/>

- Para los datos ambientales obtenidos en el Reporte de Emisiones y Transferencia de Contaminantes, realizado por la SEMARNAT, se toma a consideración que:
 1. Según la página de la SEMARNAT, “a partir del 2014, solo registra las emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero inferiores a 25,000 toneladas de CO₂ equivalente”.⁵⁶ Esto significa que, las emisiones reportadas por las diferentes industrias no reflejarían necesariamente la cantidad de contaminación que se genera en realidad, pero al no contar con más información sobre estas sustancias en específico no se tiene otra alternativa más que utilizarlas como instrumento.
- Sobre la variable de la estructura energética en México (cantidad de carbón que se utiliza para la generación de energía eléctrica) no se encontraron datos. Por lo tanto, se decide utilizar en su lugar la variable que provee la Secretaría de Energía sobre el consumo de energía eléctrica estatal.
- Las bases de población se tomaron de las proyecciones realizadas por la CONAPO. Con estos datos se transformaron las bases principales a datos per cápita, tales como las emisiones de CO₂e y el PIB; además de la base de consumo de energía eléctrica estatal y la construcción de la variable de densidad poblacional.
- La variable de densidad poblacional se construyó con base en los datos de extensión territorial de los estados publicada por el INEGI.⁵⁷
- Sobre la variable de apertura comercial, estas son sus particularidades:
 1. Los datos sobre exportaciones anuales estatales son los publicados por el INEGI, expresados en millones de dólares.⁵⁸
 2. No fue posible encontrar datos sobre las importaciones de cada estado de manera anual ni en el periodo requerido, por lo que se opta por utilizar los datos sobre exportaciones de USA a México publicados por el Bureau of transportation statistics, como variable representativa de las importaciones de México.⁵⁹

56 Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC). <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/registro-de-emisiones-y-transferencia-de-contaminantes-retc>

57 INEGI. https://www.inegi.org.mx/inegi/spc/doc/internet/1-geografiademexico/man_refgeog_extterr_vs_enero_30_2088.pdf

58 INEGI. <https://www.inegi.org.mx/temas/exportacionesef/#Tabulados>

59 Bureau of Transportation Statistics. <https://www.bts.gov/>

3. Dado que ambas bases estaban en dólares, se utilizó el tipo de cambio peso-dólar reportado del Banco de México para cada año del periodo. Y, dado que, el tipo de cambio se reporta de manera diaria, se calculó el tipo de cambio promedio para cada año y convertir las bases a pesos mexicanos. Posteriormente se eliminó la inflación convirtiendo la serie a precios constantes del año 2013.

Una de las razones por las que se considera que en México no haya estudios más profundos por temas ambientales es por su corta y reciente historia sobre este tema, desde la creación de la SEMARNAP en 1994 han pasado solo 26 años. México no ha tenido un seguimiento duradero de la estimación y reporte de datos sobre gases de efecto invernadero; ni de otros temas como la estructura de la energía, etc.

Con la limitada obtención de datos y recortando a 12 años el periodo de estudio por las peculiaridades descritas en este apartado, se procede a explicar la estructura del modelo que será utilizado para la estimación de la relación entre las variables principales, así como la elasticidad-producto de las emisiones de GEI.

Especificación del modelo.

Una vez descritos los datos a utilizar, y las limitantes que estos presentan, en este apartado se explica la manera en la que estará estructurado el modelo de datos panel a estimar.

El primer objetivo de este modelo es estimar la elasticidad-producto de las emisiones de gases de efecto invernadero para México, medidas mediante el CO_{2e} total contabilizado por los reportes de las industrias del sector secundario. El segundo objetivo es encontrar la existencia de una CKA entre las emisiones de GEI y la producción de los estados de la república mexicana. Para estimar esta relación (si es que la hay) se integran en el modelo, la variante matemática de la variable de producción al cuadrado (PIB^2_{it}), que describe si la tasa de crecimiento de las emisiones de CO_{2e} crece (curva cóncava) o decrece (curva convexa) conforme la producción aumenta. Por lo que se espera que para el caso de México se encuentre una relación convexa, lo cual determinaría la existencia de una curva de forma U-invertida.

Ahora bien, en Kang (2015) se sostiene que las variables que más influencia tienen sobre el comportamiento de la Curva de Kuznets Ambiental, basado en diversos estudios, son: la Apertura Comercial (Al-Mulali et al., 2015; Pao and Tsai,2011), el Consumo de Energía (Al-

Mulali and Ozturk, 2015; Arouri et al., 2012) y la Densidad Poblacional. Además de la Urbanización, que según (Madlener and Sunak, 2011; Zhang et al., 2014) tendría una relación positiva con las emisiones de CO₂e.

Para la estimación de la relación existente entre el producto mexicano y las emisiones de CO₂e, se planea basarse en el modelo propuesto por Kang (2015). Sin embargo, para este caso el modelo ha sido adecuado a México sujeto a la disponibilidad de información publicada.

Se integran las variables de Apertura Comercial, Consumo de Energía y Densidad Poblacional, y una vez realizadas las modificaciones, el modelo (transformado en un log-log) para la estimación de la elasticidad-producto de las emisiones de GEI y la Curva de Kuznets Ambiental propuesto para este estudio queda como sigue:

$$\ln(ECO_{2it}) = \alpha_{it} + \beta_1 \ln(PIB_{it}) + \beta_2 \ln(PIB_{it}^2) + \beta_4 \ln(AC_{it}) \\ + \beta_5 \ln(CE_{it}) + \beta_7 \ln(DP_{it}) + \varepsilon_{it}$$

Donde ECO_{2it} representa las emisiones de GEI per cápita estatal, medidas en CO₂e, con base en lo publicado en el RETC. El PIB_{it} es el producto per cápita estatal que se obtuvo del Producto Interno Bruto Estatal (PIBE) publicado por el Banco de Información Económica del INEGI. Además, se añaden las siguientes variables, explicada ya su influencia sobre las emisiones de CO₂e, las cuales son: AC_{it} que se refiere a la apertura comercial como el porcentaje que representan las importaciones y exportaciones de los estados en el PIBE, el CE_{it} que representa el consumo de energía eléctrica per cápita de los estados. Por último, DP_{it} que es la densidad poblacional medida como la cantidad de personas por kilómetro cuadrado en el respectivo estado y ε_{it} es el término de error.

La estimación de este modelo se llevará a cabo en dos partes, siguiendo la metodología de datos panel. La primera parte consiste en estimar el modelo con el objetivo de obtener exclusivamente la elasticidad-producto de las emisiones de GEI para los estados mexicanos. La segunda parte consiste en estimar el modelo con el objetivo de encontrar la forma de la Curva de Kuznets Ambiental para el caso mexicano.

Adicionalmente, como complementación al estudio se estimarán los modelos utilizando en su lugar el PIB del sector secundario, para ver la relación que guardan las emisiones de GEI con la producción de este sector, particularmente.

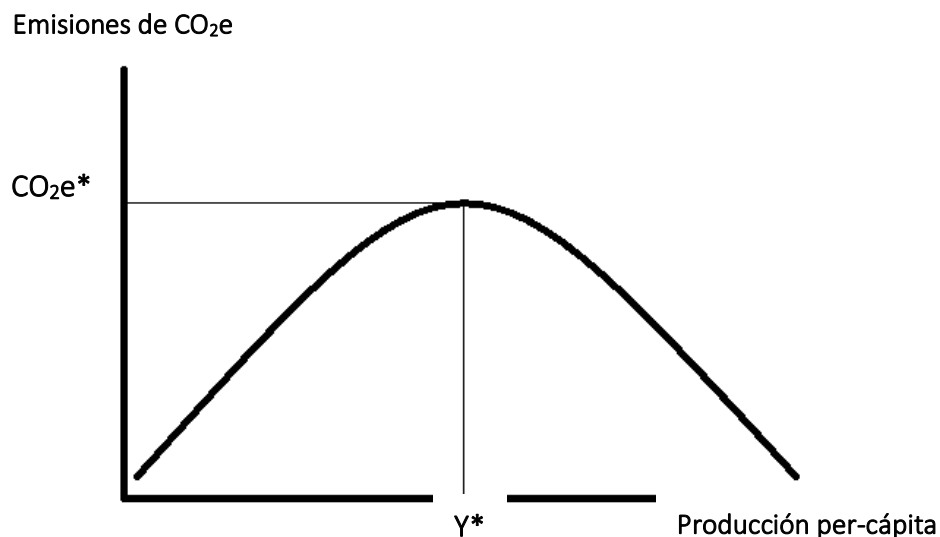
Una vez que se lleve a cabo la metodología necesaria para la estimación del modelo, los resultados servirán para obtener el objetivo más importante de este estudio, la elasticidad-producto de las emisiones de gases de efecto invernadero. Esto se explica a continuación.

La relación entre el PIB per cápita y las emisiones de GEI.

Uno de los puntos más estudiados para entender qué nivel de importancia juegan las emisiones de gases de efecto invernadero, y más particularmente las de CO₂, es su relación con la producción de los países. La estimación de modelos buscando la existencia de esta relación comúnmente se asocia a la búsqueda de una Curva de Kuznets Ambiental (CKA).

La hipótesis de la Curva de Kuznets Ambiental propone que existe una relación de forma convexa (U-invertida) entre la contaminación y el PIB per cápita en el largo plazo. Esta hipótesis implica que, si y solo si la producción per cápita alcanza un cierto nivel máximo, entonces eventualmente se compensarán los efectos ambientales negativos que se hayan generado en las etapas previas a este nivel máximo. Así, en el largo plazo y conforme la producción per cápita siga aumentando, esta será más beneficiosa para el medio ambiente, pues los daños provocados serán cada vez menores. Esto se ilustra en la Gráfica XV:

Gráfica XV. Curva de Kuznets Ambiental.



Fuente: Gráfica con fin ilustrativo.

En Sun (1999) se demuestra como la CKA se deriva de la teoría de la intensidad energética y deduce que, la CKA solo se ha producido en aquellos países donde se ha llegado a un pico de energía. En un país donde no se producen picos energéticos, la CKA sigue aumentando sus emisiones de CO₂ junto con el aumento del PIB per cápita. Además, que la mayoría de los países desarrollados se ubican en el lado derecho de la curva, y la mayoría de los países en desarrollo se ubican en el lado izquierdo.

Sin embargo, sostiene que la CKA es solo un reflejo de un patrón histórico de intensidad energética, no una guía para determinar cuándo el medio ambiente de un país comenzará a mejorar. En todos los pasos del desarrollo económico debería ser posible reducir la intensidad de las emisiones de CO₂.

Estimar esta relación brinda un análisis que abre las puertas al conocimiento indagatorio en cuanto a lo que el país debe tomar en cuenta para mejorar la calidad de vida de su población en cuestión de ciudades productoras más sustentables y ecológicas. Conocer la curva de Kuznets, o bien, saber en qué punto se encuentra el país ayudará a la implementación de mejores políticas energéticas y ambientales.

¿Estudio espacial o temporal? Un análisis de datos panel para el mejor ajuste.

El análisis de panel de datos es una metodología econométrica utilizada ampliamente en economía para analizar el comportamiento de diferentes individuos en un periodo de tiempo definido. Profundizando un poco en esta metodología se encuentran dos grandes ramas en las que se puede desarrollar un modelo de panel de datos. Por una parte, se puede hacer un estudio de panel de datos temporal. Dentro de este tipo de modelo lo que se busca principalmente es medir los factores que a través del tiempo afectan a las variables de interés.

Por otra parte, existe el análisis de estudio utilizando un panel de datos espacial que, también es relevante y utilizado para observar, además, los factores espaciales que afectan la estimación de los parámetros principales. Estos factores espaciales pueden deberse a las interacciones que tengan los individuos entre sí, en términos de cómo el comportamiento de unos pueda afectar a otros en sus estimaciones (spillover effects).

Hablando en contexto de este estudio, se considera interesante investigar si las emisiones de CO_{2e} del estado i pudieran verse afectadas por las emisiones de CO_{2e} del estado j . Es

decir, cabe la posibilidad de que exista una correlación espacial que pudiera afectar de manera significativa la contaminación de los estados entre sí.

Claro que esta metodología dependerá del comportamiento que tengan los estados a través del tiempo, y del contexto georreferencial entre ellos. Por ejemplo, existen factores naturales como las corrientes de viento y el posicionamiento geográfico de algunas ciudades del país que demuestran esto, como lo son Monterrey, Nuevo León y Saltillo, Coahuila. A simple vista, uno puede realizar el experimento y observar cómo es que las emisiones al aire que se generan en la ciudad de Monterrey afectan a la capital de Coahuila. Dada su cercanía y las corrientes de aire de oriente a poniente, se podría suponer que estas emisiones incrementan la concentración de gases en Saltillo, más se tendría que probar si este impacto fuera significativo.

Si bien primeramente la utilización de un modelo de panel de datos temporal puede servir para encontrar la relación de largo plazo entre las emisiones y el producto a través de la CKA, se pretende implementar el estudio mediante la utilización de un panel de datos espacial que, además de encontrar esta relación, mida los efectos de los factores espaciales entre los estados, si es que resultan significativos. Esto dependerá, claro está, de que el tipo de datos encontrados para el estado mexicano sean los adecuados, y después de hacer las debidas pruebas, las cuales se explicarán más adelante.

Modelos econométricos especiales y pruebas.

Al igual que como se propuso en Kang (2015), se han de realizar las pruebas necesarias para determinar, en el caso mexicano, la manera en la que el modelo se ajuste mejor a los datos ya sea por medio de datos panel espacial o temporal. En caso de que el modelo econométrico propuesto pueda ser analizado de manera espacial, existen ciertos modelos y procedimientos de prueba.

Siguiendo a Elhorst (2012), hay tres modelos básicos para datos panel espaciales que son utilizados para describir correlaciones espaciales:

1. El primer modelo es el modelo de retardos espacial (SLM, por sus siglas en inglés), en el cual se supone que el valor de la variable dependiente en una ubicación particular está parcialmente determinado por un promedio espacialmente ponderado de las variables dependientes vecinas (Zhao et al., 2014). Es decir, que las emisiones

de CO₂ en el estado i se ven afectadas por la situación de las emisiones de CO₂ de estados vecinos j . El modelo de retardos espacial se especifica como:

$$Y_{it} = \rho \sum_{j=1}^N W_{ij} Y_{jt} + \beta X_{it} + \mu_i + \eta_t + \varepsilon_{it}, \quad i = 1, \dots, N, t = 1, \dots, T$$

Donde Y_{it} es la variable dependiente del individuo i en el tiempo t . X es una matriz (NTxM) de variables independientes. El parámetro ρ es el coeficiente autoregresivo espacial, el cual refleja el grado de influencia de los factores espaciales sobre la variable dependiente. W_{ij} es el elemento matricial (NxN) de ponderación espacial. Al igual que en Kang (2015) se adopta la matriz de contigüidad binaria. Esto es, si el estado i y j son vecinos, el valor del elemento en la matriz es 1, de otra forma sería 0. Para ser coherentes con otras literaturas, se normaliza la matriz de acuerdo con la estandarización de filas para interpretar los efectos secundarios espaciales como un promedio de todos los estados vecinos. El término μ_i denota los efectos individuales específicos de las unidades espaciales. η_t representa el efecto específico en el periodo de tiempo. ε_{it} es un vector de errores de (NTx1) y sigue la regla i.i.d. $(0, \sigma^2)$.

2. Otra especificación para incorporar relaciones espaciales es a través de la dependencia espacial en el término de error, llamado modelo de error espacial que se refiere a una situación en la que los errores asociados con cualquier otra observación son un promedio ponderado espacialmente de los lugares cercanos más un componente del error aleatorio (Maddison, 2006). El modelo de error espacial es expresado de la siguiente manera:

$$Y_{it} = \beta X_{it} + \mu_i + \eta_t + \phi_{it}$$

$$\phi_{it} = \lambda \sum_{j=1}^N W_{ij} \phi_{jt} + \varepsilon_{it}$$

Donde ϕ_{it} representa el término de error auto correlacionado espacialmente. El término λ es el coeficiente de correlación espacial del término de error. Los otros parámetros son los mismos arriba mencionados.

3. La especificación del tercer modelo proporciona una función que contiene valores rezagados espacialmente, tanto de la variable dependiente como de las variables independientes. El modelo se conoce como el Modelo Durbin Espacial (SDM), que se especifica como:

$$Y_{it} = \rho \sum_{j=1}^N W_{ij} Y_{jt} + \beta X_{it} + \sum_{j=1}^N W_{ij} X_{jt} \gamma + \mu_i + \eta_t + \varepsilon_{it}$$

Donde γ es un vector (Mx1) de coeficientes de autocorrelación espacial de las variables independientes, y los otros parámetros son los mismos anteriormente explicados.

Debido a que se introdujo una matriz de ponderación espacial, los modelos econométricos espaciales generarán problemas de variables endógenas. Esto si los modelos econométricos espaciales son estimados mediante mínimos cuadrados ordinarios (OLS, por sus siglas en inglés). Por lo tanto, los modelos de datos panel espaciales son generalmente estimados por el método de máxima verosimilitud (Elhorst, 2012).

Cálculo de elasticidad-producto de las emisiones de gases de efecto invernadero en México.

El cálculo de una elasticidad, en general, es relevante en el sentido en el que permite conocer la magnitud de respuesta de las variables ante un impacto externo. Es decir, qué tanto responden las emisiones de CO_{2e} ante aumentos en los niveles de producción estatales.

Para este caso en particular, es necesaria conocer tanto la relación de largo plazo y, la magnitud de cambio de las emisiones de GEI ante aumentos o decrementos el PIB de los estados. Y es importante, ya que este conocimiento puede propiciar herramientas de política pública útiles en la regulación de emisiones de gases de efecto invernadero a lo largo del país.

Una vez estimado el modelo de datos panel y obtenidos los resultados principales, se calculará la elasticidad-producto de las emisiones de GEI para México basándose en la siguiente ecuación de elasticidad:

$$\omega_{it} = \Delta\%ECO_{2it} / \Delta\%PIB_{it}$$

Donde ω_{it} representa la elasticidad-producto de las emisiones de GEI, medidas en CO₂e. Y, donde $\Delta\%ECO_{2it}$ y $\Delta\%PIB_{it}$ representan el cambio porcentual de las emisiones de GEI y el cambio porcentual en el PIB per cápita estatal, respectivamente. Es decir, esta elasticidad representa que, un cambio (aumento o decremento) del 1% en la producción del estado i en el tiempo t , impactará en un cierto porcentaje las emisiones de GEI emitidas en ese estado en el tiempo t .

Dentro del contexto económico, el cálculo de la elasticidad-producto de las emisiones de GEI será de utilidad en el sentido en el que se busca conocer cuál es el grado de responsabilidad que tiene principalmente las industrias del sector secundario en la generación de emisiones (expresadas en CO₂e).

En particular, se busca que los principales agentes económicos responsables no abusen de la generación de contaminación más allá de lo que sea permisible por las regulaciones y que permita vivir a los habitantes en condiciones ambientales más sanas. Como ejemplo de lo estimado sobre estas elasticidades, en Conte (2013) encuentran que para países desarrollados la elasticidad de las emisiones de gases de efecto invernadero respecto a la producción de los países en promedio es de 1.11; mientras que para países en vías de desarrollo (incluyendo a México) es de 0.85. Tomando esto como referencia, “una pequeña elasticidad en la oferta significa que los vendedores no tienen buenas alternativas para producir este bien (en este caso las emisiones) en particular”.

En México, la participación del sector secundario en el Producto Interno Bruto es de 28.74%. Es decir, su presencia es importante dentro de las diversas condiciones sociales y económicas que generan; pero también de las emisiones que emiten. Por otra parte, se considera que en México aún no hay una visión clara de cómo implementar leyes de naturaleza ambiental que regulen las emisiones de gases de cualquier tipo de fuente de origen; que obliguen y fomenten en los productores, empresas y ciudadanos el buscar maneras más eficientes de producir, generar, distribuir y consumir los bienes y servicios. Ya que, de otra

manera, la industria mexicana no se sentirá presionada de algún modo a innovar tecnológicamente sus procesos productivos, ajustar su estructuración de costos, o cambiar el comportamiento cotidiano que ha llevado a vivir la realidad de estas condiciones climatológicas mundiales.

CAPÍTULO CUATRO. Resultados encontrados sobre las emisiones de GEI per cápita en los estados mexicanos.

Estadísticas descriptivas de los datos.

En este capítulo se mostrarán los resultados obtenidos una vez que se hicieron los análisis por medio de la metodología de datos panel estático y espacial. Primeramente, se muestra la descripción de las variables utilizadas para este estudio, su definición y la unidad de medida de cada una.

Tabla V. Definición de las variables utilizadas en el estudio en el periodo de 2007-2018.⁶⁰

<i>Variable</i>	<i>Definición</i>	<i>Unidad de medida</i>
Emisiones de GEI per cápita (ECO ₂)	Emisiones de CO ₂ e divididas por la población estatal	Toneladas
PIB per cápita (PIB)	Producto Interno Bruto dividido por la población estatal	Pesos constantes al año 2013
PIB del sector secundario per cápita (PIBss)	Producción del sector secundario dividido por la población estatal	Pesos constantes al año 2013

⁶⁰ Cabe señalar que para el análisis todas las variables se transformaron a logaritmos naturales.

Apertura comercial (AC)	Porcentaje de la suma de las exportaciones y las importaciones respecto al PIB estatal	Porcentaje
Consumo de energía eléctrica per cápita (CE)	Consumo de energía eléctrica dividido por la población estatal	Giga watts por hora
Densidad Poblacional (DP)	Cantidad de habitantes por kilómetro cuadrado	Personas/km ²

Fuente: Elaboración propia.

Una vez recopilados los datos y construidas las variables que se utilizaron para la estimación del modelo, se muestran las siguientes estadísticas descriptivas para cada una de ellas.

Tabla VI. Estadísticas descriptivas de las variables recopiladas para México.

<i>Variable</i>	<i>Min.</i>	<i>1er cuarto</i>	<i>mediana</i>	<i>media</i>	<i>3er cuarto</i>	<i>Max.</i>
ECO₂	0.00	0.46	1.27	2.96	2.75	62.29
PIB	\$49,192	\$89,982	\$115,840	\$150,359	\$162,386	\$1,196,689
PIB_{ss}	\$9,757	\$25,362	\$33,809	\$64,881	\$55,254	\$1,109,805
AC	0.03%	1.42%	4.93%	12.21%	15.57%	110.83%
CE	0.0005	0.0014	0.0018	0.0021	0.0028	0.0044
DP	7.47	35.40	58.97	295.92	142.90	6,045.43

Fuente: Elaboración propia.

Se encontraron, entre otras cosas, que en promedio una persona en México emite al aire 2.96 toneladas de CO₂e por año, y alcanzando un máximo de hasta 62.29 toneladas al año durante el periodo de estudio. Por otro lado, se tiene que, en promedio, una persona genera \$150,359 pesos en cada estado al año, mientras que el promedio es de \$64,881 pesos si solo se contempla el PIB del sector secundario, para el periodo de estudio. Además, según los datos, en promedio una persona consume 0.0021 giga watts por hora, que equivalen a 2,100,000 watts. Por otro lado, la apertura comercial representa, en promedio, el 12.21% del producto de los estados. Y, por último, la densidad poblacional promedio se presenta en 296 personas por kilómetro cuadrado. A continuación, se muestran los principales resultados obtenidos con los datos presentados para México.

Emisiones de GEI per cápita vs PIB per cápita.

A lo largo de este trabajo se busca llegar a una aproximación de la manera en la que se han comportado las emisiones de GEI per cápita, medidas en CO₂e, en el territorio mexicano en el periodo comprendido entre 2007 y 2018.

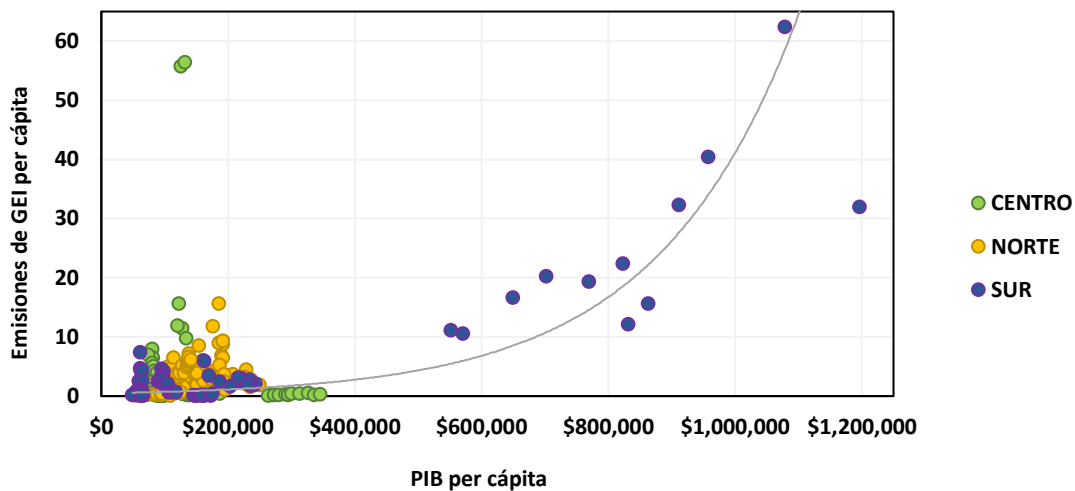
La relación de principal interés es la que existe entre el Producto Interno Bruto per cápita y las emisiones de GEI per cápita. En capítulos anteriores se mostraba la descripción de lo que era la Curva de Kuznets ambiental, la cual, según la teoría se espera que tenga forma de U-invertida. Se explicaba que cuando un país lograba un incremento de su PIB más allá de la cima de la curva, significaba que habían logrado desarrollarse a un nivel en el que los procesos productivos se volvían eficientes y que con el incremento en el producto se generaban emisiones a tasas cada vez más bajas. Por el contrario, se explicaba que los países que se encontraban en la parte inicial de la curva, antes de siquiera llegar a la cresta, eran países que por lo general estaban en desarrollo, y en donde los procesos productivos no eran lo suficientemente eficientes, en el sentido en el que guardaban una relación positiva con la generación de emisiones.

Analizando los datos en el periodo del 2007 al 2018 de las emisiones de GEI per cápita y del PIB per cápita se obtiene un primer vistazo que se presenta en la gráfica XVI.

A primera instancia, la relación entre las dos variables parece no estar cerca de asemejarse a una U invertida, sino que puede apreciarse una relación positiva entre ellas.

Se encontró que, en lo particular, el estado de Campeche reportaba cantidades muy por arriba del promedio para todos los años. Dado que las variables utilizadas son per cápita, esto explica que, en ese estado la cantidad de emisiones reportadas, promediadas por la poca población que no superó el millón de habitantes en el periodo fuera mucho mayor que los otros estados.

Gráfica XVI. Relación de las emisiones de CO₂e per cápita vs el PIB per cápita en México, 2007-2018.



Fuente: Elaboración propia.

Nota: En la gráfica los estados están catalogados por regiones: norte, centro y sur.

Como se observa en la gráfica XVI, la mayor parte de las observaciones están por debajo de los \$250,000 pesos en cuanto a PIB per cápita, y por debajo de las 10 toneladas de emisiones de CO₂e per cápita al año.

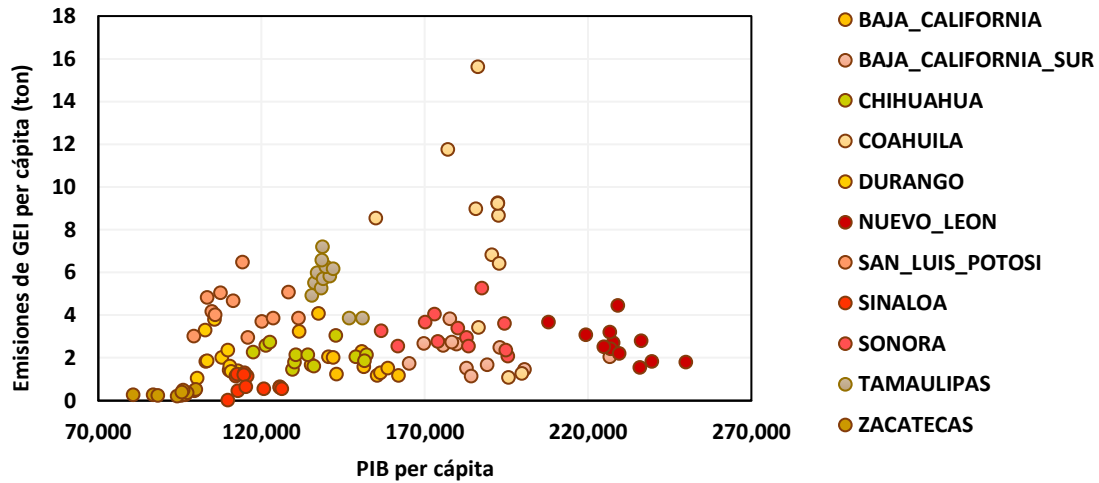
Adicionalmente, se presentan las siguientes gráficas clasificando a los estados en tres regiones: Norte, Centro y Sur, para lograr así, una mejor apreciación de la evolución de las emisiones de GEI per cápita a través de los años.

Los estados que conforman la región norte son: Baja California, Baja California Sur, Chihuahua, Coahuila, Durango, Nuevo León, San Luis Potosí, Sinaloa, Sonora, Tamaulipas y Zacatecas.

Los estados que conforman la región centro del país son: Aguascalientes, CDMX, Colima, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Morelos, Nayarit, Puebla, Querétaro y Tlaxcala.

Y los estados que se consideraron como región sur del país son: Campeche, Chiapas, Guerrero, Oaxaca, Quintana Roo, Tabasco, Veracruz y Yucatán.

Gráfica XVII. Evolución de las emisiones de GEI per cápita en los estados de la región Norte.



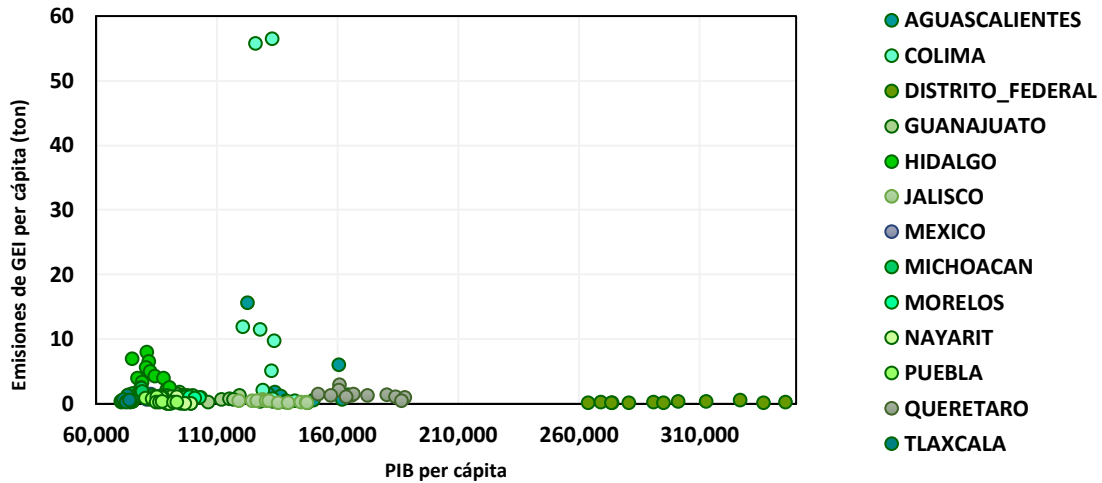
Fuente: Elaboración propia.

En la región norte, Coahuila fue el estado que, en 2011, registró la cantidad más alta de emisiones per cápita con 15.61 toneladas de CO₂e al año. Por otra parte, Zacatecas se mantuvo como uno de los más bajos durante el periodo de estudio, tanto en emisiones (0.37 toneladas) per cápita al año, como con PIB per cápita (95,789 pesos).

Nuevo León por su parte, osciló siempre por debajo de las 5 toneladas de CO₂e por persona al año, además de que fue el estado con mayor PIB per cápita de la región con 250,000 pesos alcanzados en 2018.

En general, los estados del norte se mantuvieron por debajo de las 10 toneladas de CO₂e per cápita en el periodo estudiado.

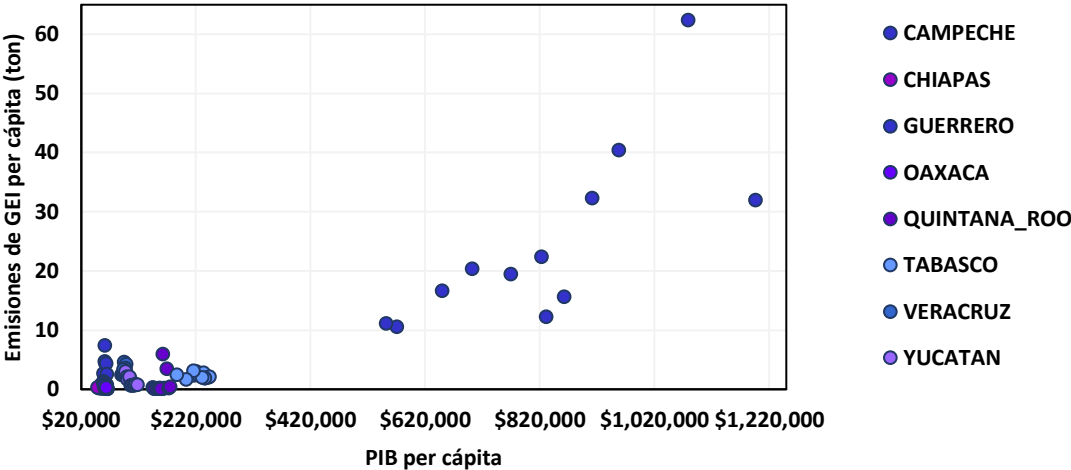
Gráfica XVIII. Evolución de las emisiones de CO₂e per cápita en los estados de la región Centro.



Fuente: Elaboración propia.

En la región centro del país se encuentran estados relativamente menos contaminantes en términos per cápita. Es una zona en la que la mayoría de las observaciones se mantienen por debajo de las 2 toneladas de GEI por habitante, pero también es la región en donde la mayoría de los estados tienen un PIB per cápita menor a los 150,000 pesos a lo largo del periodo. Colima, en 2010 y en 2011, fue el estado que alcanzó más de las 50 toneladas emitidas de GEI per cápita. Por otra parte, dada la alta densidad poblacional de la CDMX, se tiene que esta fue una de las menores cantidades de CO₂e emitidas en 2018 con 0.21 toneladas por habitante y la ciudad con el mayor PIB per cápita reportando 345,826 pesos en 2018.

Gráfica XIV. Evolución de las emisiones de CO₂e per cápita en los estados de la región Sur.



Fuente: Elaboración propia.

Por último, los estados de la región del sur presentan, en su mayoría, emisiones de GEI per cápita por debajo de las 5 toneladas al año, y donde la totalidad de los estados están por debajo de los 250,000 pesos per cápita, con excepción de Campeche, que es el estado que durante todo el periodo se mantiene como un estado con observaciones muy por encima del promedio de la región, presentando cantidades por arriba de las 10 toneladas per cápita y hasta las 60 toneladas, y sesgando la muestra dándole esa relación positiva más marcada a las emisiones y el PIB per cápita.

Correlación y multicolinealidad en las variables.

La Tabla VII muestra los coeficientes de correlación de las variables. La mayoría de los coeficientes de correlación son bajos o moderados. La variable de emisiones de GEI presenta una correlación moderada y significativa con el PIB per cápita, así como la apertura comercial, el consumo de energía y la densidad poblacional.

Para probar si existe una multicolinealidad significativa, se usa la prueba del factor de inflación de la varianza (VIF). Se obtuvo un rango de datos que va de 1.24 a 3.07, con un valor medio de 1.85. Los valores del VIF son menores todos a 10 por lo que, según la teoría, indican que no hay multicolinealidad entre las variables.

Tabla VII. Matriz de coeficientes de correlación y prueba VIF.

<i>Variables</i>	<i>VIF</i>	<i>ECO₂</i>	<i>PIB</i>	<i>PIBss</i>	<i>AC</i>	<i>CE</i>	<i>DP</i>
<i>ECO₂</i>		1					
<i>PIB</i>	1.386	0.324***	1				
<i>PIBss</i>	1.247	0.514***	0.818***	1			
<i>AC</i>	2.251	0.203***	0.430***	0.527***	1		
<i>CE</i>	3.079	0.321***	0.683***	0.600***	0.623***	1	
<i>DP</i>	1.323	-0.325***	-0.228***	-0.215***	-0.023	-0.370***	1

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos recopilados.

Datos atípicos de la muestra.

Una de las limitantes dentro de esta investigación fue la recopilación de datos precisos para el estudio. Si bien los datos requeridos eran un registro histórico de emisiones de gases de efecto invernadero estatal, no hay muchas fuentes públicas disponibles que contengan esta información de manera precisa. La fuente utilizada fue el Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC) de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) que tiene datos disponibles desde el 2004. Estos datos corresponden a emisiones de sustancias listadas en la NOM-165-SEMARNAT-2013, que son generadas por los establecimientos sujetos a reporte conforme al marco legal vigente, los cuales se describieron en el capítulo anterior.

Una vez que se indagó en los datos requeridos y se transformaron las variables, se notó que había ciertos datos que se alejaban del promedio de manera considerable, por lo que, por medio de la “distancia de Cook”, se identificaron como atípicas aquellas observaciones que fueran tres veces mayores a la media. Fueron 25 las observaciones que se identificaron como atípicas. Sin embargo, para las consecuentes estimaciones econométricas de datos panel se consideró tomar en cuenta a todas las observaciones para el análisis, ya que eliminarlas pudiera provocar un sesgo en la estimación del comportamiento y de los cálculos, tanto de la elasticidad-producto de las emisiones de GEI, como de la estimación de la CKA.

Resultados de la estimación.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de la estimación del modelo elegido y descrito en el capítulo anterior. Los resultados que se presentan de la siguiente manera:

- Se tomaron en cuenta dos tipos de análisis de datos panel, uno espacial y uno no espacial. El análisis de datos panel estándar se utiliza para calcular la elasticidad-producto de las emisiones de GEI; los resultados fueron obtenidos por medio de la metodología de efectos fijos de tiempo según la prueba de Hausman. Por otro lado, el análisis por medio de datos panel espacial se realiza principalmente para estimar la relación entre las emisiones de GEI per cápita y la producción, es decir, la CKA. Se realizó primeramente el análisis exploratorio espacial de datos y, una vez comprobada una relación espacial de las variables de interés, los resultados se estimaron por medio del modelo espacial de Durbin, dado que fue elegido el mejor modelo, y así mismo, por medio de efectos fijos de tiempo.
- En ambos análisis se presentan dos modelos, uno considerando solo la variable de PIB per cápita, y otro considerando también la variable de PIB per cápita al cuadrado. Esto se hizo para comparar las elasticidades y verificar qué tanto los factores espaciales modifican la cuantía del impacto que un aumento en la producción tiene en el aumento en las emisiones de GEI.
- Para cada caso también, se integra un análisis adicional al cambiar la variable de PIB per cápita, por la variable de PIB per cápita del sector secundario. Esto con la finalidad de observar el contraste de la elasticidad que se obtiene cuando se considera una producción general a una específica del sector secundario, que es donde se reportan las emisiones de gases de efecto invernadero. Esto también sirve para observar en sí, la magnitud en la que este sector en específico pudiera estar participando en la emisión de gases contaminantes del aire.

La elasticidad-producto de las emisiones de gases de efecto invernadero en México.

El cálculo de la elasticidad-producto de las emisiones de gases de efecto invernadero para los estados mexicanos fue planteado principalmente para tener un acercamiento más certero a la realidad del impacto que se puede estar generando en la contaminación ambiental en cada región y estado, como respuesta de la producción per cápita. Particularmente se toma en cuenta la contaminación del aire, y específicamente las emisiones de gases de efecto invernadero, puesto que se pueden contabilizar como CO₂ equivalente. Con este cálculo se

pretende dar a los estados mexicanos una idea de la cantidad de emisiones que genera cada uno al medio ambiente dadas las cifras de su producción y emisiones, y los ajustes que pudieran hacer en caso de que las emisiones que generan fueran más altas que en otros estados; y de ser necesario el caso en el que se deban implementar políticas ambientales estatales o federales, lo cual sería lo más recomendable dadas las circunstancias mundiales en los últimos años.

La fórmula planteada para el cálculo de la elasticidad-producto de las emisiones de GEI fue la siguiente:

$$\omega_{it} = \Delta\%ECO_{2it} / \Delta\%PIB_{it}$$

La cuál describe el aumento (o reducción) porcentual en las emisiones de gases de efecto invernadero, medidas en CO₂e per cápita, ante un aumento (o reducción) porcentual de 1% en el PIB per cápita para cada estado.

Para la estimación de la elasticidad se siguió una metodología de datos panel estándar (no espacial) y se obtuvieron los resultados tomándose del enfoque de efectos fijos de tiempo como el mejor.⁶¹ Al realizar la estimación por medio de este análisis se detectó un problema de autocorrelación. Para corregir este último, como lo sugiere la teoría clásica, se integró al modelo el primer rezago de la variable dependiente. Con esto el modelo no sería más un modelo de datos panel estático, sino que sería uno dinámico.

El modelo propuesto inicialmente se tendría que modificar para quedar como sigue:

$$\ln(ECO_{2it}) = \alpha_{it} + \beta_1 \ln(PIB_{it}) + \beta_2 \ln(PIB_{it}^2) + \beta_3 \ln(AC_{it}) \\ + \beta_4 \ln(CE_{it}) + \beta_5 \ln(DP_{it}) + \beta_6 \text{lag}(ECO_{2it}) + \varepsilon_{it}$$

Al realizar, las estimaciones de los modelos de datos panel se observó que al integrar la variable de PIB_{it}^2 , esta tenía un efecto significativo solo en el caso de datos panel con efectos fijos, pero su correspondiente variable lineal tomaba un valor negativo.

⁶¹ Las demás estimaciones y la prueba de Hausman pueden consultarse en el Anexo.

Estos resultados, a primera instancia, sugerirían que la relación entre las emisiones y el PIB tendría una forma de U o curva convexa. Sin embargo, para este análisis, nos enfocaremos solo en el coeficiente de la variable PIB_{it} lineal. Además, como se mencionó, se presentan cuatro diferentes escenarios en la estimación:

1. Considerando el PIB per cápita global.
2. Considerando el PIB per cápita global, e incluyendo PIB_{it}^2 .
3. Considerando el PIB per cápita solo del sector secundario.
4. Considerando el PIB per cápita solo del sector secundario, e incluyendo PIB_{it}^2 .

Tabla VIII. Resultados de la estimación por medio de datos panel (no espacial) con efectos fijos.⁶²

<i>Variables</i>	<i>Análisis de panel de datos con efectos fijos de tiempo (no espacial)</i>			
<i>Variable dependiente:</i> <i>ECO₂</i>	MODELO (1)	MODELO (2)	MODELO (3)	MODELO (4)
<i>PIB</i>	0.435 * (0.198)	-16.921 * (7.618)	0.437 *** (0.129)	-1.521 (2.529)
<i>PIB²</i>		0.705 * (0.309)		0.086 (0.111)
<i>AC</i>	0.166 * (0.076)	0.184 * (0.076)	0.133 ' (0.073)	0.161 ' (0.082)
<i>CE</i>	-0.246 (0.309)	0.440 (0.430)	-0.159 (0.278)	-0.072 (0.300)
<i>DP</i>	-0.139 ' (0.076)	-0.071 (0.081)	-0.089 (0.074)	-0.078 (0.075)
<i>LAGECO₂</i>	0.610 *** (0.042)	0.590 *** (0.043)	0.578 *** (0.044)	0.576 *** (0.044)
<i>R²</i>	0.47	0.48	0.48	0.48

Fuente: Estimaciones obtenidas a partir de los datos recabados.

Obtenidas las estimaciones de la regresión se encuentra que la elasticidad-producto de las emisiones de gases de efecto invernadero para México es:

Notas: Los datos entre paréntesis corresponden a las desviaciones estándar.

62 El símbolo ' denota $p < 0.1$. * denota $p < 0.05$. ** denota $p < 0.01$. *** denota $p < 0.001$

$$\omega = 0.435$$

La cuál resulta ser igual a la elasticidad-producto de las emisiones de gases de efecto invernadero para la producción del sector secundario:

$$\omega_{ss} = 0.437$$

Estos resultados son similares con lo encontrado por Conte (2013) en donde encontró una elasticidad para el caso de México de 0.85.⁶³ Dado que México sigue siendo catalogado como un país en vías de desarrollo, era incierto esperar que la elasticidad entre emisiones y producción no estuviera por debajo de una elasticidad unitaria.

Para ser más precisos, las estimaciones proponen que, en promedio ante un aumento del PIB per cápita en un 1%, se genera un aumento de las emisiones per cápita de gases de efecto invernadero, contabilizadas como CO₂e, en 0.43 toneladas per cápita y, de igual manera, cuando se habla solo de la producción del sector secundario.

En el caso de la apertura comercial, los resultados indican que, para el caso de México, esta tiene un efecto positivo en las emisiones de GEI. Esto quiere decir que, para aumentos del 1% en la apertura comercial, permaneciendo todo lo demás constante, provocaría un aumento de las emisiones de GEI per cápita en 0.16 y 0.13, en caso de tomar en cuenta solo el PIB del sector secundario. Por último, las estimaciones respecto al consumo de energía eléctrica y densidad poblacional resultaron poco o nada significativos en ninguno de los modelos estimados.

México debe seguir en el camino de buscar una reducción conjunta de las emisiones de GEI en todos los sectores de la economía, a través de la conciencia individual, la implementación de políticas y la mejora en la eficiencia de los procesos productivos. Como lo menciona Gutiérrez (2019) donde, tomando en cuenta la elasticidad-producto estimada para México, encuentra que la implementación del impuesto a los combustibles fósiles en un ejercicio para 2018, ayuda a internalizar los costos ambientales y que implica un beneficio ambiental de 1,583 giga gramos de CO₂e. Y, en el que menciona, que a pesar de que México se encuentra en una situación mejor que el promedio de los países en vías de desarrollo, aún

63 Conte Grand, M., & D'Elia, V. (2013). Using the Box-Cox transformation to approximate the shape of the relationship between CO₂ emissions and GDP: A note. Universidad del CEMA, No. 513.

faltan mejoras que permitan al país reducir aún más la contaminación del aire, y asemejarse más a aquellos países que desarrollan una economía más sustentable.

En general, el resultado sobre la elasticidad-producto de las emisiones de GEI encontrada en este estudio se deja como una herramienta que da pie para la elaboración de más investigaciones que permitan a México mejorar las medidas tomadas en temas ambientales y económicos.

La estimación de la Curva de Kuznets Ambiental para México.

Este segundo análisis corresponde a la estimación de la CKA por medio de una metodología de datos panel espacial, es decir, se tomarán en cuenta los factores espaciales, entre estados, que pudieran afectar el comportamiento de las emisiones de GEI de un estado en específico.

Al dar seguimiento al análisis exploratorio espacial de datos (ESDA), se calculó el índice de Moran para la variable de emisiones de GEI, así como, para cada una de las variables explicativas para cada año del periodo de estudio. Las estimaciones se presentan en la siguiente tabla:

Tabla IX. Indicador Global de autocorrelación espacial.

<i>Variable</i>	<i>ECO₂</i>	<i>PIB</i>	<i>AC</i>	<i>CE</i>	<i>DP</i>
<i>Año</i>	<i>Global Moran's I</i>				
2007	-0.077 (0.627)	0.189** (0.032)	0.062 (0.218)	0.138* (0.090)	0.390*** (0.001)
2008	0.047 (0.146)	0.193** (0.029)	0.002 (0.370)	0.156* (0.070)	0.389*** (0.001)
2009	-0.134 (0.797)	0.201** (0.025)	-0.051 (0.543)	0.177** (0.051)	0.389*** (0.000)
2010	0.025 (0.252)	0.187** (0.032)	-0.002 (0.390)	0.148* (0.076)	0.388*** (0.000)
2011	0.024 (0.241)	0.189** (0.032)	0.021 (0.314)	0.154* (0.074)	0.388*** (0.000)
2012	0.063 (0.128)	0.187** (0.038)	0.050 (0.251)	0.167* (0.063)	0.387*** (0.000)
2013	0.062 (0.115)	0.186** (0.037)	0.069 (0.205)	0.161* (0.065)	0.387*** (0.001)
2014	0.039 (0.271)	0.180** (0.038)	0.056 (0.230)	0.162* (0.069)	0.386*** (0.000)
2015	0.183**	0.177**	0.036	0.178**	0.386***

	(0.034)	(0.044)	(0.283)	(0.052)	(0.001)
2016	0.174** (0.053)	0.171** (0.048)	0.003 (0.375)	0.200** (0.041)	0.385*** (0.000)
2017	0.080 (0.176)	0.159* (0.066)	-0.030 (0.474)	0.205** (0.037)	0.384*** (0.001)
2018	0.210** (0.025)	0.149* (0.072)	-0.010 (0.410)	0.195** (0.041)	0.383*** (0.001)

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos recopilados.

Con los resultados estimados por el Índice de Moran existe una justificación significativa de una autocorrelación espacial en la variable dependiente en los años 2013, 2015, 2016 y 2018; así como una justificación significativa para las variables explicativas. Por lo tanto, se procedió a seguir un análisis por medio de un modelo de datos panel espacial.

Se presentan, además, los mapas que describen las variables principales en este estudio que son las emisiones de gases de efecto invernadero y el producto interno bruto, según la significancia de los indicadores locales de autocorrelación espacial (LISA, por sus siglas en inglés) para ambas variables, así como, los gráficos de dispersión del Índice de Moran, y su evolución a través de los años 2007, 2013 y 2018. Estos se presentan en los gráficos XV y XVI, respectivamente.

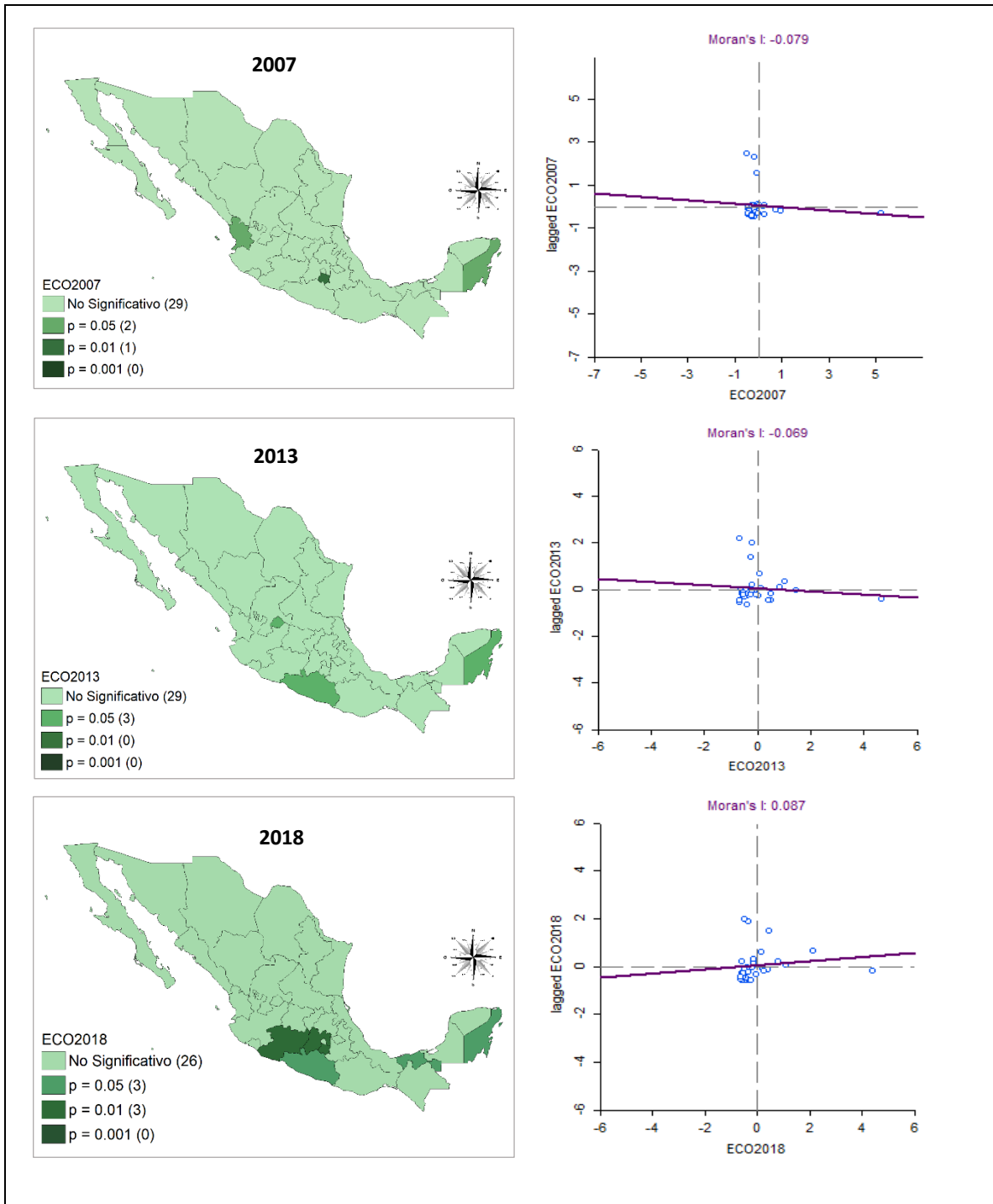
Una vez comprobada la autocorrelación espacial, y realizadas las pruebas LM correspondientes, se decidió utilizar la especificación del Modelo Espacial de Durbin (SDM) descrita en el capítulo anterior y cuyos resultados se muestran en la Tabla X.

Se realizó la prueba de Hausman espacial para determinar qué efectos eran mejores entre los efectos fijos y los efectos aleatorios. La prueba de Hausman determinó que los efectos aleatorios se rechazan a un nivel de significancia del 10% (15.456, con 9 grados de libertad, $p < 0,07914$), lo que sugiere que los modelos con efectos fijos son especificaciones más apropiadas.⁶⁴

Gráfica XV. Índice local de Moran de las emisiones de GEI per cápita.⁶⁵

⁶⁴ Tabla disponible en el Anexo.

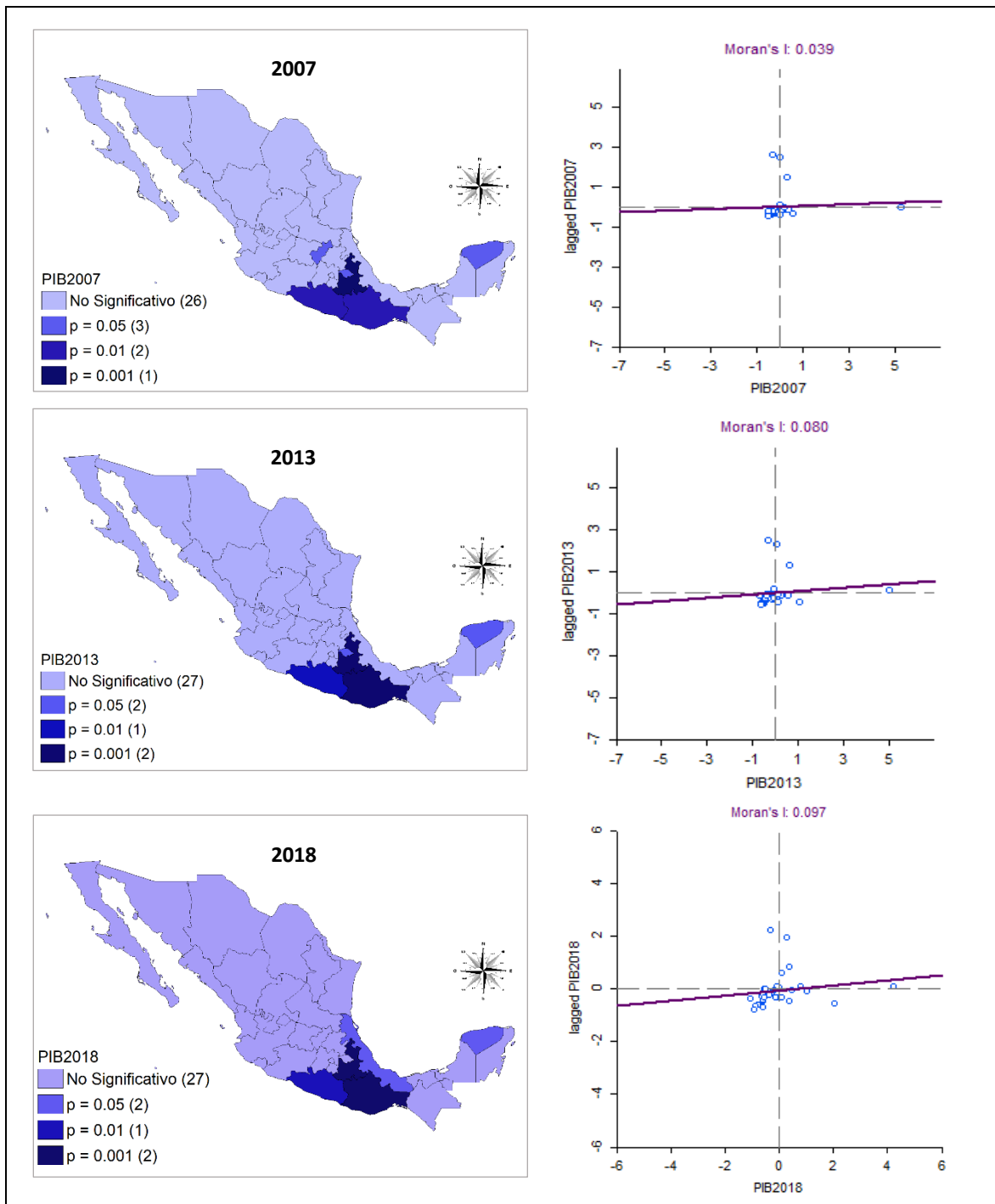
⁶⁵ Los mapas y gráficos de dispersión de Moran fueron elaborados en GeoDa. Las estimaciones LISA se realizaron utilizando el criterio contigüidad de tipo "Reina". La inferencia se basó en 1,000 permutaciones aleatorias.



Fuente: Elaboración propia con los datos obtenidos de INEGI y de la CONAPO.

Gráfica XVI. Índice local de Moran del PIB per cápita.⁶⁶

⁶⁶ Los mapas y gráficos de dispersión de Moran fueron elaborados en GeoDa. Las estimaciones LISA se realizaron utilizando el criterio contigüidad de tipo "Reina". La inferencia se basó en 1,000 permutaciones aleatorias.



Fuente: Elaboración propia con los datos obtenidos del RETC y de la CONAPO.

Tabla X. Resultados de la estimación de datos panel espacial por medio del Modelo Espacial de Durbin.⁶⁷

67 El símbolo ' denota $p < 0.1$. * denota $p < 0.05$. ** denota $p < 0.01$. *** denota $p < 0.001$

<i>Variables</i>	<i>Análisis de datos panel espacial con efectos fijos de tiempo</i>			
<i>Variable dependiente: CO₂</i>	MODELO (1)	MODELO (2)	MODELO (3)	MODELO (4)
PIB	0.894 *** (0.263)	-30.474 *** (8.640)	0.975 *** (0.139)	1.532 (3.098)
PIB²		1.272 *** (0.350)		-0.024 (0.136)
AC	0.163 (0.138)	0.246 * (0.123)	0.153 (0.104)	0.142 (0.118)
CE	0.193 (0.573)	1.260 * (0.579)	0.056 (0.398)	0.046 (0.406)
DP	-0.312 ' (0.162)	-0.161 (0.132)	-0.272 * (0.131)	-0.275 * (0.135)
slagPIB	-0.441 (0.803)	0.014 (0.780)	0.152 (0.739)	0.142 (0.766)
slagAC	-0.596 * (0.257)	-0.482 ' (0.252)	-0.365 ' (0.205)	-0.378 ' (0.223)
slagCE	2.457 * (0.982)	1.933 * (0.959)	1.498 ' (0.775)	1.535 ' (0.800)
slagDP	0.799 ** (0.272)	0.631 ** (0.239)	0.784 *** (0.229)	0.797 ** (0.243)
ρ (Coef. De correlación espacial de la variable dependiente)	0.068	0.084	-0.007	-0.011
λ (Coef. De correlación espacial de los residuales)	0.057	0.048	0.065	0.068

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos recopilados.

Los resultados estimados sobre la relación entre el PIB y las emisiones de GEI por medio de la metodología de datos panel espacial muestran que, primeramente, las elasticidades estimadas en el modelo 1 (PIB agregado) y modelo 3 (PIB del sector secundario) son 0.89 y 0.97, respectivamente. Como se observa la elasticidad se duplica, en incluso casi llega a la unidad con respecto a lo estimado por medio de datos panel estático, y sugiere que entre los estados se pudieran estar contemplando factores espaciales entre estas dos variables que afectan la relación que sostienen entre sí.

Las estimaciones obtenidas acerca del PIB per cápita y su respectiva variable elevada al cuadrado en el modelo 2 (PIB agregado) son significativas, demostrando que, si bien la relación entre esta variable y las emisiones de GEI no validan un comportamiento parecido a una Curva de Kuznets Ambiental, muestran una relación en forma de U o curva convexa, lo cual resulta completamente contrario a lo que dicta la teoría de la CKA, pero que tiene

cierto sentido dado que México aún está en una etapa muy temprana de concientización y de optimización de los procesos productivos para una mejora ambiental.

Esto puede sustentarse en estudios similares realizados para la región de América Latina y el Caribe, en donde se han realizado estudios comparativos entre países. Por ejemplo, en Sánchez (2019) se encontraron resultados, a través de una metodología de cointegración, que sugieren un incremento per cápita de las emisiones de CO₂ hasta el año 2030, año en el cual, proyectaron un descenso para esta región. Es decir, aún hasta 2016, se encontraron con que las emisiones de dicho contaminante iban en aumento.

En Zilio (2010) se realizó de igual manera, un estudio para países de la región de América Latina y el Caribe, y en donde, a través de estimaciones de Kernel, se encontró para México una relación en forma de U entre emisiones de GEI y PIB per cápita. Además, que en una estimación en conjunto con todos los países del estudio, se encontró, entre otros resultados, que presentaban un comportamiento con patrón exponencial, aunque afectado por observaciones atípicas en la muestra.

Por otra parte, para el modelo 4 (PIB del sector secundario) los resultados obtenidos sobre las variables del PIB si presentan una relación de forma de U invertida entre emisiones de GEI y la producción del sector secundario, sin embargo, estas estimaciones no son significativas.

En el caso de la apertura comercial, se reafirma el efecto positivo en las emisiones de GEI, aunque en este caso tales efectos ya no se muestran significativos. Sin embargo, su respectiva variable de rezago espacial, si muestra una significancia de al menos el 10% en sus efectos, pero estos efectos ahora muestran un signo negativo, es decir, que la apertura comercial de estados contiguos afecta de manera positiva la reducción de las emisiones de GEI de un cierto estado específico.

Así mismo, el consumo de energía eléctrica per cápita muestra efectos positivos, pero no significativos en las emisiones de GEI en ambos casos. Sin embargo, el rezago espacial de esta variable muestra que un aumento del 1% en el consumo de energía de estados contiguos aumenta las emisiones per cápita de un estado específico en más del 1% en los cuatro modelos presentados.

Por otra parte, la densidad poblacional muestra una relación inversa con las emisiones de GEI per cápita. El coeficiente de elasticidad de la densidad poblacional fue de -0.31 y, -0.27 contemplando solo el PIB del sector secundario. Esto puede atribuírsele a las denominadas

‘economías de aglomeración’, recordando que dentro de estas la producción es más barata debido a la agrupación de la actividad económica. Hablando específicamente en este contexto, se refieren a las eficiencias en los tiempos reducidos de traslado que realizan las industrias y los ciudadanos dentro de los estados debido a la cercanía entre ellos, ya sea para la comercialización de bienes, traslado de insumos o actividades diversas y, que siempre y cuando, existan conexiones viales óptimas dentro de las metrópolis o centros poblacionales que ayuden a que estos tiempos de traslado sean menores y emitan una menor cantidad de contaminantes al aire. Conforme esto sea más recurrente ayudará a impactar de manera positiva la reducción en las emisiones de gases de efecto invernadero y otros gases.

En general, se pueden enlistar los siguientes resultados principales:

- La elasticidad-producto de las emisiones de GEI para México, dados los resultados de la estimación de datos panel no espacial con efectos fijos de tiempo fue de 0.43 contemplando tanto el PIB agregado y el PIB del sector secundario. En cambio, la elasticidad estimada por medio de la metodología de datos panel espacial con efectos fijos de tiempo fue de 0.89 y de 0.97 al contemplar el producto solo del sector secundario. Las estimaciones sugieren que, de manera general, las emisiones de gases de efecto invernadero, medidas como CO₂e, aumentan de manera menor a la unidad con respecto al PIB per cápita. Mientras que, las emisiones aumentan a un ritmo mayor cuando se estiman por medio de un análisis espacial y cuando se toma en cuenta solo la relación con la producción del sector secundario.
- La Curva de Kuznets Ambiental para el caso de México, en el periodo de estudio, es de forma de U. Es decir, que conforme el PIB per cápita se incrementa, las emisiones de GEI per cápita crecen a una tasa cada vez mayor. Por lo tanto, para el periodo de estudio, en México no se cumple la teoría de la Curva de Kuznets Ambiental de forma U-invertida o forma de N, dado que se encuentra en una etapa muy temprana de corrección de medidas sobre la contaminación ambiental.
- Mientras que los resultados sobre la variable de la apertura comercial reflejan que esta juega un papel importante en cuanto al aumento de las emisiones de GEI, dado que muestra un signo positivo; las variables de consumo de energía per cápita y densidad poblacional muestran signos poco significativos o con significancia nula en

sus efectos, además muestran signos negativos, es decir indicarían un aporte importante en la reducción de las emisiones de GEI per cápita.

México debe promover enérgicamente el progreso de la urbanización, con conexiones cada vez más eficientes que ocasionen menos tiempos de traslado en sus principales zonas metropolitanas y así generar bajas emisiones de carbono, además de difundir ampliamente la aplicación de la tecnología de la arquitectura verde con el tema del ahorro de energía y la protección del medio ambiente para desarrollar ciudades verdes. Así mismo, incentivar a los sectores emisores de tomar en cuenta sus externalidades negativas, de forma que busquen vías más eficientes en sus procesos productivos en la producción de bienes.

Conclusiones.

La presente tesis se dividió en dos vertientes de interés que se centraron en el estudio de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), medidas en emisiones de CO₂e, que se tomaron de los reportes hechos por los establecimientos sujetos a jurisdicción federal y su relación con otras variables económicas, principalmente su relación con el producto interno bruto de los estados, así como con la producción del sector secundario y observar cual era la relación que guardaban estas variables entre sí, saber la magnitud y el sentido en la que esta relación se daba.

Para la primera vertiente, se encontró que la elasticidad-producto de las emisiones de GEI es menor a la unidad tanto para el PIB agregado como para el PIB del sector secundario, es decir, que los aumentos (disminuciones) en el PIB de los estados van más rápido que los aumentos (disminuciones) en las emisiones de GEI generadas. Dada la naturaleza con la que los datos fueron tratados en esta tesis, el resultado encontrado se representa como una elasticidad. La cual dice que, en promedio, un cambio en el PIB per cápita de 1%, genera un cambio del 0.43% en las emisiones de GEI per cápita, para ambos casos analizados. En el caso de llevar a cabo el cálculo a través de un análisis espacial las elasticidades encontradas son de 0.89% y de 0.97%, respectivamente. Esto significa que México es un país que, al menos hasta 2018, presenta una dinámica de mercado ligada positivamente con el incremento de la contaminación del aire. A pesar de que estas se incrementan en menor medida que el producto, los estados mexicanos aún no son capaces de revertir esta relación y buscar una economía eficiente ambientalmente.

Para la segunda vertiente de estudio, se propuso como teoría que la relación entre las emisiones de GEI y el PIB seguiría un comportamiento similar a una Curva de Kuznets Ambiental (CKA) con forma de U-invertida. Sin embargo, para el caso de México, los datos mostraron que la relación entre las variables guardaba un comportamiento en forma de U, es decir, de forma convexa. Es decir, los estados mexicanos en su conjunto están lejos de llegar a un punto máximo de producción per cápita la cual permita compensar los efectos ambientales negativos que se han venido generando en los últimos años a causa de la emisión de contaminantes del aire, en específico de GEI.

En conclusión, la situación hasta el 2018 entre las emisiones de GEI y la producción per cápita en México sugiere que la situación en México con la contaminación no prevé mejoras en el corto plazo incluso si quiera en el mediano plazo, sino que se tiene que seguir evaluando qué medidas serán las más eficientes para llevar a cabo, por el gobierno y el sector privado principalmente, para que la situación cambie. Puesto que, se debe asegurar una transformación que sea sustentable y sostenible a lo largo de los años, mejoras en la eficiencia de los procesos productivos de las empresas, cambiar el enfoque hacia la utilización de energías limpias como se ha venido insistiendo, y no solamente imposiciones monetarias mal enfocadas cuyas recaudaciones no impulsan a mejorar la situación ambiental y calidad del aire de las ciudades y, si fuera el caso el utilizar estas medidas, ,asegurarse que las recaudaciones no se desvíen hacia otros propósitos o sectores económicos.

El propósito de este trabajo fue encontrar una estimación más cercana sobre el impacto de la contaminación en la economía, conocer por medio de los datos la situación actual. Servir como base para futuras líneas de investigación, aumentar los estudios que se realizan para México en cuanto a emisiones de gases de efecto invernadero. Que las estimaciones aquí presentadas sirvan de base para nuevos cálculos a nivel estatal, en materia de políticas públicas ambientales, iniciativas privadas o académicas, y que sean más apegadas a la realidad, acorde al nivel de contaminación del que es responsable cada estado.

Bibliografía

Agency, E. E. (2019). Concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero.

Al-Mulali, U., & Ozturk, I. (2015). The effect of energy consumption, urbanization, tradeopenness, industrial output, and the political stability on the environmentaldegradation in the MENA (Middle East and North African) region. *Energy* 84,.

Al-Mulali, U., Tang, C., & Ozturk, I. (2015). Does financial development reduce environmental degradation? Evidence from a panel study of 129 countries. *Environ.Sci. Pollut. Res.* 22, 14891–14900.

Arouri, M., Ben Youssef, A., M'Henni, H., & Rault, C. (2012). Energy consumption, economic growth and CO₂ emissions in Middle East and North African countries. *Energy Policy* 45, 342–349.

Ballester, F., Díaz, J., & Moreno, J. (2006). Cambio climático y salud pública: escenarios después de la entrada en vigor del Protocolo de Kioto. Parte IV. Ecosalud y participación social, 160-174 pp.

Benavides Ballesteros, H., & León Aristizabal, G. (2007). Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM., 102pp.

Benavides Ballesteros, H., & León Aristizabal, G. (2007). Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático. Nota técnica del Instituto de Hidrología, Meteorológica y Estudios Ambientales, IDEAM, 102 pp.

Carballo Pou, M., & García Simón, J. (2017). Energías renovables y desarrollo económico. Un análisis para España y las grandes economías europeas. *EL TRIMESTRE ECONÓMICO*, vol. LXXXIV (3), núm. 335, 571-609 pp.

Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública, "Contexto internacional", en Medio ambiente [Actualización: 28 de agosto de 2006], en www.diputados.gob.mx/cesop/

Chaparro Mendivelso, J., & Meneses Arias, I. (2015). EL ANTROPOCENO: APORTES PARA LA COMPRESIÓN DEL CAMBIO GLOBAL. *Aracne REVISTA ELECTRÓNICA DE RECURSOS EN INTERNET SOBRE GEOGRAFÍA Y CIENCIAS SOCIALES*, Universidad de Barcelona, n° 203, [En línea].

CONAPO. (14 de Septiembre de 2018). Proyecciones de la Población de México y de las Entidades Federativas, 2016-2050 y Conciliación Demográfica de México, 1950 -2015. Obtenido de <https://www.gob.mx/conapo/acciones-y-programas/conciliacion-demografica-de-mexico-1950-2015-y-proyecciones-de-la-poblacion-de-mexico-y-de-las-entidades-federativas-2016-2050>

Consejo Económico y Social, N. (2019). Efectos a largo plazo de las tendencias actuales en las esferas económica, social y ambiental para la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Serie de sesiones de alto nivel: Reunión ministerial del foro político de alto nivel

sobre el desarrollo sostenible celebrado bajo los auspicios del Consejo Económico y Social, 18 pp.

Conte Grand, M., & D'Elia, V. (2013). Using the Box-Cox transformation to approximate the shape of the relationship between CO2 emissions and GDP: A note. Universidad del CEMA, No. 513.

Convención Marco de las Naciones Unidas. (1998). Protocolo de Kyoto.

Crippa, M., Guizzardi, D., Muntean, M., Schaaf, E., Solazzo, E., Monforti-Ferrario, F., Olivier, J.G.J., Vignati, E., Fossil CO2 emissions of all world countries - 2020 Report, EUR 30358 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2020, ISBN 978-92-76-21515-8, doi:10.2760/143674, JRC121460.

Diario Oficial de la Federación , C. (2004). Reglamento de la ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente en materia de registro de emisiones y transferencia de contaminantes.

Diario Oficial de la Federación , C. (1988). Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de prevención y control de la contaminación de la atmósfera.

Diario Oficial de la Federación, C. (1988). Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.

Diario Oficial de la Federación, C. (2000). Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de evaluación del impacto ambiental.

Diario Oficial de la Federación, C. (2012). Ley General de Cambio Climático.

Diario Oficial de la Federación, C. (2015). Acuerdo que establece los gases o compuestos de efecto invernadero que se agrupan para efectos de reporte de emisiones, así como sus potenciales de calentamiento.

D.O.F. (2014). Norma Oficial Mexicana NOM-165-SEMARNAT-2013. Obtenido de [http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5330750&fecha=24/01/2014#:~:text=NO RMA%20Oficial%20Mexicana%20NOM%2D165,emisiones%20y%20transferencia%20de%20contaminantes.](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5330750&fecha=24/01/2014#:~:text=NO%20RMA%20Oficial%20Mexicana%20NOM%2D165,emisiones%20y%20transferencia%20de%20contaminantes.)

D.O.F. (2014). REGLAMENTO DE LA LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE EN MATERIA DE PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN DE LA ATMÓSFERA. CÁMARA DE DIPUTADOS DEL H. CONGRESO DE LA UNIÓN, 1-23.

Elhorst, J. (2012). Matlab software for spatial panels. *Int. Reg. Sci. Rev.* 37, 389–405.

Gutiérrez Garza, J. (2019). Análisis del impuesto al carbono en México mediante modelos multisectoriales. Monterrey, Nuevo León. Facultad de Economía. Universidad Autónoma de Nuevo León.

INEGI. (Base 2013.). Banco de Información Económica. Obtenido de PIB por Entidad Federativa.: https://www.inegi.org.mx/programas/pibent/2013/#Datos_abiertos

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire.

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (2018). Contexto Internacional en materia de Cambio Climático.

Ize Lema, I. (2002). El cambio climático y la salud humana. *Gaceta Ecológica* No. 65, 43-52.

Jahangir Alam, M., Ara Begum, I., Buysse, J., Rahman, S., & Huylenbroeck, G. (2011). Dynamic modeling of causal relationship between energy consumption, CO2 emissions and economic growth in India. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15, 3243– 3251.

Kang, Y.-Q., Zhao, T., & Yang, Y.-Y. (2016). Environmental Kuznets curve for CO2 emissions in China: A spatialpanel data approach. Elsevier, 231–239.

Maddison, D. (2006). Environmental Kuznets curves: A spatial econometric approach. *J. Environ. Econ. Manag.* 51, 218–230.

Madlener, R., & Sunak, Y. (2011). Impacts of urbanization on urban structures and energy demand: What can we learn for urban energy planning and urbanization management? *Sustain. Cities Soc.* 1, 45–53.

Massa Sánchez, P., Ochoa Ordóñez, O., & Ochoa Moreno, W. (2018). Emisiones de CO₂, crecimiento económico y escolaridad: análisis subnacional para Ecuador. *Cienc Tecn UTEQ* (2018) 11(2) , 69-76.

Naciones Unidas, C. (2019). Efectos a largo plazo de las tendencias actuales en las esferas económica, social y ambiental para la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Serie de sesiones de alto nivel: Reunión ministerial del foro político de alto nivel sobre el desarrollo sostenible celebrado bajo los auspicios del Consejo Económico y Social, 18.

Nieto Sainz, J. (2005). Cambio climático y Protocolo de Kioto: efectos sobre el empleo, la salud y el medio ambiente. *ICE Protocolo de Kioto No. 822*, 25-38 pp.

NW, A. (2004). Climate change and global water resources: SRES emissions and socioeconomic scenarios. *Global Environmental Change (Part A)*, 14(1):3152.

Organización de las Naciones Unidas (1992). Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo.

Organization, W. M., & Global Atmosphere Watch. (No. 14 | 2018.). *The State of Greenhouse Gases in the Atmosphere Based on Global Observations through 2017*. WHO greenhouse gas bulletin, 8pp.

Oyarzún G., M. (2010). Contaminación aérea y sus efectos en la salud. *Rev Chil Enf Resp*. Artículo basado en una conferencia pronunciada en el 1er Congreso de Atención Primaria en Salud, 16-25 pp.

Pao, H.-T., & Tsai, C.-M. (2011). Multivariate Granger causality between CO₂emissions,energy consumption, FDI (foreign direct investment) and GDP (gross domesticproduct): Evidence from a panel of BRIC (Brazil, Russian Federation, India, andChina) countries. *Energy* 36, 685–693.

Pérez-Cirera, V., Schmelkes, E., López-Corona, O., Carrera, F., García Teruel, A., & Teruel , G. (2018). Ingreso y calidad del aire en ciudades. ¿Existe una curva de Kuznets para las emisiones del transporte en la Zona Metropolitana del Valle de México? *El Trimestre Económico*, vol LXXXV (4), núm. 340, 745-764 pp.

Rodríguez Bertheau, A., Martínez Varona, M., Martínez Rodríguez, I., Fundora Hernández, H., & Guzmán Armenteros, T. (2011). Desarrollo tecnológico, impacto sobre el medio ambiente y la salud. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 49(2):308-319 .

Romero Placeres, M., Diego Olite, F., & Álvarez Toste, M. (2006). La contaminación del aire: su repercusión como problema de salud. *Rev Cubana Hig Epidemiol*, 14 pp.

Ruiz Nápoles, P. (2011). Estimación de los costos relativos de las emisiones de gases de efecto invernadero en las ramas de la economía mexicana. *EL TRIMESTRE ECONÓMICO*, vol. LXXVIII (1), núm. 309, 173-191 pp.

Sánchez, L., & Caballero, K. (2019). La curva de Kuznets ambiental y su relación con el cambio climático en América Latina y el Caribe: un análisis de cointegración con panel, 1980-2015. *Revista de Economía del Rosario*, Vol. 22. No. 1, pags 101-142.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2014). NOM-165-SEMARNAT-2013.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Inventario Nacional de Emisiones de Contaminantes Criterio.

Secretaría de Relaciones Exteriores (2015). México en el Sistema de las Naciones Unidas.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. TRATADOS INTERNACIONALES EN MATERIA AMBIENTAL. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/127031/Temarios_Convocatoria_SEMARNAT_2016_25.pdf

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2016). Carta Mundial de la Naturaleza.

SEMARNAT. (22 de Marzo de 2019). Inventario Nacional de Emisiones de Contaminantes Criterio (INEM). Obtenido de <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/inventario-nacional-de-emisiones-de-contaminantes-criterio-inem>

SEMARNAT. (14 de Mayo de 2019). Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC). Obtenido de <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/registro-de-emisiones-y-transferencia-de-contaminantes-retc>

Statistics, B. o. (s.f.). TransBorder Freight Data. Obtenido de <https://www.bts.gov/transborder/>

Sun, J. (2000). The nature of CO2 emission Kuznets curve. Elsevier Science Ltd. All rights, 691-694.

UNESCO. Convención sobre la Protección del Patrimonio Mundial Cultural y Natural, París, noviembre de 1972.

Zhang, Y., Liu, Z., Zhang, H., & Tan, T.-D. (2014). The impact of economic growth, industrial structure and urbanization on carbon emission intensity in China. *Nat.Hazards* 73, 579–595.

Zhao, X., Burnett, J., & Fletcher, J. (2014). Spatial analysis of China province-level CO2 emission intensity. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 33, 1-10.

Zilio, M. (2010). *La Curva de Kuznets Ambiental: Evidencia para América Latina y el Caribe*. Argentina: Tesis de Doctor en Economía. Universidad Nacional del Sur.

Anexo.

A1. Estimación de las emisiones de GEI con datos panel estándar.

A1.1 Estimación de los modelos.

Variables <i>Variable dependiente: CO₂</i>	Pooled OLS	Random effects	Individual fixed effects	Time-period fixed effects	Spatial and time-period fixed effects
INTERCEPTO	-5.645 ' (3.412)	-7.172 ' (4.278)			
PIB	0.427 * (0.197)	0.562 * (0.248)	-0.597 (1.140)	0.435 * (0.198)	0.077 (1.289)
AC	0.170 * (0.075)	0.199 * (0.091)	-0.282 (0.188)	0.166 * (0.076)	-0.283 (0.195)
CE	-0.274 (0.303)	-0.311 (0.373)	0.584 (1.247)	-0.246 (0.309)	-0.004 (1.499)
DP	-0.145 . (0.075)	-0.190 * (0.094)	-2.372 (2.157)	-0.139 ' (0.076)	2.149 (4.696)
LAGECO₂	0.610 *** (0.042)	0.469 *** (0.046)	0.012 (0.054)	0.610 *** (0.042)	0.012 (0.055)
R²	0.47	0.31	0.02	0.47	0.008

Fuente: Elaboración Propia.

Nota: El símbolo . denota $p < 0.1$. * denota $p < 0.05$. ** denota $p < 0.01$. *** denota $p < 0.001$

A2. Prueba de Hausman para la elección del mejor modelo de datos panel.

A2.1 Prueba de Hausman, modelo de datos panel estático.

Hausman Test

data: leco2 ~ lpib + lpib2 + lac + lce + ldp + lageco2

chisq = 65.739, df = 6, p-value = 3.048e-12

alternative hypothesis: one model is inconsistent

A2.1 Prueba de Hausman, modelo de datos panel espacial.

Hausman Test

data: x

chisq = 15.456, df = 9, p-value = 0.07914

alternative hypothesis: one model is inconsistent

A4. Pruebas de autocorrelación.

A4.1 Prueba de Breusch-Godfrey para el panel de datos de efectos fijos elegido.

Breusch-Godfrey test for serial correlation of order up to 1

data: fixed.t.bal

LM test = 63.847, df = 1, p-value = 1.345e-15

Alternative hypothesis: serial correlation of any order up to p .
