



**UNIVERSIDA AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MÉXICO**



FACULTAD DE ECONOMÍA

**“EL IMPACTO DEL CRECIMIENTO ECONÓMICO EN EL INCREMENTO
DE GASES DE EFECTO INVERNADERO (GEI) EN MÉXICO: UN ANÁLISIS
CORRELACIONAL (1994-2010)”**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

LICENCIADO EN ACTUARIA

PRESENTA:

MADELEIN MORALES GUERRA

DIRECTOR DE TESIS:

DR. EN A. OSWALDO GARCÍA SALGADO

REVISORES:

M. EN E. ELÍAS EDUARDO GUTIÉRREZ ALVA

M.E.U.R. DELIA ESPERANZA GARCÍA VENCES

TOLUCA, ESTADO DE MÉXICO

OCTUBRE 2015

DEDICATORIA

A mis padres Tomás Morales León y María de Lourdes Guerra Mondragón por todo su apoyo y cariño.

A mis hermanas y hermanos por confiar en mí y darme palabras de aliento cuando las necesitaba.

Al Dr. En A. Oswaldo García Salgado por el tiempo que me dedico, paciencia y consejos para culminar este proyecto.

Les agradezco a todas y cada una de las personas que han formado parte de mi vida, gracias por las experiencias vividas y consejos.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	5
Capítulo I.....	10
Marco Teórico y referencial sobre el cambio climático y el crecimiento económico.	10
1.1 Marco Teórico.....	11
1.2 Marco Referencial.....	14
Capítulo II.....	30
El cambio climático y las consecuencias de su deterioro.	30
2.1 Conceptos fundamentales del cambio climático.....	31
2.2 Enfoque de la economía y el medio ambiente.....	33
2.3 El problema del cambio climático a nivel mundial.	35
2.4 El problema del cambio climático en México.	40
Política nacional contra el Cambio Climático.	46
Capítulo III	47
Metodología: Modelo de Regresión para análisis de correlación y Simulación Monte Carlo.....	47
3.1 Análisis de regresión.	48
3.1.1 Coeficiente de determinación.	48
3.1.2 Coeficiente de correlación.....	49
3.1.3 Regresión Lineal Simple.....	49
3.1.4 Método de Mínimos Cuadrados	50
3.1.5 Supuestos de la regresión lineal.	51
3.1.2 Análisis de Regresión Múltiple	53
3.2 Generalidades de la simulación.	53
3.2.1 Antecedentes	54
3.2.2 Tipos de modelos de simulación.....	55
3.2.3 Programas computacionales más comunes para el desarrollo de modelos de simulación.....	56
3.2.4 Errores comunes al realizar un modelo de simulación.....	57
3.2.5 Ventajas y desventajas de los modelos de simulación.	58
3.2.6 Etapas para el desarrollo de un modelo de simulación.....	58
3.3 Simulación Monte Carlo.....	60
3.3.1 Aplicaciones de la simulación Monte Carlo.....	61
3.4 Generación de números aleatorios.....	62

3.4.1 Métodos para generar números aleatorios.	62
3.4.2 Pruebas estadísticas para los números pseudo aleatorios.	63
3.5 Principales curvas de distribución para generar variables aleatorias.	67
Capítulo IV	70
Resultados del Modelo Planteado en la Investigación	70
4.1 Análisis de Series de tiempo por sector	72
4.2 Análisis de regresión entre el PIB y las emisiones de GEI.	76
4.2.1 Análisis Estadístico General	76
4.2.2 Sector Industrial	78
4.2.3 Sector Transporte	80
4.2.4 Sector de Energía	81
4.2.5 Sector Agrícola	83
4.3 Resultados	84
Conclusiones	86
Bibliografía	90
ANEXOS	93
Anexo 1	94
Anexo 2	94
Anexo 3	95
Anexo 4	96
Anexo 5	96
Anexo 6	97
Anexo 7	98
Anexo 8	99

INTRODUCCIÓN

Día con día observamos los cambios que está sufriendo nuestro planeta ante la necesidad que nos manifiesta de protegerlo, cambios repentinos del clima año con año, la presencia de más desastres naturales y todo esto por la creciente necesidad de explotar y ocupar el poco espacio que a nuestro planeta le queda para respirar.

De acuerdo con el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) el cambio climático se ha convertido en una de las áreas de trabajo prioritarias para las Naciones Unidas, los gobiernos de todos los países y numerosas organizaciones de la sociedad civil. Esto se debe a que el fenómeno trasciende las fronteras de lo ambiental, para convertirse en un gran reto que la humanidad debe afrontar también en las áreas social, económica y política. El cambio climático desafía nuestra capacidad para seguir adelante con nuestra forma de vida actual y pone en peligro los avances realizados en desarrollo humano a escala global.

Las actividades humanas en el planeta han generado un cambio en el clima desde hace más de 100 años con la llegada de la llamada Revolución Industrial. Desde esa época hasta nuestros días, los procesos industriales se desarrollan básicamente quemando combustibles fósiles (petróleo, gas y sus derivados como la gasolina). Los gases producidos por estas actividades se liberan a la atmósfera y cambian su composición. También desde hace más de 100 años se ha dado un proceso acelerado de pérdida de bosques y vegetación en regiones muy amplias de nuestro planeta. Por ejemplo, se calcula que México ha perdido por lo menos la mitad de sus bosques desde la época colonial hasta nuestros días (Conde, 2007).

En México se han implementado estrategias para reducir los efectos que contrae el cambio climático como la implementación del horario de verano y la publicidad que se transmite en los medios de comunicación para reducir el consumo de energía o el programa de México limpio por mencionar algunos ejemplos, pero también es necesario tomar medidas como un mayor control en la adquisición de bienes por parte de la población debido al crecimiento en sus ingresos, esto a nivel microeconómico, pero si se hace el análisis a nivel macroeconómico nos podemos dar cuenta que el incremento

de industrias, el procesamiento del petróleo crudo; ante la creciente demanda, la creación de nuevas áreas urbanas y de nuevas empresas contribuye de manera sustancial en el cambio climático. No podemos detener el crecimiento económico pero si generar mejores alternativas para mitigar el daño al medio ambiente.

Toda forma de vida depende de que el planeta goce de buena salud. Sin embargo, los sistemas interrelacionados que conforman el entorno natural, la atmósfera, los océanos, los cursos de agua, la tierra, la capa de hielo y la biosfera están amenazados por las actividades humanas. Además, un entorno frágil resulta más vulnerable a los desastres naturales que, a su vez, lo degradan en un círculo pernicioso de causas y efectos (OMM, 2014).

Por ello para la realización de este trabajo de tesis se han planteados los siguientes objetivos:

El objetivo general es explicar cómo se ve afectado el cambio climático ante el crecimiento económico del país en sus distintos sectores a partir de indicadores como el incremento de Gases de Efecto Invernadero.

Aunado a ello los objetivos específicos de la presente investigación son:

- Evaluar a los principales sectores económicos que provocan un incremento en la emisión de gases de efecto invernadero.
- Identificar las variables que van a afectar la economía del país por la disminución de contaminantes.
- Estimar el impacto económico que tendrá México ante el control del cambio climático en sus diferentes sectores productivos en el largo plazo.
- Construir un modelo de simulación para observar el comportamiento del cambio climático ante la disminución o incremento de algunos sectores económicos.

Estos objetivos van por lo tanto ligada a las hipótesis planteadas a continuación:

Hipótesis principal:

Existe relación entre el crecimiento económico del país y el incremento de Gases de Efecto Invernadero (GEI).

También para cada sector se quieren comprobar las hipótesis siguientes:

- El incremento de Gases de Efecto Invernadero en la industria tiene relación con el crecimiento económico en la producción de este sector.
- El incremento de GEI en el sector energético tiene relación con el crecimiento económico de este sector.
- El incremento de GEI en el sector de transporte tiene relación con el crecimiento económico en la producción de este sector.
- El incremento de GEI en el sector agrícola tiene relación con el crecimiento económico en la producción de este sector.

El motivo por el cual se realiza una investigación de este tipo es porque en la actualidad existen escasas investigaciones en la relación entre las consecuencias que genera el crecimiento económico al cambio climático, es por ello que esta investigación tiene la finalidad de dar a conocer las afectaciones que ha tenido el cambio climático ante el crecimiento económico del país, tal como sucede con la expansión de la industria, agricultura, energía (extracción y procesamiento de petróleo crudo) y transporte, sectores que tienen un impacto considerable en el incremento de los gases de efecto invernadero, así como también ayudará a la implementación de nuevas estrategias en el país para el control de estos gases a través de un modelo de simulación para observar que sectores económicos perjudican más al medio ambiente e implementar mayores estrategias a estos.

Otro motivo por el que se decidió realizar una investigación entre las variables de crecimiento económico y cambio climático (haciendo referencia al incremento de los Gases de Efecto Invernadero) es porque al seguirse incrementando los GEI en el medio ambiente esto provoca un riesgo en la población al haber un incremento mayor en las enfermedades, incremento en los desastres naturales, si esto se enfoca a un contexto actuarial y de seguros vemos que se estaría viendo un incremento en la utilización de

un seguro de daños, de vida o gastos médicos, lo cual no solo afecta a las aseguradoras que protegen este tipo de siniestros si no también una mayor siniestralidad para los asegurados hasta llegar al grado en que el seguro no les cubra alguna enfermedad o un bien por lo caro que esto puede ser.

Los resultados encontrados son para dar a conocer el impacto y riesgo que provoca al medio ambiente la explotación de los recursos para generar un mayor crecimiento económico.

El enfoque de esta investigación es principalmente cuantitativo utilizando estadísticas de los distintos sectores productivos del país como lo son: industria, energética, transporte y agricultura sobre las emisiones de gases de efecto invernadero que se han generado en los últimos años en el país y como índice general para hacer una comparación con el crecimiento económico los datos de Producto Interno Bruto (PIB), ambos del periodo de 1994 al 2010, esto porque hasta este último año se tienen registros por parte del INEGI sobre las emisiones de Gases de Efecto Invernadero.

Para la relación de variables y la creación de diversos escenarios se hará uso de un modelo de simulación Monte Carlo, si es que existe evidencia de correlación entre las variables, esto se comprobara a través de un análisis de regresión.

A continuación se hace una breve descripción del contenido de los capítulos que conforman el presente trabajo de tesis.

En el capítulo 1 se realiza un análisis sobre las principales teorías que se relacionan con el tema de investigación, es decir, el marco teórico y hacer referencia a trabajos de investigación que se han realizado en los últimos años sobre el tema.

En el capítulo 2 se mencionan los conceptos que involucran al cambio climático como lo son la descripción de los principales GEI, el enfoque que se ha realizado con estos dos temas, el impacto que tiene la contaminación a nivel mundial y a nivel nacional y los países que más contribuyen al cambio climático, por ultimo estadísticas de las emisiones de GEI en el país en los sectores económicos que se pretenden analizar.

Se recolectaron los datos necesarios para probar el modelo, los cuales se dividen en: datos económicos; para observar la estructura económica del país y observar el cambio en algunos sectores y datos medioambientales donde se recabaran datos sobre las emisiones de GEI en los últimos años.

En el Capítulo 3 se describe la metodología que se utilizó para desarrollar el modelo, la cual hace referencia en primer lugar a un análisis de regresión para corroborar la correlación entre los datos, así como las alternativas de modelos que pueden generarse con las variables ya sea una regresión lineal o múltiple. En segundo lugar y de acuerdo a si los resultados son favorables en la regresión se hace uso de un modelo de Simulación Monte Carlo, su descripción, los números pseudo aleatorios y las pruebas que se tienen que realizar para corroborar el modelo.

En el capítulo 4 se desarrolló un modelo de regresión para analizar la relación entre las variables de los sectores económicos: industria, energía, transporte y agricultura, y las emisiones de GEI de cada uno de estos sectores.

Por último se obtuvieron los resultados y conclusiones del modelo aplicado, para llegar a verificar si los objetivos e hipótesis planteadas en esta investigación se comprobaron.

Capítulo I

**Marco Teórico y referencial sobre el cambio climático
y el crecimiento económico.**

El objetivo de este capítulo es dar conocer quiénes iniciaron el análisis del crecimiento económico y el cambio climático, así como los trabajos realizados a raíz de estos descubrimientos. Este se compone de dos secciones importantes, en primer lugar se hace análisis de los principales autores que han contribuido y han hecho aportaciones sobre el tema; en segundo lugar se hace referencia a distintos trabajos de investigación actuales que se han enfocado en tratar y analizar la temática del cambio climático y el crecimiento económico en distintos países del mundo.

1.1 Marco Teórico

En esta parte del trabajo de tesis se mencionan los inicios de la relación entre el riesgo del cambio climático y el crecimiento económico, así como la necesidad que ha tenido el mundo en interesarse en el problema ambiental que se ha estado viviendo durante años, por lo que a continuación se mencionan investigaciones iniciales sobre el tema.

En primer lugar esta Jhon Stuart Mill (1848), fue uno de los primeros economistas en preocuparse por la biodiversidad, desde el punto de vista de bienestar, hizo énfasis en que el crecimiento de la producción obtenida por la naturaleza no podía ser un proceso sin fin y que todo crecimiento debía conducir a un equilibrio. Además en cuanto a la gestión de los recursos naturales fue pionero en ideas que actualmente forman parte de los modelos económicos, por lo que se le atribuyen hipótesis como: los costos de extracción crecen a medida que se agotan los recursos, el incremento de los costos de extracción se amortiguará por el cambio técnico y por último el stock de tierra tiene valor no sólo por lo que puede producir sino también por la belleza de los paisajes y ecosistemas (Labandeira, León, & Vázquez, 2007).

Por su parte David Ricardo introdujo el concepto de rendimientos decrecientes, a medida en que aumentan los factores de capital y trabajo para laborar la tierra disminuyen los rendimientos agrícolas, él pensaba que los únicos que ganarían en ese proceso económico serían los dueños de la tierra afectando en gran medida la fertilidad de la tierra. A pesar de que Marx no estaba de acuerdo con la teoría de Ricardo, si coincidió en la preocupación por la explotación intensiva de los recursos naturales, la

destrucción de los bosques y las emisiones de residuos derivadas de los procesos de producción, tanto de la agricultura y como de la industria (Reynaldo, 2014).

Otro economista que realizó aportaciones fue William Stanley Jevons (1865) con su teoría sobre las manchas solares propuso que las manchas del sol influían en las cosechas y con ello en la economía, también hizo la propuesta de que las dos crisis económicas sucedidas en Inglaterra coincidían con los ciclos de las manchas solares, de cada once años. Sin embargo, la contribución más importante de Jevons a la economía de los recursos naturales es el principio de equi-marginalidad, que atribuye todo problema de optimización o de maximización de beneficios netos en la gestión del medio ambiente (Berumen, 2006).

Por último Panayou hizo una relación entre el crecimiento económico y el medio ambiente mediante un gráfico de U invertida, en relación a la desigualdad de ingreso propuesta por Kuznets, es por ello que la hipótesis lleva el nombre de Curva Medioambiental de Kuznets. El realiza un análisis de lo positivo y negativo de que un país alcance un nivel de ingreso en el cual las personas demandan y pueden disponer de infraestructura más eficiente y un medio ambiente más limpio. El concluye que ante un constante crecimiento económico el medio ambiente se va degradando, pero hay un momento en que existe un punto máximo y una estabilidad en el ingreso donde el medio ambiente se va recuperando.

Por su parte los científicos de las organizaciones internacionales llamaron la atención sobre las amenazas planteadas por el efecto invernadero. La historia del descubrimiento científico del cambio climático comenzó a principios del siglo XIX cuando se sospechó por primera vez que hubo cambios naturales en el clima y se identificó por primera vez el efecto invernadero natural.

Sin embargo, tuvieron que pasar años para que la comunidad internacional reaccionara, por ello en 1988 se creó el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) el cual es el principal organismo internacional, que para la evaluación del cambio climático fue establecido por el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Organización Meteorológica Mundial (OMM) para dar al mundo una visión científica clara sobre el estado actual del conocimiento en

el cambio climático y sus posibles impactos ambientales y socio-económicos (UNFCCC, 2014).

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), su principal objetivo es estabilizar las concentraciones de Gases de Efecto Invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias humanas peligrosas en el sistema climático, por lo que establece una estructura general para los esfuerzos intergubernamentales encaminados a resolver el desafío del cambio climático y reconocer que el sistema climático es un recurso compartido cuya estabilidad puede verse afectada por actividades industriales, agrícolas, turismo, entre otras (CINU, 2014).

Con referencia al Protocolo de Kioto es un acuerdo internacional que se deriva de la CMNUCC donde se establecen medidas más energéticas para el combate al cambio climático. Según las condiciones del protocolo, 37 países industrializados, junto con la totalidad de la Unión Europea, se comprometen a reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero en un promedio del 5% respecto a 1990. La UE debe reducir sus emisiones en un 8% respecto a 1990. Dinamarca, Alemania y Luxemburgo deben reducir sus emisiones en un 21% respecto a 1990. Los objetivos son aplicables de 2008 a 2012 y el protocolo se aplica a las emisiones de seis GEI: CO₂, metano, óxido nitroso y tres tipos de gases industriales (hexafluoruro de azufre, hidrofluorocarbonos (HFC) y perfluorocarbonos).

México como país en desarrollo no tiene ninguna obligación de reducción de emisiones bajo el Protocolo de Kioto. No obstante, dado que las emisiones nacionales se incrementan año con año, se considera que México, así como otros países en desarrollo deben asumir compromisos obligatorios de reducción para después del 2012 y antes del 2020.

Finalmente para dar continuidad al Protocolo de Kioto se llevó a cabo la XV Conferencia Internacional sobre el Cambio Climático, mejor conocida por Cumbre de Copenhague (Dinamarca), celebrada en 2009, la cual aborda la reducción de GEI, el ajuste a las inevitables consecuencias del cambio climático y la financiación y tecnología necesarias para ayudar a los países en desarrollo a limitar el aumento de las emisiones y su adaptación al impacto del medio ambiente (Cerde & Labandeira, 2010).

1.2 Marco Referencial

Actualmente existen investigaciones relacionados con la temática que se está analizando en esta tesis. A continuación se mencionará una revisión de trabajos recientes que son de interés para soportar la necesidad de realizar estudios sobre el tema del riesgo del cambio climático y su relación con el crecimiento económico, estos se presentan a continuación:

Para iniciar se cita el trabajo de (Correa, 2004) quien se interesó en realizar un análisis sobre la hipótesis de la curva medioambiental de Kuznets, en la que se menciona una relación muy estrecha entre el crecimiento económico de un país y el cambio climático, es decir, ante un mayor desarrollo económico habrá un mayor grado de contaminación, pero hay un momento en el que se llega a un tope (umbral), esto es una estabilidad económica donde los niveles de contaminación comienzan a disminuir. Este autor basa su investigación en la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo como sustento para analizar la curva Medioambiental de Kuznets.

La metodología que se siguió fue la utilización de modelos microeconómicos como Cobb Douglas para comprobar la veracidad de la hipótesis de Kuznets, para lo cual se utilizaron variables como el Producto Interno Bruto per cápita y los niveles de contaminación de Colombia ya que este es un país en desarrollo y hasta ahora sólo se ha comprobado la aplicación de la hipótesis para aquellos países desarrollados. Los principales resultados arrojados en el trabajo de (Correa, 2004) fueron los siguientes:

En primer lugar la Hipótesis de Kuznets ha sido comprobada solo para unos cuantos contaminantes que tienen efectos sobre la salud, por lo que no se puede generalizar su aplicación en los diferentes Gases de Efecto Invernadero (GEI).

Seguidamente la hipótesis aplica sólo a problemas ambientales que son fácilmente resueltos y que están bien documentados y bien conocidos. Entonces si en un futuro se presentaran nuevas investigaciones sobre algún tipo de contaminante o daño al medio ambiente, aún no estudiado la hipótesis de Kuznets ya no sería válida.

Por último el cumplimiento de esta hipótesis no garantiza que los niveles de contaminación sigan dentro de los umbrales ecológicos y las restricciones de sostenibilidad más allá de los cuales el deterioro ambiental es irreversible. Además de que se debe actuar de manera inmediata en todos los niveles y sectores económicos de la población porque es un problema que afecta a todos, en cualquier parte del mundo.

Por otro lado (Rosales, 2008) hizo un estudio sobre la pérdida de biodiversidad en el norte y sur de diferentes países del mundo para conocer la perspectiva que se tiene ante el cambio climático y la pérdida de biodiversidad en el planeta ante el crecimiento económico. Esta investigación está basada en investigaciones de la Convención de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC, por sus siglas en inglés), el protocolo de Kioto y el Panel Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, en su informe de 2007)

La metodología que se siguió en esta investigación fue establecer un límite en las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) entre países del norte y del sur, midiendo variables que afectan de manera considerable al cambio climático como lo son: el consumo de bienes y servicios y las emisiones de Bióxido de Carbono (CO₂) per cápita, para esta última variable se realizan graficas sobre los niveles que ha alcanzado este gas a lo largo del tiempo entre los veinte países con mayores contribuciones de CO₂ por medio de combustibles fósiles y cemento de acuerdo al Top 20 de los emisores de GEI en el 2004. Los países más destacados son: Estados Unidos, Rusia, Alemania, China, Japón, Italia, México, Corea del Sur, entre otros.

Los principales resultados arrojados por (Rosales, 2008) fueron que si los países del norte no cumplen con sus obligaciones éticas para aceptar su responsabilidad en el cambio climático y actúan primero la participación de países del Sur se verá menos probable ya que todos los países deben contribuir a la mitigación del cambio climático y con ello evitar la pérdida de biodiversidad.

Rosales afirma que el espacio atmosférico para niveles seguros de emisiones de GEI y el espacio ecológico para el crecimiento económico socialmente provechoso han sido sobrepasados. Además opciones de desarrollo están siendo inaccesibles y el crecimiento económico no es la mejor opción para todas las personas sobre el planeta.

Por último con el incremento de conocimientos de umbrales ecológicos y en el contexto de un sistema ético, las emisiones per cápita de GEI pueden ser usadas para determinar los niveles de responsabilidad y para identificar economías en abandono. En otras palabras, las emisiones per cápita pueden ser ajustadas y usadas para determinar si el crecimiento económico es un objetivo apropiado para algunos países en particular.

Por su parte (Wago, 2009) enfocó su estudio en el debate asiático frente a la conferencia de Copenhague 2009, en la cual se realizó un análisis sobre el crecimiento económico y el cambio climático basándose en literatura como el cuarto informe de 2007 del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), el Instituto de Investigación para la innovación de Tecnologías de la Tierra, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, la Cumbre sobre el Cambio climático y el Protocolo de Kioto. La metodología utilizada es un análisis cualitativo de la conferencia de Copenhague, en la cual se llegó a cuatro puntos fundamentales sobre el cambio climático: mitigación, adaptación, tecnología y financiación. Además se analizan las estrategias que se han implementado en países como China, India, Estados Unidos y Japón a partir del protocolo de Kioto. Después de una exhaustiva investigación se obtuvieron los resultados y conclusiones siguientes:

Según (Wago, 2009) existe un alto grado de desconfianza en el sistema de medición de las emisiones, por lo cual se debe formalizar un acuerdo sobre medición, reporte y verificación, de realizarse esto se llegaría a obtener un importante logro de Copenhague 2009.

Por otra parte los países industrializados deben proponer estrategias concretas, para que los países en vías de desarrollo tengan acceso, por ejemplo, a tecnologías de uso eficiente de energía.

Por último una de las mayores dificultades de la emisión de GEI es que están estrechamente asociados al crecimiento económico, puesto que las fuentes de energía que generan estos gases son muy difíciles de reemplazar y son adaptadas por países en desarrollo, además la inversión en este tipo de infraestructura, para uso de estos

combustibles es costosa y si se quiere realizar una transición es muy difícil recuperar la inversión. Esto quiere decir que la implementación de tecnologías limpias no solo lleva a una economía a la reducción de sus niveles de emisión, sino que conlleva un proceso de transformación productiva en su industria, por eso los países en desarrollo, bajo su propuesta de crear una negociación bajo un esquema de ganar-ganar, deben considerar los impactos positivos relacionados con un compromiso de mitigación.

Si los países en desarrollo no toman en serio la importancia de asumir un compromiso, seguirán siendo externos ante este gran problema y su contribución al daño climático seguirá incrementando.

(Lin, Wuebbles, & Zhining Tao, 2009) basaron sus estudios de los efectos del clima y las emisiones de ozono en Chicago utilizando literatura como el Reporte Especial sobre los escenarios de Emisiones (SRES por sus siglas en inglés) y el reporte de 2007 del IPCC para sustentar su investigación. Esta se basa en estudiar los efectos del cambio en el clima global incluidos en este análisis incorporando condiciones límite para futuros años de las simulaciones manejadas por cambios correspondientes a emisiones y concentraciones de GEI y partículas.

Regional Climate–Air Quality (RCAQ) es un sistema que ha sido usado en variedad de estudios en EU sobre la calidad del aire y sus futuros cambios. El cálculo de cambios futuros en emisiones antropogénicas fue basado en los factores de escala de 2000 a 2050 y 2100 adaptado para el IPCC Y SRES en EU y Canadá. Tras las investigaciones realizadas en torno al tema y los análisis sobre los resultados arrojados por los modelos se llegó a la conclusión de que cambios en la superficie de concentraciones de ozono en años futuros depende de cambios en el clima y emisiones relacionadas con el ser humano.

De acuerdo al estudio presentado por estos autores la variación temporal de concentraciones de ozono es otro importante aspecto de la perspectiva del control de contaminación. Dado un nivel de ozono calculado temporalmente durante un periodo de tiempo, una alta variación implica una más alta probabilidad de ocurrencia de excesivas concentraciones de ozono.

La superficie de ozono sobre una región dada deriva de dos orígenes: la producción derivada de emisiones precursoras y el transporte fuera de la región y la producción debido a los precursores transportes.

Existen muchas dificultades en proyecciones de superficies de concentraciones de ozono porque las proyecciones del clima futuro y emisiones precursoras son una incertidumbre.

Por otra parte (Costello, Neubert, & Polasky, 2010) también basados en el cuarto informe del IPCC del 2007 y utilizando una metodología de modelos estilizados, los cuales son usados en economía y ciencias atmosféricas para desarrollar y enfocar percepciones cualitativas, en este caso del medio ambiente. También utilizaron modelos de aversión al riesgo y funciones de utilidad, la técnica utilizada fue una función de densidad de probabilidad y la distribución Cauchy utilizando variables como el incremento de temperatura, consumo a un tiempo determinado y un factor Θ_{opt} , el cual representa la máxima función de consumo que la sociedad está dispuesta a sacrificar para evitar la pérdida de consumo causada por el cambio climático, todo esto en conjunto nos ayudara a entender a través de una función de distribución el consumo de productos que la población está dispuesta a limitar para ayudar a disminuir el cambio climático.

Los principales resultados que se obtuvieron en este trabajo fueron: se demostró que la combinación de una cola pesada en la función de distribución de probabilidad para el cambio de temperatura y un común modelo de aversión al riesgo implica que la prima de riesgo para evitar el cambio climático es infinito.

Los resultados sugieren que, bajo un modelo calibrado, es decir, un nivel óptimo de respuesta al cambio climático, medida por el factor Θ_{opt} es relativamente estable en un amplio rango de los límites superiores de la incertidumbre sobre el calentamiento futuro. Este hallazgo es importante para la política climática porque implica que no hay necesidad de establecer un límite superior preciso. Para estar seguro si la pérdida causada por el consumo aumenta el calentamiento mucho más rápido con la temperatura, este resultado podría ser revocado. A este respecto, aunque el modelo de

pérdida de consumo utilizado en gran acorde con la literatura, su extrapolación a muy grandes cambios de temperatura pueden ser problemáticos.

(Ciscar, Iglesias, & Feyen, 2010) Realizaron un estudio físico y económico sobre las consecuencias del cambio climático en Europa basados en literatura como: *the European Comision White Paper on Adaptation* (ECWPA), *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) y el Reporte Especial sobre Escenarios de Emisiones (SRES, por sus siglas en inglés).

Para llevar a cabo la investigación se analizaron cuatro categorías de impacto: agricultura, inundaciones de ríos, áreas costeras y turismo, medidos a través de un modelo de simulación para estimar el impacto físico que provocará el cambio climático para el año 2080, por otra parte para la simulación de escenarios se han considerado cuatro climas futuros para reflejar la incertidumbre asociada con el manejo de las emisiones globales y la reacción del clima a la concentración de gases de efecto invernadero (GEI). Los principales resultados arrojados por este estudio de acuerdo a cada una de las categorías analizadas fueron los siguientes:

a) La agricultura es particularmente susceptible al cambio climático porque la producción y calidad de las cosechas cultivadas y el uso de agua son influencia directa para las variables del clima local y atmosférico, además es una de las principales fuentes económicas en muchas áreas rurales de Europa.

b) Las inundaciones por causa de ríos podrían afectar de 250,000 a 400,000 personas por año para 2080. El incremento en daño directo por inundaciones puede causar pérdidas de 7.7 a 15 billones de euros.

c) El sistema costero indica que las políticas de adaptación tendrán un costo particular, es decir, sin adaptaciones el número de personas afectadas anualmente por inundaciones en el 2080 incrementará significativamente en todos los escenarios y rangos de 775,000 a 5.5 millones de personas.

d) El turismo es el mejor sector económico en Europa y el pronóstico del cambio climático en Europa para el año 2080 nos indica que el cambio climático tienen el

potencial para alterar los modelos turísticos radicalmente ocasionando cambios en destinos y estructura en la demanda temporal.

En general el tratamiento de las categorías de impacto tiene algunas limitaciones porque estas no consideran los impactos sobre transporte y sistemas de energía y evaluar los impactos del crecimiento económico requerirá una verdadera dinámica multisectorial, simulando la economía y el cambio climático al final de este siglo y específicamente dirigirse al problema ausente en el presente análisis, tal como la salida de capital y sus efectos.

Este estudio sólo ha estimado el impacto potencial en el cual no se consideran las políticas de adaptación pública. Pero la evaluación del impacto potencial en varios sectores facilita la identificación de prioridades en las políticas de adaptación pública.

(Barker, Anger, & Pollit, 2012) Hicieron una propuesta económica para lograr metas de estabilización climática para el año 2020 basándose en literatura como del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) en su informe del año 2007. La metodología utilizada para realizar este estudio fue utilizar una política de análisis de un modelo Keynesiano que propone estímulos físicos de inversión para mitigar el cambio climático y la implementación de ecuaciones estocásticas para el mismo análisis. Por otro lado las metas son evaluadas utilizando un modelo a nivel global y el E3MG, un modelo de simulación econométrico anual estimado para 20 regiones del mundo sobre 1972 a 2006 adoptando una propuesta económica.

Esta investigación explora los efectos sobre la economía global de las políticas de clima designadas para lograr metas provisionales para la mitigación de GEI implicada en 2009 y confirmada en los acuerdos de Cancún 2010. Para el desarrollo de estos modelos se tomaron en cuenta variables como: inversión, empleo, exportaciones, importaciones y demanda de energía para el análisis de escenarios de los acuerdos del G20 para 2020. .

Los resultados arrojados por este estudio fueron:

Los 450 escenarios de la *International Energy Agency* (IEA) no parecen ser lo suficientemente fuertes como para tener una posibilidad razonable de alcanzar el objetivo de 2°C sobre el siglo XXI.

Es necesario algún tipo de fijación de precios del carbono para la eficiencia económica y para compensar cualquier efecto de rebote de las políticas de eficiencia energética por sí solos.

La reducción de los precios del petróleo tras reducir la demanda de petróleo en el escenario de la política de Cancún es una contribución importante para el aumento de la actividad económica en los países importadores de petróleo y como una compensación a los efectos del precio del carbono y la eliminación de los subsidios a los combustibles fósiles.

El empleo adicional de las políticas de descarbonización se concentra en los sectores de la construcción, la agricultura y la silvicultura, ya que la fabricación es mucho menos intensiva en empleo.

(Ocampo, 2011) en su estudio del cambio climático y su impacto en la agricultura, basado en las publicaciones del IPCC, de los Programas de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD); del Instituto de Meteorología, Hidrología y Asuntos Ambientales (IDEAM). El trabajo fue realizado en Colombia (aunque su contribución de GEI es muy mínima también es vulnerable ante el cambio climático) a través de un análisis de riesgos que permite evaluar la probabilidad de pérdidas futuras, analizando escenarios a futuro. Además se hace una descripción de los impactos potenciales sobre la agricultura, algunas medidas de adaptación y brindar información. Para el análisis se hizo uso de variables como: amenaza de afectaciones para la agricultura, la probabilidad de ocurrencia, riesgo, impactos negativos a la agricultura y capacidad de adaptación.

Los resultados y conclusiones arrojados por el estudio dan a conocer que algunas opciones de adaptación planificada para el sector agrícola incluyen modificación de las fechas de siembra, elección de variedades, reubicación de plantaciones, mejora de la gestión de tierra, apoyo a sistemas de la conservación de la diversidad biológica agrícola y una gestión óptima de recursos hídricos.

También se llegó a la conclusión de que el aumento moderado de la temperatura y la fertilización por CO₂ tengan efectos positivos en la producción. Sin embargo, si el incremento de la temperatura supera el estándar de seguridad climática, los rendimientos podrían disminuir de manera generalizada.

Además las innovaciones científicas y tecnológicas serán determinantes en la definición de estrategias encaminadas a contrarrestar los efectos del cambio climático. La cooperación efectiva entre los investigadores en ingeniería, metodología, agricultura, silvicultura, entre otras áreas, es crucial para proporcionar a los agricultores información útil para hacer frente a los riesgos agroclimáticos a corto y mediano plazo. Por último las respuestas al cambio climático son un desafío para la ingeniería; los impactos al sector agrícola plantean una serie de retos relacionados con la productividad, por la necesidad de incremento para garantizar la seguridad alimentaria.

Al estar basado este trabajo en el análisis de la agricultura no implica que sea de poca importancia, al contrario para efectos de este trabajo es importante analizar diversos sectores económicos para saber los impactos que ha generado la falta de iniciativas para mitigar el cambio climático en otras partes del mundo.

(García C. , 2012) En su artículo sobre impuestos al carbono para mitigar el cambio climático basado en el *World Resources Institute* discute a partir de un marco teórico las políticas económicas más efectivas que pueden emplearse para frenar los impactos del cambio climático y por otra parte se realiza un estudio de las emisiones de carbono en España las cuales son evaluadas a través de modelos microeconómicos como lo son la curva de costos marginales.

La técnica utilizada para este trabajo fue como se mencionó en un inicio un marco teórico analizando la curva de costos marginales y el uso de información perfecta e imperfecta tomando como variables las emisiones de carbono, costos e impuestos implicados. Después del análisis teórico se obtuvieron los siguientes resultados y conclusiones: en primer lugar se determinó que un impuesto sobre las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) ofrece incentivos más fuertes para desarrollar y aplicar nuevas tecnologías que una política basada en el control cuantitativo de las mismas.

Para poder comparar impuestos sobre el carbono y permisos de emisiones desde el punto de vista de la eficiencia es la información, es decir, si los agentes económicos tienen información sobre los costos destinados a reducir las emisiones y sobre los costos sociales de las mismas, entonces ambos instrumentos podrían lograr la misma reducción de la contaminación y al mismo costo.

En segundo lugar que toda respuesta global eficaz requerirá al menos de tres elementos de política económica: el precio del carbono, una política de apoyo a la innovación y a la aplicación de tecnologías bajas en carbono y la adopción de medidas para eliminar cualquier barrera a la eficiencia energética. Por último se debe tener en cuenta que el cambio climático constituye uno de los mayores fracasos atribuibles al mercado y se deben tomar medidas internacionales cimentando objetivos a largo plazo y que se lleven a cabo realmente medidas de acción para evitar su incremento.

(Díaz, 2012) quien realizó un análisis teórico sobre el cambio climático basándose en la revisión de informes emitidos por la como la opinión de la comunidad científica, como lo es la Conversión Marco sobre el cambio climático (CMCC), el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) y el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), la metodología seguida para este análisis es una revisión literaria de las diferentes investigadores que se han realizado en los últimos años por estos órganos sobre el impacto del cambio climático y con ello poder tomar decisiones sobre las medidas a tomar en cuenta para su mitigación.

Los principales resultados y conclusiones arrojados por el análisis realizado por (Díaz, 2012) fueron los siguientes:

El informe sobre desarrollo humano 2007-2008 destaca que el desafío climático del siglo XXI es la estabilización en 550 ppm de CO₂, en cambio el informe IPCC 2007 resalta “la base científica”, “efectos, adaptación y Vulnerabilidad” y “Mitigación” del cambio climático.

Por su parte las principales recomendaciones de los analistas están centradas en el uso de alternativas de energías renovables, mejorar la eficiencia energética y cambiar los hábitos de consumo. En relación a los retos y desafíos del cambio climático para el siglo XXI, la aprobación es la estabilización de los gases de efecto invernadero,

el cambio de energía fósil por energía renovable, desarrollara un marco normativo posterior a Kioto 2012, adoptar políticas de fijación de presupuestos sostenibles de carbono, implementar un programa de mitigación y adaptación. Además, cambiar los patrones de uso de la energía e implementar el uso de energía a partir del sol y del aire, uso de carros híbridos y la implantación de proyectos de mecanismos de producción.

Por último los retos y desafíos que se presentan actualmente y para el futuro no son un problema de unos pocos, sino de todos, es un asunto de consenso multilateral y de trabajo en equipo porque el cambio climático es un problema global para ello se debe fortalecer la educación ambiental a nivel formal y no formal y profundizar sobre los impactos sociales.

(Hassler & Krusell, 2012) Se basaron en los modelos de Nordhaus (los cuales son modelos del cambio climático donde se ha analizado el impacto sobre los sectores económicos que dependen en alto grado de los ecosistemas no gestionados), modelos de crecimiento y el IPCC (2007) hizo una investigación de evaluaciones en distintas partes del mundo sobre el cambio climático y el crecimiento económico.

El estudio se realiza con datos de China, EU, Europa y África a través de un modelo estocástico dinámico y modelos macroeconómicos para disminuir el consumo de combustibles fósiles y principalmente del carbono a través de la implementación de impuestos para esto se hizo uso de las siguientes variables: Precio de petróleo, petróleo consumido, petróleo producido, tasa de crecimiento de rendimiento, ciclo del carbono.

Entre los resultados encontrados tras el análisis de Hassler y Krusell se demuestra que en la ausencia de mecanismos internacionales de transferencia, mejorar las políticas para frenar el cambio climático puede no existir, haciendo fácil de entender la dificultad de llegar a acuerdos internacionales. El análisis también muestra que los impuestos usados en importación de petróleo puede ser una ineficaz arma contra la amenaza del cambio climático a menos que el impuesto recibido sea transferido a países productores de petróleo, por último el impuesto a consumidores de petróleo podría ser eficaz porque de ahí se derivan las emisiones de CO₂.

La herramienta de poner un impuesto a los productores de petróleo de manera proporcional y dando el producto detrás de una manera global es un experimento

interesante ya que este sistema no propone la redistribución neta a través de los consumidores y productores de petróleo, por lo tanto puede parecer menos difícil implementar algunas otras políticas.

Se introduce el carbono en el análisis ya que muy abundante, de acuerdo a las estimaciones actuales y por lo tanto constituye un amenaza potencial para el clima. El carbón es también más costoso de producir por unidad de energía suministrada, lo que hace a los impuestos ser más eficaces: un impuesto sobre los consumidores ahora tendrá un efecto sobre el consumo de combustibles fósiles. En relación a esto un debe introducir energía limpia (no fósil), tanto porque está aumentando en importancia y porque puede ofrecer una manera de resolver nuestros problemas climáticos, si llega a ser lo suficientemente barata para producirse.

Por otra parte (Briner, Elkin, & Huber, 2013) basándose en el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) realizaron un estudio sobre el impacto relativo del cambio climático y económico de la agricultura y bosques en regiones de la montaña, la metodología utilizada es un sistema que considera el efecto combinado de cambio en la economía y el clima sobre la provisión de los servicios de ecosistema en las montañas de Suiza.

Se hace uso de modelos de simulación considerando seis servicios de ecosistemas, los cuales son: agricultura y mercancías de bosques, protección de riesgos naturales, diversidad de usos de la tierra, diversidad de bosque y emisión de gases de efecto invernadero por agricultura, para todo este análisis se hace uso de tres modelos:

- i) Un modelo de campo (LandClim).
- ii) Una regresión basada en un modelo de rendimiento de cultivo.
- iii) Un modelo del uso económico de la tierra que simula la competencia entre silvicultura y alternativas del uso de la tierra en la agricultura hasta el año 2080 utilizando la temperatura y precipitación consumidas dados los escenarios climáticos de rendimientos de las actividades agrícolas.

Los resultados de los modelos implican que el impacto directo del cambio climático tendrá el más grande impacto sobre servicios de ecosistemas de bosques

comparando cambios en el uso inducido de la tierra por cambios climáticos o económicos. Además el cambio climático está proyectado para impactar el sistema del ecosistema de bosques en todas elevaciones, con la intensidad y velocidad del cambio dependiendo de la intensidad del escenario climático.

(Ray S. , 2013) Realizaron un estudio a partir de un modelo de negocios para el cambio climático, la metodología está basada en un análisis cualitativo de los impactos del cambio climático en India a través de su crecimiento industrial. En este trabajo se considera que las empresas sean conscientes de la amenaza climática y la formulación de un plan de acción. Se propone un modelo de respuesta de medición del acto a evaluar (MAA por sus siglas en inglés), que tiene tres grandes componentes:

- i) Medida de la Huella de Carbono: la cual nos dice que las emisiones deben ser medidas por las propias empresas a través de cadenas y regiones de producción, operaciones y el consumo. Una cadena de suministro o una perspectiva de cadena de valor ofrece una mejor estrategia de mitigación de riesgos. Las operaciones y la respuesta al cambio climático en las empresas tiene un gran impacto social, económico y político.
- ii) Evaluación de la vulnerabilidad y la oportunidad: debe realizarse desde una perspectiva de riesgo-oportunidad, por lo que la vulnerabilidad puede agruparse de manera cualitativa y en las zonas bajas deben abordarse mediante el control intensivo de carbono mediante toma de medidas operatorias a corto plazo.
- iii) Ley de la vulnerabilidad y la oportunidad. Se argumenta que no puede haber dos grandes tipos de respuestas. El primer tipo es intuitivo basado en la visión de la organización y el liderazgo actual. El segundo tipo es más medido, profesional y de carácter estratégico.

Los resultados mostraron que para las empresas en los países en desarrollo, la respuesta al cambio climático es un evento lento pero seguro por venir. Si bien la elección de responder a las regulaciones que se fusionan y amenazas del cambio climático, los gerentes deben evaluar su vulnerabilidad en las organizaciones y la

competencia en relación con su industria. Las respuestas pueden ir desde la simple medida de reducción de costos para la eficiencia energética a la innovación de nuevos productos y procesos y la creación de nuevos mercados.

(Pulido & López, 2014) Realizaron una investigación sobre el cambio climático y el turismo. La intención de este trabajo fue saber las consecuencias que tendrá el turismo a nivel mundial ante el aumento del cambio climático para esto se utilizó como marco de referencia la curva medioambiental de Kuznets, el estudio del precio de los permisos de emisión de dióxido de carbono, datos de la Organización Mundial del Turismo y el informe del IPCC.

La metodología utilizada fue cualitativa, es decir, se realizaron consultas literarias científicas sobre el turismo y el cambio climático, además se consultó a un grupo de expertos sobre estrategias a implementar, entrevistas individuales con los mismos, por último se realizó un *focus group*, el cual es una técnica de análisis cualitativo que pretende obtener ideas y soluciones para dar respuesta a un problema concreto. Para la realización de todo este análisis fue necesario utilizar variables y estadísticas del turismo, transporte y alojamiento de turistas.

Algunas propuestas que se han realizado para mitigar los efectos del turismo sobre el cambio climático son: emprender políticas enfocadas a crear una infraestructura que permita la sostenibilidad, investigación y desarrollo de nuevas tecnologías que ayuden a reducir las emisiones a largo plazo.

Crear un órgano que funcionaría como guardián promotor de los estándares mundiales y como un organismo de acreditación de los sistemas de acreditación existentes.

Los gobiernos deben invertir no solo en la recuperación del territorio ante desastres climáticos, sino también en su prevención.

Es importante prever los cambios necesarios para redefinir la oferta turística en función de las nuevas necesidades de confort y patrones de demanda generados por el cambio climático.

Entre los principales resultados arrojados tras este análisis hacen hincapié en que el cambio climático debe ser considerado como el mayor desafío para el sector turístico. Además se deben realizar cambios en la política de bienes y servicios e implementar acciones para disminuir la contribución del turismo al cambio climático.

(Freire-González & Puig-Ventosa, 2014) realizaron un estudio en Cataluña, España sobre los retos y oportunidades económicas ante la adaptación al cambio climático con la ayuda de órganos especializados como el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, 2013), *Economist Intelligence Unit* y el Grupo de Expertos en Cambio Climático de Cataluña. La metodología se ha realizado a través de un análisis input-output con un análisis de las oportunidades económicas de la adaptación en diversos sectores a partir de una revisión de literatura y entrevistas estructuradas que se mantuvieron con diversos agentes económicos. Entre los riesgos y oportunidades que se encontraron en los diferentes sectores están:

Agricultura: el riesgo es que se tendrá menor productividad en las cosechas, conflictos por el suministro de agua y aumento de las temperaturas, mientras que las posibles oportunidades son una plantación de cultivos más resistentes a la escasez del agua, al incremento de temperaturas y adaptación de las fechas de plantación de los cultivos.

Infraestructura y construcción: los riesgos son cambios en el clima repercuten en materiales, métodos, tecnología o tipologías constructivas utilizadas. Las oportunidades ante esto son realizar instalaciones más eficaces para la disponibilidad y tratamiento de agua y prevención de inundaciones.

Turismo: dificultad en sostener el crecimiento del turismo por creciente escasez de agua y reducción del turismo en verano por el incremento de temperaturas. Las oportunidades posibilidad de alargar las temporadas turísticas e instalación de tecnologías que mejoren la eficiencia en el suministro de agua en hoteles.

Como se puede apreciar en la revisión de la literatura existen diversos trabajos que han analizado la relación entre el cambio climático y el crecimiento económico en distintos sectores productivos como lo son el turismo, la agricultura y el sector petrolero, principalmente. Distintos países del mundo se han preocupado por disminuir sus

emisiones de GEI y por eso han hecho propuestas como las mencionadas en estos trabajos para hacer conciencia y que cada país se preocupe por las afectaciones que ha causado y combatirlas.

Capítulo II

El cambio climático y las consecuencias de su deterioro.

Para comenzar a entender el cambio climático y los cambios que ha venido sufriendo a lo largo del tiempo es importante saber a que se refiere, que características tiene y cuales son los factores que lo componen para posteriormente enfocarse a su relación con la economía, la perspectiva a nivel mundial y a nivel nacional que se tiene de su deterioro, y las medidas que se han tomado para combatirlo, por ello en este capítulo se abarcaran las secciones sobre los conceptos fundamentales sobre este tema, el enfoque de economía y cambio climático, por último la problemática del cambio climático a nivel mundial y en México.

2.1 Conceptos fundamentales del cambio climático

El cambio climático que hasta hace unos años era un tema sólo discutido entre científicos, ya es un tema de interés en los medios de comunicación y hasta en una charla cotidiana, ya que en la actualidad es algo que le concierne a todo ser humano porque es un problema que nos afecta a todos y todos hemos contribuido a su creciente impacto por las grandes cantidades de gases de efecto invernadero emitidos a la atmosfera, los cuales son los principales responsables de este cambio que estamos viviendo y seguiremos viviendo si no se toman las medidas necesarias y se hace algo al respecto.

Es importante conocer la definición de cambio climático y su diferencia con el calentamiento global ya que en ocasiones suelen confundirse estos términos.

La Comisión Marco de las Naciones Unidas contra el Cambio Climático (CMNUCC) define al cambio climático como un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a las actividades humanas que alteran la composición de la atmosfera mundial y que se suma a la variabilidad climática natural observada durante periodos de tiempo comparables. El calentamiento global por su parte es, es la manifestación más evidente del cambio climático y se refiere al incremento promedio de las temperaturas terrestres y marinas globales (SEMARNAT, 2009)

Es importante también conceptualizar los siguientes términos para entender a mayor detalle el cambio climático.

En primer lugar está el *efecto invernadero*, el cual es un fenómeno natural que siempre ha existido y permite la vida en el planeta; este efecto hace posible almacenar calor en la superficie de la tierra gracias a los gases de efecto invernadero.

Si no hubiera estos gases en la atmósfera, la temperatura en las noches descendería por debajo de los 10°C, como en la Luna, que haría que la vida tal como la conocemos no exista en nuestro planeta. Sin embargo, este fenómeno que es natural y beneficioso para la existencia del hombre, se convierte en un problema debido a que el ser humano, en su afán por el desarrollo (desde la era industrial hasta la actualidad), comenzó a emitir demasiados Gases de Efecto Invernadero (GEI), haciendo que la capacidad de almacenar calor se incremente, dando origen a un calentamiento general del planeta, denominado calentamiento global, que ha generado como consecuencia la modificación del sistema climático mundial, distorsionando los ciclos climáticos del planeta (Álvarez Lam, 2010).

Para tener más claro que son los GEI, (Martinez, Fernandez Bremauntz, & Osnaya, 2004) dan la siguiente definición: son aquellos capaces de atrapar la radiación infrarroja que escapa de la superficie de la Tierra hacia el espacio y transferirla, en forma de calor, al resto de los gases que forman la atmosfera. Los GEI se dividen en gases de efecto directo e indirecto.

- Gases de efecto indirecto. Son aquellos que tienen capacidad para influir en la concentración atmosférica de otros gases de efecto invernadero; por ejemplo, el ozono, el cual además de su carácter oxidante en la atmosfera baja, también puede atrapar radiación infrarroja y filtraciones ultravioleta.
- Gases de efecto directos. Son el bióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), el óxido nitroso (N₂O) y los hidrocarburos.

En general los principales GEI que son emitidos hacia la atmosfera son: el vapor de agua, el ozono, bióxido de carbono, metano, óxido nitroso y los hidrocarburos. Pero solo se tomaran en cuenta aquellos que son emitidos en grandes cantidades.

- **Bióxido de carbono (CO₂).** Es un subproducto de la respiración celular y de la utilización de combustibles fósiles y es el más importante y su fuente principal es el consumo de combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas natural), también se genera en las acerías y fundiciones, plantas de cemento y usinas térmicas, por la quema de dichos combustibles en gran escala.
- **Metano (CH₄).** Generalmente procede de fuentes naturales, (el producido por las bacterias de los pantanos o el rumiar del ganado), pero su aumento drástico se debe a la actividad humana creciente. También se genera en los arrozales, en la putrefacción de los depósitos de basura, o como resultado secundario de las excavaciones de las minas de carbón y en la extracción de petróleo y gas.
- **Óxido nitroso (N₂O).** Se origina en la fabricación de nailon y otros productos químicos, en el uso de fertilizantes nitrogenados para cultivos, y también por el uso de combustibles fósiles.

2.2 Enfoque de la economía y el medio ambiente

En este apartado se examinan los conceptos de economía y ecología, se percibe que por su propia naturaleza son opuestos. La economía tiene como principal objetivo el propósito constante de crecimiento, que implica el uso continuo de los factores de producción de los cuales los recursos naturales juegan un papel importante. En cambio, la ecología busca el mantenimiento de los ecosistemas que se basan en la estabilidad, el equilibrio y la autorregulación. Estos constituyen los criterios para conseguir la sustentabilidad.

Alcanzar la pureza ambiental absoluta implica renunciar a los logros económicos que han sido incorporados en nuestro estilo moderno de vida en forma de productos. Por lo que no debe generarse un declive en el crecimiento económico de un país para lograr un mejor cuidado del medio ambiente, si no que se debe llegar a un balance donde ambos se vean beneficiados (Savary, 2014).

La gran mayoría de los estudios que se han realizado referentes al cambio climático y la economía van enfocados hacia una necesidad de disminuir el

calentamiento global por los costos que este representa en las economías del país. Las actividades antropogénicas y algunos procesos naturales son las causas directa e indirecta del cambio del sistema climático. Esto es, en las últimas décadas el aumento de la concentración de los GEI es el factor dominante en el forzamiento radiactivo. De esta forma, la mayor parte del aumento observado en las temperaturas medias mundiales desde mediados del siglo XX se debe muy probablemente al aumento de las concentraciones de GEI de origen antropogénico.

La evidencia disponible indica que la tasa de calentamiento durante los últimos 50 años ha sido en promedio $0.13^{\circ}\text{C} \pm 0.03^{\circ}\text{C}$ por década, duplicándose en los últimos 100 años. Las precipitaciones más intensas han crecido de una manera alarmante desde 1950, incluso en regiones donde las precipitaciones eran menores. Por otro lado, se han presentado aumentos en las sequías desde 1970, particularmente en los trópicos y subtropicales, que están relacionadas con las disminuciones de las precipitaciones y con temperaturas más altas (Galindo, 2014).

El cambio climático es un fenómeno global pero que se manifiesta de manera muy heterogénea por regiones con efectos asimétricos importantes. Ello implica diferencias significativas en la forma de abordar un estudio global y uno regional. Por ejemplo, la estrecha relación entre los procesos de mitigación y de adaptación que existe a nivel global no se sostiene por regiones. Más aún, en general, se observa que los países desarrollados que contribuyen con una mayor proporción en la generación de GEI, simultáneamente, sufren los menores impactos económicos y disponen de la mayor capacidad de adaptación y mitigación. Por el contrario, los países menos desarrollados tienen una menor contribución en emisiones pero son más sensibles a los impactos climáticos y disponen de una menor capacidad de adaptación y mitigación. Estas condiciones hacen en extremo complejo construir un acuerdo internacional para enfrentar el cambio climático e indican la importancia de disponer de estudios regionales a profundidad que contribuyan a ponderar las formas de participación de cada país (Galindo, 2014).

2.3 El problema del cambio climático a nivel mundial.

Los cambios que los científicos pueden medir en la atmósfera, los océanos, las capas de hielo y los glaciares indican sin lugar a dudas que el mundo ya se está calentando como consecuencia de las emisiones de GEI de años atrás. Estos cambios forman parte de un mundo más cálido de grandes oleadas de calor, un nuevo régimen de vientos, el empeoramiento de la sequía en algunas regiones, un régimen de lluvias mucho más frecuente en otras, el derretimiento de los glaciares y de hielo ártico y un aumento del nivel del mar.

De acuerdo al Quinto informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2014) los impactos de los recientes eventos climatológicos extremos, tales como las olas de calor, las sequías, las inundaciones y los incendios forestales, demuestran una significativa vulnerabilidad y exposiciones de algunos ecosistemas y muchos sistemas humanos, como la producción alimentaria, debido a la variabilidad climática donde las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero han aumentado a niveles sin precedentes a pesar de un número creciente de políticas para reducir el cambio climático.

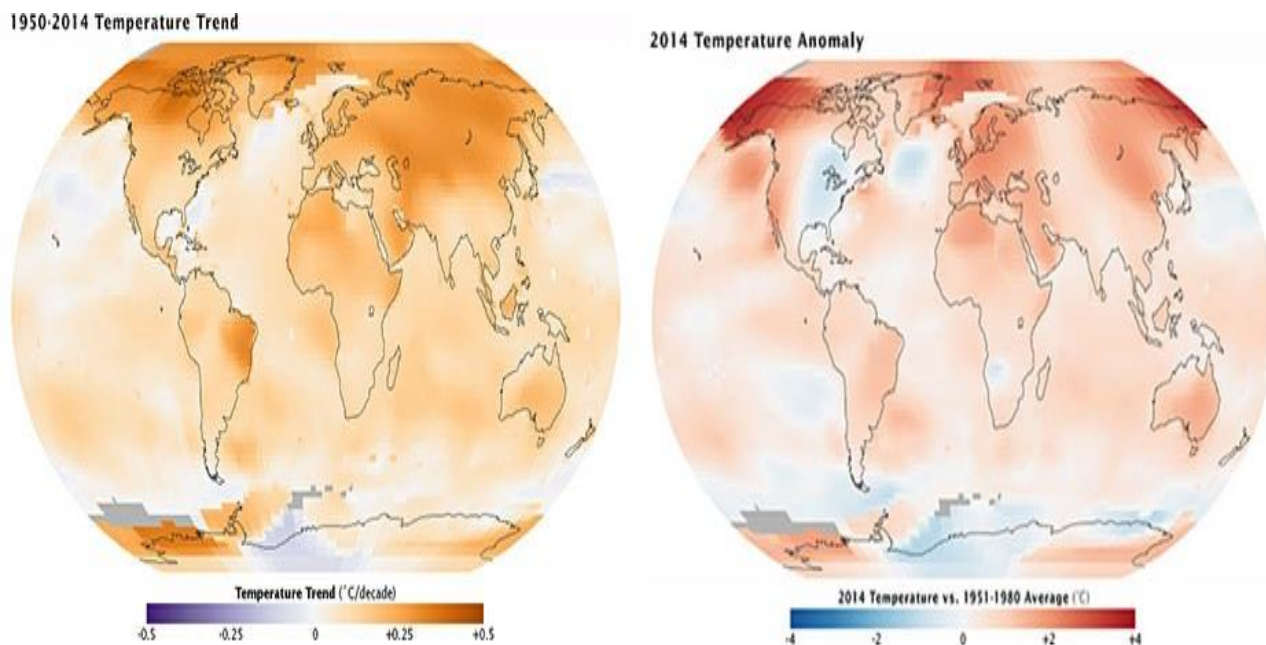
Las emisiones aumentaron más rápidamente entre 2000 y 2010 que en cada uno de los tres decenios anteriores. Según la contribución del Grupo de Evaluación del IPCC, con una amplia gama de medidas tecnológicas y cambios de comportamiento sería posible limitar el aumento de la temperatura media global a 2 grados Celsius por encima de los niveles preindustriales. Sin embargo, solo un cambio institucional y tecnológico importante haría que hubiera más del 50% de probabilidades de que el calentamiento global no superara ese umbral.

En consecuencia el cambio climático es una creciente amenaza para la seguridad humana, ya que perjudica el acceso a los alimentos, al agua y al refugio, destruye pertenencias, pone en peligro la cultura y la identidad, aumenta la migración forzada y la rivalidad, y desafía a la capacidad de los estados para proporcionar las condiciones necesarias en seguridad humana. Indirectamente, todo esto puede derivar en riesgos de conflictos violentos (IPCC, 2014).

Además en la actualidad, los cambios en la temperatura de la Tierra son evidentes a pesar de que la comunidad internacional se ha comprometido a reducir sus emisiones de GEI a partir de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) como se muestra en la figura 2.1, los esfuerzos no han sido suficientes y la concentración de GEI en la atmósfera continua aumentando. Bajo las condiciones actuales, hacia 2100 en incremento en la temperatura podría llegar hasta 4°C por encima de los niveles preindustriales.

Figura 2.1

Anomalía Climática de 1950-2014 contra la temperatura en el año 2014.



Fuente: GISS Surface Temperature Analysis, recuperado de: <http://www.giss.nasa.gov/research/news/20150116/>

De acuerdo con el IPCC se han identificado los siguientes riesgos clave para las diferentes regiones del mundo:

África: estrés hídrico, reducción de la producción de alimentos, expansión de las enfermedades.

Europa: inundaciones, disponibilidad de agua dulce, eventos de calor extremo.

Asia: inundaciones, mortalidad causada por el calor, escasez de alimentos y agua debido a sequías.

Australia: daños y pérdidas en las barreras de coral y otras especies, daños por inundaciones, daños costeros.

América del Norte: incendios forestales, extremos de calor, inundaciones.

América central y sur: escasez de agua, inundaciones urbanas, producción de alimentos.

Islas pequeñas: pérdida de modos de vida e infraestructuras, aumento del nivel del mar.

El océano: cambios en la distribución de los stocks pesqueros y otras especies de invertebrados, pérdida de los arrecifes de coral y los servicios que presta este ecosistema, inundaciones en la costa y pérdida de hábitat.

Regiones polares: riesgos en los ecosistemas, riesgos para la salud y el bienestar de los habitantes del Ártico e impredecibles desafíos y peligros para las comunidades del norte.

De acuerdo con *The Carbon Dioxide Information Analysis Center* (CDIAC) y el Instituto de Investigación del Medio Ambiente, Energía y Economía, se muestra a continuación una tabla con el ranking de los 15 países que más Gases de Efecto Invernadero emitieron durante el año 2010.

Tabla 2.1**Ranking de los 15 países con mayores emisiones de CO₂ en 2010.**

No.	País	CO ₂ (Toneladas)
1	China	2,259,856
2	Estados Unidos	1,481,608
3	India	547,811
4	Rusia	474,714
5	Japón	319,257
6	Alemania	203,268
7	República Islámica de Irán	155,880
8	República de Corea	154,777
9	Canadá	136,116
10	Reino Unido	134,580
11	Arabia Saudita	126,665
12	Sudáfrica	125,477
13	México	120,991
14	Indonesia	118,350
15	Brasil	114,468

Fuente: Elaboración propia con datos de CDIAC (2010) y el Instituto de Investigación del Medio Ambiente, Energía y Economía localizados en: <http://cdiac.ornl.gov/trends/emis/top2010.tot>

Por otra parte entre los principales países que emiten contaminantes a la atmosfera de acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2014) se encuentran:

1.- India. Cada año mueren más de 900 mil indios sólo por efecto de la contaminación ambiental, logrando así la mayor tasa de muertes por enfermedades respiratorias a nivel mundial. Debido a que en este país se concentra una gran cantidad de población, en términos proporcionales hay más gente afectada por la contaminación en Nueva Delhi que en Beijing.

Dentro de los factores que más han influenciado a que la contaminación atmosférica haya alcanzado niveles peligrosos se encuentran las insuficientes políticas públicas medioambientales y el acelerado aumento del parque automotriz, además del desmedido crecimiento de las industrias de gran impacto ambiental.

2.- China. Este país está bajo presión internacional para tomar medidas efectivas contra la contaminación. Sus niveles son extremadamente dañinos y Beijing es la ciudad que se ha visto más afectada.

Uno de los principales factores causantes del problema es la alta dependencia de China al carbón, una de las fuentes de energía más contaminantes, y que supone más del 60% de la energía consumida en la nación por lo cual cada vez más personas critican el modelo económico de crecimiento a cualquier precio que ha contaminado buena parte del aire, el agua y el suelo de China.

3.- Nepal. Debido a ser mayoritariamente un país con zonas rurales, Nepal sufre de altos niveles de partículas finas en suspensión en ambientes cerrados. De acuerdo con estudios, el uso del combustible de biomasa para cocinar ha incrementado sustancialmente el riesgo de tuberculosis y de muertes asociadas a enfermedades del corazón, las cuales aumentaron un 22% en el último año en este país.

Según la OMS, junto con India, Nepal cuenta con grandes cantidades de escapes resultantes de los gases de la comida hecha en casa además de la emisión de contaminantes de automóviles, los cuales han crecido en número y no son normados por las autoridades sanitarias respecto al uso del combustible.

4.- Bangladesh. Recientemente esta localidad fue fuertemente afectada por la contaminación del agua con altos niveles de arsénico. Sin embargo, la contaminación ambiental de interiores es bastante fuerte desde hace años, sobre todo por causa del uso de carbón vegetal para la calefacción y la cocina.

De acuerdo con el Índice de Comportamiento Ambiental, más del 50% de las personas sufre afecciones a su salud debido al exceso de PM2.5 (nivel de partículas en suspensión), que también se ha visto en incremento gracias al uso de combustibles de mala calidad en vehículos y transportes pesados.

5.- Pakistán. Este país excede en grandes niveles los grados considerados saludables de PM2.5, que principalmente son de dióxido de sulfuro y dióxido de nitrógeno. Los vehículos de motor, las fábricas, las plantas de energía y las pequeñas industrias son

los principales contaminantes del ambiente, además de fábricas nucleares y de producción de aceite.

2.4 El problema del cambio climático en México.

Actualmente México cuenta con un alto crecimiento económico y con ello un alto crecimiento en el deterioro ambiental a pesar de que ocupó el lugar número 13 a nivel mundial de emisiones de GEI en 2010 de acuerdo al CDIAC, pero no por ello deja de ser preocupante a nivel nacional las manifestaciones climáticas relacionadas con la emisión de contaminantes a la atmosfera como: inundaciones, huracanes o sequias, por mencionar algunas consecuencias que ha provoca la constante explotación de los suelos para el cultivo agrícola o la extracción y consumo cada vez mayor de combustibles fósiles, por ello es que el cambio climático es un fenómeno continuo y de largo plazo, con un elevado nivel de incertidumbre, donde se requiere construir escenarios económicos de largo plazo.

El fenómeno del cambio climático contiene un alto nivel de incertidumbre atendiendo al conjunto tan heterogéneo de las variables involucradas; climáticas, económicas, sociales, políticas, demográficas o incluso de política internacional, a los impactos específicos por regiones, los procesos de mitigación y adaptación. En este contexto, es indispensable realizar escenarios prospectivos sobre la evolución de la economía mexicana para los próximos cien años que permitan identificar una línea base sobre la que se pueda contrastar los impactos y los procesos de mitigación y adaptación del cambio climático en México.

México es el segundo país con mayor número de muertes por contaminación atmosférica de toda América Latina. Así lo reporta un estudio realizado por el *Clean Air Institute*, en el que se destaca que de acuerdo con la OMS México registra 15 mil decesos por año atribuibles a la contaminación del aire ambiental, siendo únicamente superado por Brasil que acumula 23 mil muertes.

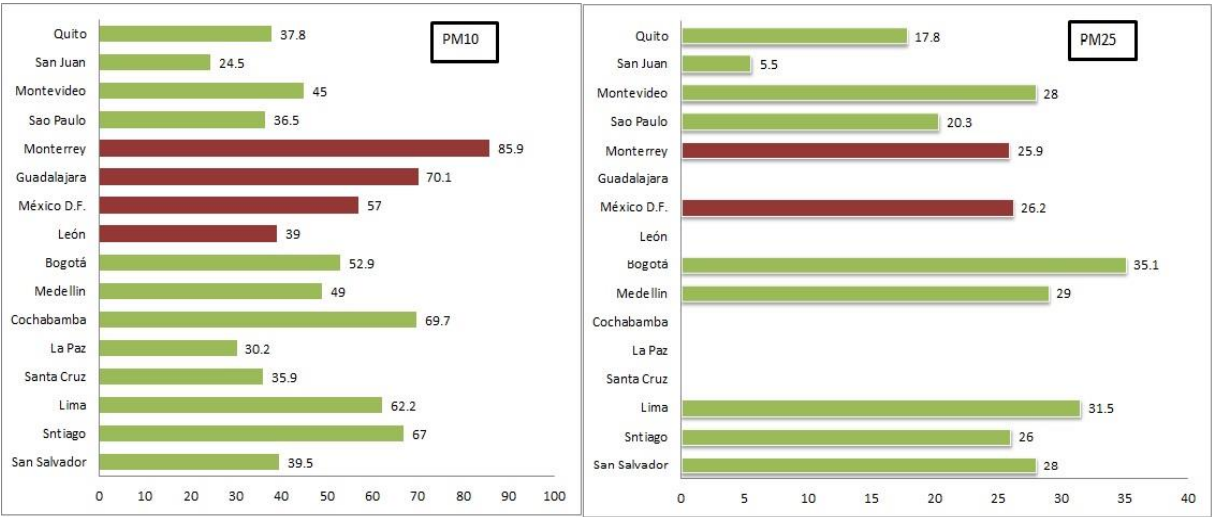
El informe *La calidad del aire en América Latina: una visión panorámica*, remarca que la ciudad de Monterrey tiene los niveles más altos en toda América Latina de

contaminación por PM₁₀ (Material Particulado que provienen de los gases emitidos por los vehículos y la generación de energía), mientras que el Distrito Federal y Guadalajara superan los niveles de polución de ciudades como Medellín, Bogotá, Montevideo, Sao Paulo o San Salvador.

El estudio detalla al respecto que Monterrey tiene una concentración de PM₁₀ en el aire de 85.9 microgramos por metro cúbico, cuando el nivel exigido por la Unión Europea y la OMS es de 40 y 20 microgramos por metro cúbico, respectivamente. En la ciudad de México la acumulación de estas partículas contaminantes en la atmosfera es de 57 microgramos por metro cúbico y en Guadalajara es de 70.1.

A continuación se muestra con mayor detalle un gráfico con las principales ciudades de América Latina con mayores concentraciones de PM₁₀ y PM₂₅.

Figura 2.2
Gráfico de las principales ciudades de América Latina con mayores concentraciones de PM₁₀ y PM₂₅ durante el 2011.



Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos en: <http://www.animalpolitico.com/2013/04/mexico-20-pais-de-al-con-mas-muertes-por-contaminacion-oms/>

Ahora se muestra un estudio del Instituto Mexicano de la Competitividad (IMCO) donde se analizó la calidad del aire y se concluyó que las siguientes ciudades tienen un mayor impacto en la salud en el país.

Tabla 2.2
Principales ciudades de México con altos niveles de contaminación en el aire.

No.	Ciudad	Tasa de muertes prematuras	Tasa de hospitalizaciones	Tasa de consultas
1	Mexicali	30	74	3039
2	Cuernavaca	15	28	2252
3	Monterrey	13	44	2622
4	Tijuana	10	32	1316
5	Zona Metropolitana del Valle de México	9	21	10
6	Toluca	9	10	1333
7	Chihuahua	7	22	1123
8	León	7	21	1324
9	Celaya	7	21	1298
10	Irapuato	7	20	1281

Fuente: elaboración propia con datos de del Instituto Mexicano para la Competitividad obtenido de: <http://www.altonivel.com.mx/38281-las-10-ciudades-mas-contaminadas-en-mexico.html>

En el siguiente grafico se muestra el incremento de emisiones de GEI de 1990 a 2010, donde se puede apreciar que el sector energético es el que emite más contaminantes a la atmosfera, seguido de la agricultura.

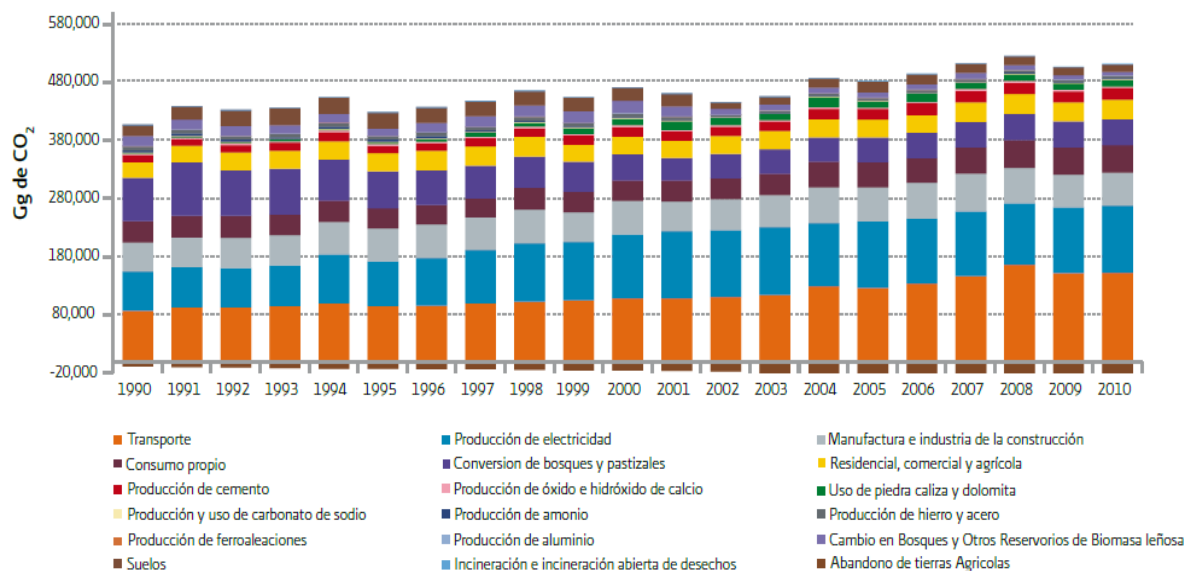
Figura 2.3
Grafico del incremento de emisiones de GEI del año 1990 al 2010.



Fuente: Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (INEGEI, 2010).

En la figura 2.3 se muestra un panorama de la situación en México sobre las emisiones de CO₂ durante el año 2010 en los diferentes sectores. Las emisiones de CO₂ fueron de 493,450.6 Gg en 2010, contribuyeron un 65.9% del total, teniendo un incremento de 23.6% respecto a 1990.

Figura 2.4
Emisiones de CO₂ por sector.

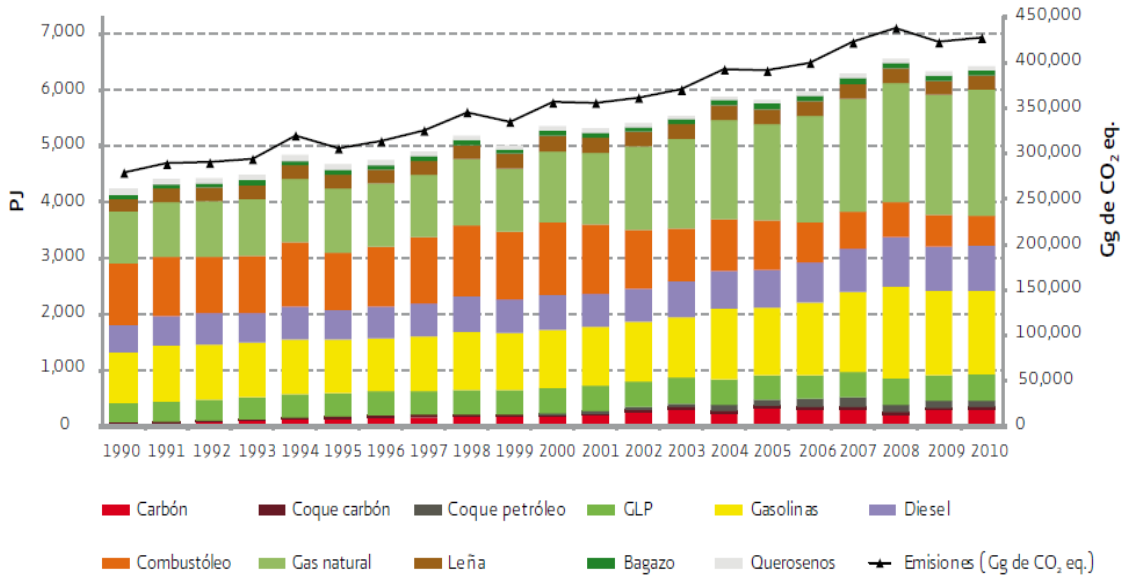


Fuente: Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (INEGI 2010).

En México los sectores con mayor contribución porcentual de emisiones de CO₂ fueron: transporte, 31.1%; generación eléctrica, 23.3%; manufactura y construcción, 11.4%; consumo propio de la industria energética, 9.6%; conversión de bosques y pastizales, 9.2%, y otros (residencial, comercial y agropecuario), 6.7%.

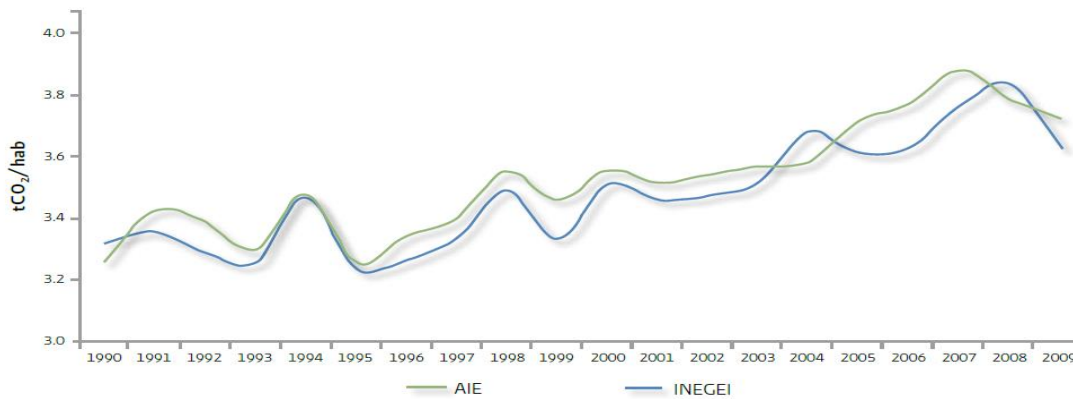
Durante el año 2011 nuestro país contribuyo con el 1.4% de las emisiones globales de CO₂ derivadas principalmente de la quema de combustibles fósiles. De acuerdo con estas cifras México es el décimo segundo país con mayores emisiones en el mundo.

Figura 2.5
Emisiones (Gg de CO₂ eq.) asociadas al consumo de combustibles fósiles.



Fuente: Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (INEGEI, 2010).

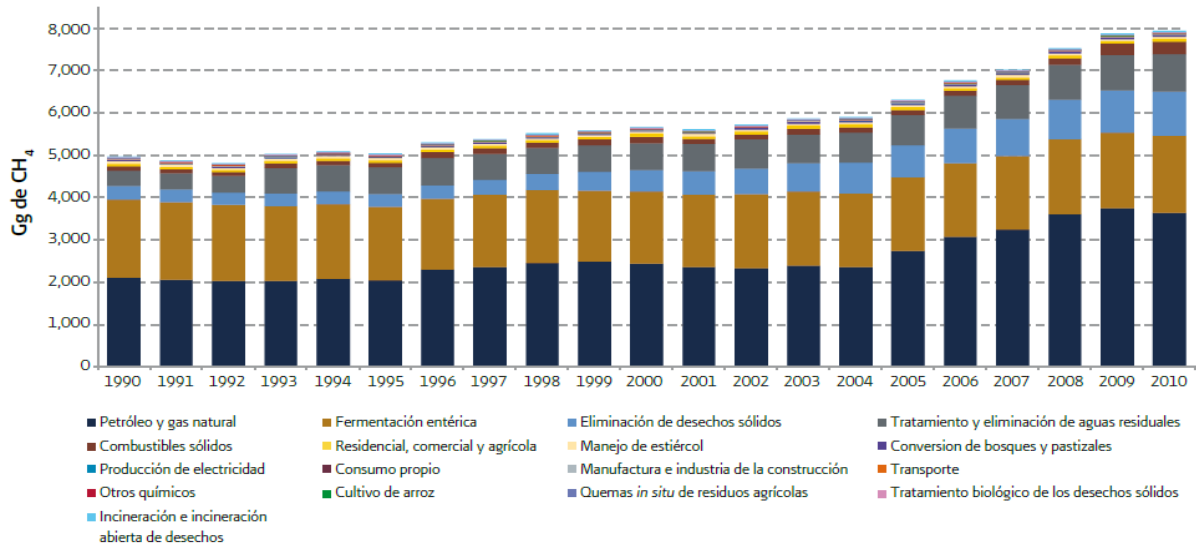
Figura 2.4
Comparativa de las emisiones de CO₂ per cápita.



Fuente: Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (INEGEI, 2010).

Por otra parte las emisiones de CH₄ fueron de 7,938.9 Gg, lo que representa un incremento de 59.8% con respecto a 1990. Las principales fuentes de emisión corresponden a las categorías de Desechos, Energía y Agricultura, ver figura 2.5.

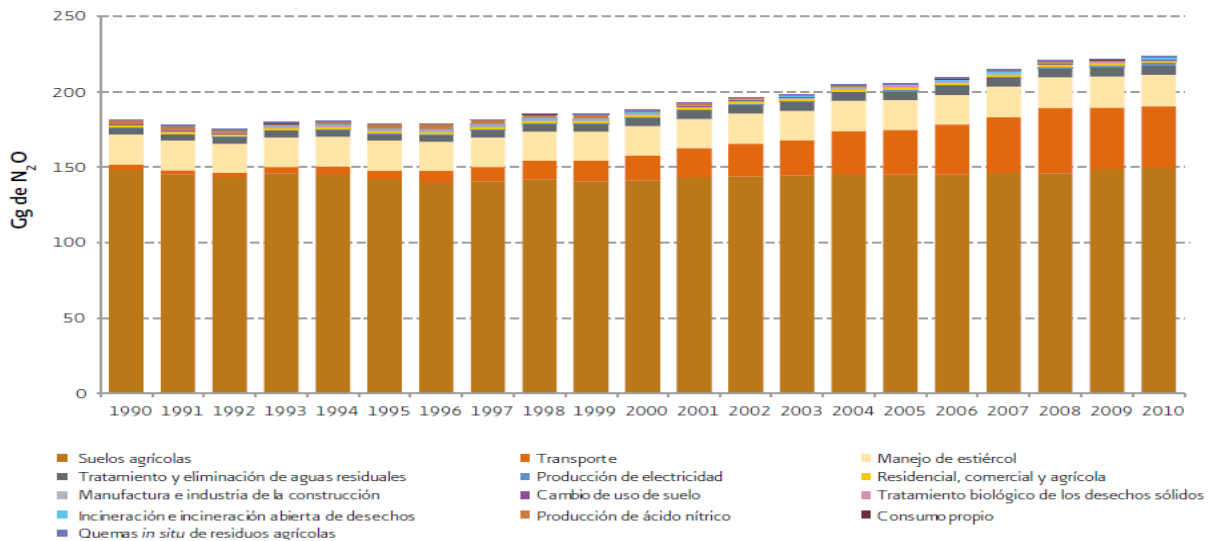
Figura 2.6
Emisiones de CH₄ por sector.



Fuente: Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (INEGEI, 2010).

La principal contribución de N₂O en 2010 provinieron de: suelos agrícolas, 67.2%; transporte, 18.2%; manejo de estiércol, 9.3%; y tratamiento y eliminación de aguas residuales, 2.8%.

Figura 2.7
Emisiones de N₂O por sector



Fuente: Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (INEGEI, 2010).

Política nacional contra el Cambio Climático.

El principal instrumento con el que cuenta el país para enfrentar el cambio climático es la Ley General de Cambio Climático (LGCC). Esta ley determina de manera clara el alcance y contenido de la política nacional de cambio climático, define las obligaciones de las autoridades del Estado y las facultades de los tres órdenes de gobierno, además establece los mecanismos necesarios para enfrentar este reto.

Lo que se pretende en la LGCC es fomentar y posibilitar la incorporación de acciones de adaptación y mitigación con un enfoque de largo plazo donde exista una participación y corresponsabilidad social. Las acciones para combatir el cambio climático requieren de recursos económicos, de los cuales México tiene recursos limitados, lo que obliga al país a realizar un esquema para aprovechar de una forma más eficiente los recursos.

En conclusión tanto a nivel nacional como a nivel mundial el problema del cambio climático es un tema que nos concierne a todos, pero aún hace falta hacer mucho para concientizar a la población sobre el daño que se está provocando al planeta y que este cambio no solo repercute a la salud o a la naturaleza, sino que abarca todos los sectores del país porque en esencia todo depende de los recursos ofrecidos por el planeta.

A pesar de que nuestro país no se encuentre entre los principales países contaminantes del mundo es de suma importancia que leyes como la LGCC se lleven a cabo y se implementen estrategias viables y alcanzables para poder ayudar no solo al medio ambiente sino también a la continuidad del desarrollo económico del país.

Capítulo III

Metodología: Modelo de Regresión para análisis de correlación y Simulación Monte Carlo

En el presente capítulo se hará una introducción de los conceptos esenciales de regresión, correlación, modelo de regresión lineal, modelo de regresión múltiple, las pruebas que deben cumplir las variables para comprobar su relación, posteriormente que es un modelo de simulación Monte Carlo, así como las ventajas y desventajas del modelo, la importancia de la utilización de números aleatorios y el desarrollo del modelo de simulación.

Para abordar este capítulo se hace referencia a los libros que han sido desarrollados por (Azofeifa, 2010), (García, Heriberto, & Cárdenas, 2006), (Ray, J. Sweeney, & Williams, 2009), (Taha, 2012), (Uriel, 2013), (Orellana, 2008) y (Drapen & Smith, 2009) principalmente, el cual se fundamentara en la construcción teórica de este apartado. Se aclara que el desarrollo de los siguientes párrafos están basados en la teoría planteada por estos autores.

3.1 Análisis de regresión.

El análisis de regresión consiste en emplear métodos que permitan determinar la mejor relación funcional entre dos o más variables relacionadas.

3.1.1 Coeficiente de determinación.

Mide el porcentaje de variación en la variable respuesta, explicada por la variable independiente.

Se obtiene a partir de

$$SCT = SCR + SCE$$

SCR= Suma de cuadrados de la regresión

SCE= Suma de cuadrados residual (error).

Dividiendo ambos miembros por la SCT, se tiene:

$$1 = SCR/SCT + SCE/SCT$$

De este resultado se obtienen el coeficiente de determinación como:

$$R^2 = 1 - \text{SCE/SCT} = \text{SCR/SCT}$$

$$R^2 = \text{SC regresión} / \text{SC total}$$

Se interpreta como una medida de ajuste de los datos observados y proporciona el porcentaje de la variación total explicada por la regresión.

3.1.2 Coeficiente de correlación

El análisis de correlación estudia el grado de asociación de dos o más variables. Su valor varía entre -1 y +1, esto es:

$$-1 \leq r \leq 1$$

Si $r = -1$ la asociación es perfecta pero inversa, es decir, a valores altos de una variable le corresponden valores bajos a la otra variable y viceversa.

Si $r = 1$, también la asociación es perfecta pero directa.

Si $r = 0$, no existe asociación entre las dos variables.

La ecuación para el cálculo del coeficiente de correlación es la siguiente:

$$r = \frac{S_{xy}}{S_x S_y}$$

$$S_{xy} = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n - 1}$$

En el análisis de regresión lineal simple el coeficiente de correlación es igual al coeficiente de determinación.

3.1.3 Regresión Lineal Simple

Cuando la relación funcional entre la variable dependiente (Y) y la variable independiente (X) es una línea recta, se tiene una regresión lineal simple, dada por la siguiente ecuación:

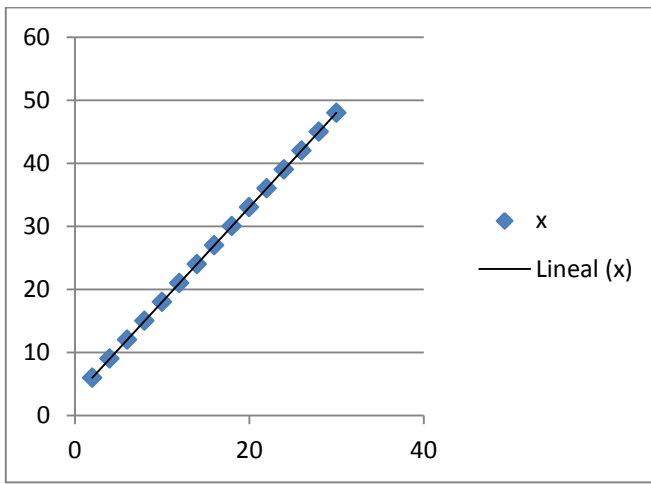
$$Y=B_0+B_1X+\varepsilon$$

Dónde:

B_0 : el valor de la ordenada donde la línea de regresión se intersecta al eje Y.

B_1 : el coeficiente de regresión poblacional (pendiente de la línea recta)

ε : error.



Fuente: elaboración propia.

3.1.4 Método de Mínimos Cuadrados

El método de mínimos cuadrados obtiene estimaciones de los coeficientes de la ecuación línea β_0 y β_1 en el modelo.

$$SCE = \sum e_i^2 = \sum (y_i - \hat{y}_i)^2$$

Estimadores de coeficientes por el método de mínimos cuadrados

El estimador del coeficiente de la pendiente es:

$$b_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = r \frac{S_x}{S_y}$$

Y el estimador de la constante u ordenada en el origen es:

$$b_0 = \bar{y} - b_1 \bar{x}$$

El método de mínimos cuadrados podría utilizarse para calcular estimaciones de los coeficientes b_0 y b_1 utilizando cualquier conjunto de datos pareados. Pero para esto es necesario hacer uso de la inferencia y comprobar una serie de supuestos, al comprobarse estos supuestos puede demostrarse que los estimadores de los coeficientes por mínimos cuadrados son insesgados y tienen una varianza mínima.

3.1.5 Supuestos de la regresión lineal.

Para comprobar el modelo de regresión lineal utilizando los coeficientes estimados se comprueban los siguientes supuestos:

1. las Y son funciones lineales de X más un término de error aleatorio.
2. las x son números fijos o son realizaciones de la variable aleatoria X que son independientes de los términos de error.
3. los términos de error son variables aleatorias que tienen la media 0 y la misma varianza, este segundo supuesto se llama homocedasticidad o varianza constante.

$$E[\varepsilon_i] = 0$$

$$E[\varepsilon_i^2] = \sigma^2 \text{ para } i=1,2,\dots,n$$

4. Los términos de error aleatorio, E_i no están correlacionados entre sí, por lo que:

$$E[\varepsilon_i \varepsilon_j] = 0 \text{ para todo } i \neq j$$

3.1.5.1 Hipótesis general

Comprobación de la pendiente de la regresión con t-Student

En el modelo de regresión vemos que si B_1 es 0, entonces no existe una relación lineal, es decir Y no aumentaría o disminuiría continuamente cuando aumenta X . Para corroborar si existe la relación línea se comprueba la siguiente hipótesis:

$$H_0: \beta_1 = 0$$

Frente a $H_1: \beta_1 \neq 0$

Donde b_1 sigue una distribución normal, podemos contrastar esta hipótesis utilizando el estadístico t de Student calculado de la siguiente manera:

$$b = \frac{b_1 - \beta_1}{S_{b_1}}$$

Siendo B_1 la pendiente de la ecuación poblacional y b_1 su estimación por mínimos cuadrados basada en n pares de observaciones muestrales.

Otra alternativa para corroborar la hipótesis es utilizando el p-valor de b_1 , lo que es una prueba alternativa de que B_1 no es igual a 0. El p-valor es el menor nivel de significación al que puede rechazarse la hipótesis nula.

Que se distribuye como una t de Student con $n-2$ grados de libertad, si se cumplen los supuestos del modelo de regresión y suponiendo que los errores E_i siguen una distribución normal.

Con distribución F

Se puede contrastar la hipótesis:

$$H_0: \beta_1 = 0$$

Frente a $H_1: \beta_1 \neq 0$

Utilizando el estadístico F

$$\text{Donde } F = \frac{CMR}{ECM} = \frac{SCR}{S_e^2}$$

La regla de decisión es:

Rechazo H_0 si $F \geq F_{1,n-2,\alpha}$

También se puede mostrar que el estadístico F es igual a $t_{b_1}^2$ en cualquier análisis de regresión simple.

3.1.2 Análisis de Regresión Múltiple

El análisis de regresión Lineal Múltiple permite establecer la relación que se produce entre una variable dependiente Y y un conjunto de variables independientes (X_1, X_2, \dots, X_k). A diferencia del análisis de regresión simple la regresión múltiple se aproxima más a situaciones de análisis real puesto que los fenómenos, hechos y procesos sociales, son más complejos y deben explicarse por las variables que directa e indirectamente participan en su concreción.

La notación para el modelo de regresión lineal múltiple es la siguiente:

$$Y = a + b_{1x1} + b_{2x2} + \dots + b_{n \times n} + \varepsilon$$

En donde:

Y es la variable a predecir.

$a, b_{1x1}, b_{2x2}, \dots, b_{n \times n}$ son parámetros desconocidos a estimar.

ε es el error que se comete en la predicción de los parámetros.

Los supuestos de la regresión lineal múltiple son los mismos descritos en la regresión lineal a excepción de las pruebas particulares que se realizan a cada una de las variables productoras para comprobar si tienen o no relación con la variable dependiente, esta se describe a continuación:

$$H_0: \beta_i = 0$$

Frente a $H_1: \beta_i \neq 0$ para $i = 1, 2, \dots, n$

3.2 Generalidades de la simulación.

Actualmente la simulación es un método utilizado en muchas áreas para predecir acontecimientos inciertos y poder tomar decisiones de acuerdo a los resultados obtenidos mediante la utilización de *software*, esto facilita la resolución de una gran variedad de problemáticas y por ello es una herramienta útil y con gran desarrollo en la actualidad (Ray, J. Sweeney, & Williams, 2009).

En primer lugar hay que definir el término simulación para posteriormente entender como funciona y los requerimientos para su aplicación.

La *simulación* es el proceso de diseñar y desarrollar un modelo lógico-matemático de un sistema o proceso con el propósito de entender el comportamiento del sistema o evaluar varias estrategias con las cuales este puede operar a través de la experimentación y creando diversos escenarios a lo largo del tiempo. El objetivo del modelo de simulación consiste en comprender, analizar y mejorar las condiciones de operación relevantes del sistema (Ray, J. Sweeney, & Williams, 2009)

También es importante definir un *modelo*, el cual de acuerdo con (García, Heriberto, & Cárdenas, 2006) es un objeto, concepto o conjunto de relaciones que se utiliza para representar y estudiar de forma simple y comprensible una porción de la realidad empírica.

El *modelo de simulación* es un conjunto de hipótesis acerca del funcionamiento del sistema expresado como relaciones matemáticas o lógicas entre los elementos del sistema (Ray, J. Sweeney, & Williams, 2009).

3.2.1 Antecedentes

Durante la Guerra Fría se intensificó el uso de la simulación para resolver problemas de interés militar, trayectorias y dinámicas de satélites artificiales, así como guiar misiles, pero para muchos de estos problemas se exige la resolución de sistemas de ecuaciones diferenciales no lineales. Para abordar estos problemas se utilizaron ordenadores analógicos que usaban elementos electrónicos para resolver operaciones matemáticas.

A partir de la década de los 60 empezaron a aparecer en el mercado programas de simulación de sistemas de acontecimientos discretos que poco a poco se empezaron a utilizar para resolver problemas de ámbito civil. Los más destacables fueron el GPSS (*General Purpose System Simulator*) de IBM. Posteriormente la revolución que se produjo en la informática a partir de los años 80, tuvo un importante impacto en la simulación por ordenador y el uso de simuladores se generalizó en todos los ámbitos de la ciencia y la ingeniería (García, Heriberto, & Cárdenas, 2006)

3.2.2 Tipos de modelos de simulación

Existen diversos tipos de simulación como: simulación continua, simulación por eventos discretos, simulación por autómatas celulares o la simulación estadística o Monte Carlo. Esta última es la que analizaremos con más detalle en el siguiente apartado ya que es la que será utilizada para el desarrollo de este trabajo de investigación. A continuación se muestra una tabla con los principales tipos de modelos de simulación.

Tabla 3.1
Clasificación de los modelos de simulación.

Tipo de Modelo	Definición	Ejemplo(s)
Modelo Continuo	Se ocupa de sistemas cuyos comportamientos cambian continuamente con el tiempo y suelen hacer uso de ecuaciones diferenciales para describir las interacciones entre los diferentes elementos del sistema.	Estudio de la dinámica de la población mundial.
Modelo Discreto	Se define así al modelo cuyo comportamiento varía en instantes del tiempo dados. Los momentos en los que se producen los cambios son los que se identifican como los eventos del sistema o simulación (entradas y salidas del sistema).	
Modelo Estático	Se entiende como la representación de un sistema para un instante (en el tiempo) en particular o bien para representar un sistema en el que la variable tiempo no es tomada en cuenta.	-Simulación Monte Carlo. -Costos para cantidad de camas reservadas en un

		hospital.
Modelo Dinámico	Representa a un sistema en el que el tiempo es una variable de interés, es decir, las variables cambian en función del tiempo.	Sistema de transporte de materiales en una fábrica.
Modelo Determinístico	El aquel que no considera ninguna variable importante, comportándose de acuerdo con una ley probabilística, además los valores no se ven afectados por variaciones aleatorias y se conocen con exactitud.	
Modelo Estocástico o Probabilístico	Los valores de las variables dentro de este modelo sufren modificaciones aleatorias con respecto a un valor promedio; dichas variaciones pueden ser mejoradas mediante distribuciones de probabilidad.	Sistema de líneas de espera de una fábrica.

Fuente: elaboración propia con información obtenida de (Taha, 2012) y de: <http://es.scribd.com/doc/59214400/TIPOS-DE-MODELOS-DE-SIMULACION#scribd>

3.2.3 Programas computacionales más comunes para el desarrollo de modelos de simulación.

Para el desarrollo de modelos de simulación existe una gran variedad de programas, a continuación se mencionaran los más utilizados tanto para uso académico como empresarial.

ProModel: es uno de los paquetes de *software* comercial más usado en el mercado para simular. Cuenta con herramientas de análisis, diseño y animación que permiten al analista conocer mejor el problema y alcanzar resultados más confiables respecto de las decisiones a tomar. Se enfoca básicamente a procesos de fabricación.

Matlab: es una herramienta muy utilizada en el ámbito de la ingeniería y comunicaciones, su utilización permite simular con un alto grado de realismo el comportamiento de señales y sistemas.

Programa estadístico R: a pesar de no ser un programa diseñado específicamente para desarrollar modelos de simulación cuenta con una gran cantidad de comandos hace posible su utilización para la simulación, la generación de gráficos y distribuciones de probabilidad.

Otros programas de simulación son: GPSS (*General Purpose Simulation System*) desarrollado por Geoffrey Gordon en el seno de la corporación IBM en 1961. También esta SLAM II (*Simulation Language for Alternative Modeling*) y SIMAN (*SIMulation ANalysis*), Arena,

Para entender más a fondo un modelo de simulación existen aspectos a tomar en cuenta durante su desarrollo, los cuales son los siguientes:

- Los modelos de simulación no se han diseñado para encontrar la mejor solución óptima, sino que evalúa diferentes alternativas y se toma una decisión con base en una comparación de los resultados.
- Suelen enfocarse en operaciones detalladas del sistema, se estudia la manera como funcionan a través del tiempo y se incluyen los efectos de los resultados de un periodo sobre el siguiente.
- Los modelos de simulación incluyen elementos aleatorios o probabilísticos.

3.2.4 Errores comunes al realizar un modelo de simulación.

- Tamaño insuficiente de la corrida.
- Variables de respuesta mal definidas.
- Errores al establecer las relaciones entre las variables aleatorias.
- Errores al determinar el tipo de distribución asociado a las variables aleatorias del modelo.
- Falta de un análisis estadístico de los resultados.
- Uso incorrecto de la información obtenida.

- Falta o exceso de detalles en el modelo.

3.2.5 Ventajas y desventajas de los modelos de simulación.

A continuación se muestra un cuadro con las principales ventajas y desventajas que se presentan en la realización de un modelo de simulación.

Tabla 3.2
Ventajas y desventajas de los modelos de simulación.

Ventajas	Desventajas
<p>Herramienta que ayuda a conocer el impacto de los cambios en los procesos sin necesidad de llevarlos a cabo en la realidad.</p> <p>Mejora el conocimiento del proceso actual al permitir que el analista vea como se comporta el modelo generado bajo diferentes escenarios.</p> <p>Puede utilizarse como un medio para la toma de decisiones.</p> <p>Es más económico realizar un estudio de simulación que hacer muchos cambios en los procesos reales.</p> <p>Permite probar varios escenarios en busca de las mejores condiciones de trabajo de los procesos que se simulan.</p>	<p>Frecuentemente el modelo omite variables o relaciones importantes entre ellas.</p> <p>Resulta difícil conocer la precisión de la simulación, especialmente en lo relativo a la precisión del modelo formulado.</p> <p>Cada simulación es única, ya que tienen la intervención del azar.</p> <p>El desarrollo de modelos poder ser lento, costoso y tardado.</p>

Fuente: elaboración propia basada en (García, Heriberto, & Cárdenas, 2006)

3.2.6 Etapas para el desarrollo de un modelo de simulación.

Al igual que con otras herramientas de investigación, los modelos de simulación requieren de la ejecución de una serie de pasos para llevarse a cabo para su mejor

realización y análisis. A continuación se presenta una figura que describe los pasos básicos para la realización de un modelo bajo ésta metodología.

Figura 3.1
Pasos para la realización de un modelo de simulación.

Descripción del problema	<ul style="list-style-type: none"> • Saber que origina el estudio de simulación , establecer las variables de decisión, determinar las interacciones entre éstas y los alcances y limitaciones que podría llegar a tener el modelo.
Formulación del modelo	<ul style="list-style-type: none"> • Se debe traducir a un lenguaje de simulación la información que se obtuvo en la etapa de descripción del problema . Conforme se avanza en el modelo base se pueden ir incluyendo las v.a. del sistema con sus respectivas distribuciones de probabilidad asociadas.
Recolección y análisis de datos	<ul style="list-style-type: none"> • Recopilación de la información estadística y determinar que información es útil para la determinación de las distribuciones de probabilidad asociadas a cada una de las v.a.
Generación del modelo preliminar.	<ul style="list-style-type: none"> • Se integra la información obtenida a partir del análisis de los datos , los supuestos del modelo y todos los datos que se requieran para obtener un modelo apegado lo más posible a la realidad de lo que se quiere estimar.
Verificación y validación del modelo	<ul style="list-style-type: none"> • Comprobar la propiedad de la programación del modelo y que todos los parámetros usados en la simulación funcionen correctamente. • Por su parte el proceso de validación consiste en realizar una serie de pruebas al mismo, utilizando información de entrada real para observar su comportamiento y analizar sus resultados.
Modelo final y determinación de escenarios.	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar la simulación y estudiar el comportamiento del proceso a través de la generación de escenarios, los cuales pueden ser optimistas, pesimistas e intermedios.
Análisis de sensibilidad.	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar pruebas estadísticas que permitan comparar los escenarios con los mejores resultados finales.
Documentación final	<ul style="list-style-type: none"> • Es importante realizar una documentación para permitir el uso del modelo generado en caso de requerir ajustes futuros. Aquí se deben incluir las distribuciones asociadas al modelo, resultados, análisis y conclusiones.

Fuente: elaboración propia basada en (García, Heriberto, & Cárdenas, 2006).

3.3 Simulación Monte Carlo.

El método fue llamado así por el principado de Mónaco por ser “la capital del juego de azar”, al tomar una ruleta como un generador simple de números aleatorios. El nombre y desarrollo sistemático de los métodos de Monte Carlo datan aproximadamente de 1944 con el desarrollo de la computadora. Aunque hay varias pruebas de modelos no desarrollados anteriores a 1944.

Los orígenes de esta técnica están ligados a los trabajos desarrollados por Stan Ulam y John Von Neumann a finales de los años 40 en el laboratorio de Los Alamos, cuando investigaban el movimiento aleatorio de los neutrones. En años posteriores, la simulación de Monte Carlo se ha venido aplicando a una infinidad de ámbitos como alternativa a los modelos matemáticos exactos o incluso como único medio de estimar soluciones para problemas complejos. En otras palabras este tipo de simulación ésta presente en todos aquellos ámbitos en los que el comportamiento aleatorio o probabilístico desempeñan un papel fundamental. Además de que da una solución a una variedad de problemas y puede ser aplicado tanto a problemas estocásticos como determinísticos.

La Simulación Monte Carlo es una técnica cuantitativa que hace uso de la estadística, el muestreo experimental y los ordenadores para imitar, mediante modelos matemáticos, el comportamiento aleatorio de sistemas reales no dinámicos y estimar las distribuciones de las variables de salida que dependen de variables probabilísticas de entrada. Generalmente se hace uso de números aleatorios uniformemente distribuidos en el intervalo $[0,1]$.

El algoritmo de Simulación Monte Carlo está fundamentado en la generación de números aleatorios por el método de Transformación inversa, el cual se basa en las distribuciones acumuladas de frecuencias y este se describe a continuación:

- Determinar la variable aleatoria y sus distribuciones acumuladas.
- Iterar tantas veces como muestras necesitemos
 - Generar un número aleatorio uniforme entre 0 y 1

- Determinar el valor de la variable aleatoria para el número aleatorio generado de acuerdo a las clases que tengamos.
- Calcular media, desviación estándar, error y realizar el histograma.
- Analizar resultados para distintos tamaños de muestra.

3.3.1 Aplicaciones de la simulación Monte Carlo.

Es importante conocer los ámbitos en que se puede aplicar la simulación en la actualidad, por lo que a continuación se mencionan algunos ejemplos de su aplicación.

Ámbito empresarial

Introducción de productos nuevos: el objetivo central de esta simulación es determinar la probabilidad que tiene un producto nuevo de tener un beneficio.

Políticas de inventarios: se desarrolla un modelo que involucra el costo y nivel de servicios con entradas probabilísticas, como la demanda de productos y el plazo de entrega de los proveedores, y con entradas contables como la cantidad que se debe pedir.

Líneas de espera: este se aplica por ejemplo para determinar el tiempo de espera en un cajero automático o un banco.

Ámbito Actuarial

La aplicación de la simulación en el ámbito actuarial es utilizada para la predicción de ocurrencia de siniestros en los seguros, en la administración de riesgo para los portafolios de inversión, simulación de precios de *stocks* y opciones, determinar la tasa de riesgo asociada con un portafolio de bonos, cálculo de riesgos en un análisis financiero, entre otros.

Ámbito de Medio ambiente

Los modelos de simulación ambiental son herramientas que permiten simular el comportamiento de sistemas complejos a partir de datos de tipo físico, químico e

Hidrológico. La simulación es utilizada para medir la contaminación y purificación del agua, control de residuos, contaminación del aire, control de plagas, predicción del tiempo, análisis de sismos y tormentas, exploración y explotación de minerales, sistemas de energía solar y explotación de cultivos.

3.4 Generación de números aleatorios.

Para realizar una simulación se requieren números aleatorios en el intervalo $[0,1]$, a los cuales se hará referencia como r_i , es decir, una secuencia de $r_i = \{r_1, r_2, r_3, \dots, r_n\}$ que contiene n números, todos ellos diferentes; n recibe el nombre de periodo o ciclo de vida del generador que crea la secuencia r_i .

Como los números aleatorios siguen una distribución uniforme, esta función tendrá la función de densidad:

$$f(x) = \begin{cases} 1 & 0 < x < 1 \\ 0 & \text{en el resto} \end{cases}$$

Y función de distribución:

$$F(x) = \begin{cases} 0 & x < 0 \\ x & 0 < x < 1 \\ 1 & x > 1 \end{cases}$$

3.4.1 Métodos para generar números aleatorios.

Existen diversos métodos para la generación de números aleatorios para los cuales se hará mención sin profundizar con detalle en como se llevan a cabo ya que para fines de este trabajo los números aleatorios serán generados por medio de un programa computacional, el cual cuenta con una función para generarlos.

- Algoritmo de cuadrados medios.
- Algoritmo de productos medios.

- Algoritmo de multiplicador constante.
- Algoritmo lineal.
- Algoritmo congruencial multiplicador.
- Algoritmo congruencial aditivo.
- Algoritmo congruencial no lineal.

3.4.2 Pruebas estadísticas para los números pseudo aleatorios.

En esta sección se analizarán las pruebas estadísticas básicas para determinar si un conjunto de números pseudo aleatorios cumplen con la propiedad de uniformidad e independencia, esto para saber si los números son aleatorios o no. Estas son las siguientes:

Prueba de medias.

Los números aleatorios r_i deben cumplir que su valor esperado sea igual a 0.5, donde se plantean las siguientes hipótesis:

$$H0: \mu_{r_i} = 0.5$$

$$H1: \mu_{r_i} \neq 0.5$$

El promedio de los n números que forman el conjunto r_i se calcula con las ecuaciones siguientes:

$$\bar{r} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n r_i$$

Posteriormente se calculan los límites de aceptación inferior y superior:

$$LL_{\bar{r}} = \frac{1}{2} - z_{\alpha/2} \left(\frac{1}{\sqrt{12n}} \right)$$

$$LS_{\bar{r}} = \frac{1}{2} + z_{\alpha/2} \left(\frac{1}{\sqrt{12n}} \right)$$

Si el valor de \bar{r} se encuentra entre los límites de aceptación, se concluye que no se rechaza la hipótesis nula, caso contrario se rechaza.

Prueba de varianza.

Otra prueba que deben cumplir los números aleatorios es que su varianza debe ser igual a 1/12, donde se establece la siguiente hipótesis:

$$H_0: \sigma_{r_i}^2 = 1/12$$

$$H_1: \sigma_{r_i}^2 \neq 1/12$$

Se calcula la varianza de los n número del conjunto r_i y los límites inferior y superior con las siguientes ecuaciones. Al igual que con la prueba anterior se verifica que el resultado este dentro de los límites de aceptación para aceptar o rechazar las hipótesis.

$$V(r) = \frac{\sum_{i=1}^n (r_i - \bar{r})^2}{n - 1}$$

$$LI_{V(r)} = \frac{X_{\frac{\alpha}{2}, n-1}^2}{12(n - 1)}$$

$$LI_{V(r)} = \frac{X_{\frac{1-\alpha}{2}, n-1}^2}{12(n - 1)}$$

Prueba de uniformidad.

Esta es una de las pruebas más importantes que deben cumplir los números aleatorios. Para comprobar su acatamiento se han desarrollado pruebas estadísticas tales como las pruebas Chi-cuadrada y de Kolmogorov-Smirnov. Para probar la uniformidad se debe comprobar la siguiente hipótesis:

$$H_0: r_i \sim U(0,1)$$

$$H_1: r_i \text{ No son uniformes}$$

Prueba Chi-Cuadrada

Esta prueba busca determinar si los números del conjunto r_i se distribuyen uniformemente en el intervalo (0,1). Para llevar a cabo esta prueba es necesario dividir el intervalo (0,1) en m subintervalos, en donde es recomendable $m = \sqrt{n}$. Posteriormente se clasifica cada número pseudo aleatorio del conjunto r_i en los m intervalos. Posteriormente se determina el estadístico χ_0^2 mediante la ecuación

$$\chi_0^2 = \sum_{i=1}^m \frac{(E_i - O_i)^2}{E_i}$$

Donde

E_i = cantidad de números r_i que se espera encontrar en cada intervalo (frecuencia esperada).

O_i = cantidad de números r_i que se clasifican en cada intervalo (frecuencia observada).

Si el valor del estadístico χ_0^2 es menor al valor de tablas de $\chi_{\alpha, m-1}^2$, entonces no se puede rechazar que el conjunto de números r_i sigue una distribución uniforme, caso contrario se rechaza la hipótesis nula.

Prueba Kolmogorov-Smirnov.

Al igual que la prueba anterior esta nos sirve para determinar si los números r_i son siguen una distribución uniforme. Es recomendable aplicar esta prueba en conjuntos r_i pequeños, $n < 20$. El procedimiento que se sigue es el siguiente:

Ordenar de mayor a menor los números del conjunto r_i .

$$r_1 < r_2 < r_3 < \dots < r_n$$

Determinar los valores de D^+ , D^- y D con las siguientes ecuaciones:

$$D^+ = \max_{1 < i < n} \left\{ \frac{i}{n} - r_i \right\}$$

$$D^- = \max_{1 < i < n} \left\{ r_i - \frac{i-1}{n} \right\}$$

$$D = \max(D^+, D^-)$$

Determinar el valor crítico $D_{\alpha,n}$ de acuerdo con la tabla de valores críticos de Kolmogorov-Smirnov para un grado de confianza α , y según el tamaño de la muestra n .

Si el valor D es mayor que el valor crítico $D_{\alpha,n}$, se concluye que los números del conjunto r_i no siguen una distribución uniforme, de lo contrario se dice que los números r_i siguen una distribución uniforme.

Prueba Anderson – Darling

Esta prueba tiene como propósito corroborar si una muestra de v.a. proviene de una población con una distribución de probabilidad específica. Esta prueba es muy sensible en los extremos de la distribución, por lo que debe ser usada con mucho cuidado en distribuciones con límite inferior acotado, además no es recomendable utilizarla para distribuciones discretas.

Para la realización de la prueba se lleva a cabo el siguiente procedimiento:

Obtener n datos de la v.a. a analizar.

Calcular la media y la varianza de los datos.

Organizar los datos en forma ascendente: $Y_i \quad i=1,2,3,\dots,n$

Ordenar los datos en forma descendente: $Y_{n+1-i} \quad i=1,2,3,\dots,n$

Establecer explícitamente la hipótesis nula, proponiendo una distribución de probabilidad.

Calcular la probabilidad esperada acumulada para cada número Y_i , $PEA(Y_i)$, y la probabilidad esperada acumulada para cada número Y_{n+1-i} , $PEA(Y_{n+1-i})$, a partir de la función de probabilidad propuesta.

Calcular el estadístico de prueba:

$$A_n^2 = - \left[n + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (2i - 1) [1nPEA(Y_i) + 1n(1 - PEA(Y_{n+1-i}))] \right]$$

Ajustar el estadístico de prueba de acuerdo con la distribución de probabilidad propuesta.

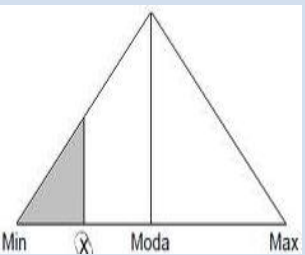
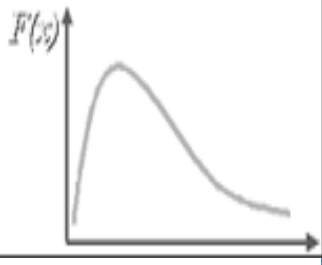
Definir el nivel de significancia de la prueba α , y determinar su valor crítico.

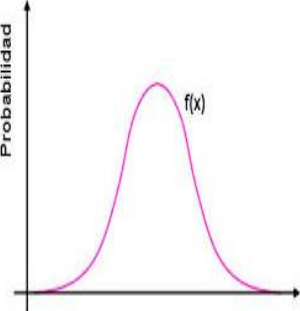
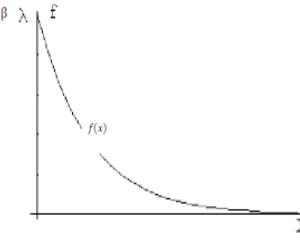
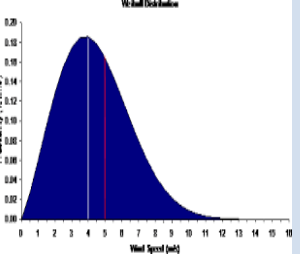
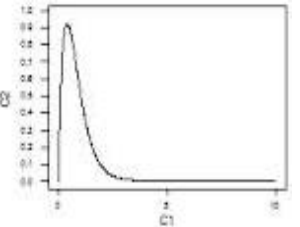
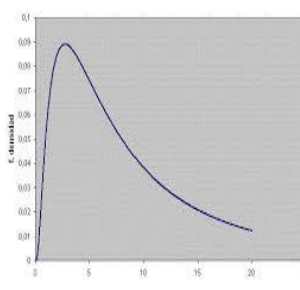
Comprobar el estadístico de prueba con el valor crítico. Si el estadístico de prueba es menor que el valor crítico no se puede rechazar la hipótesis nula.

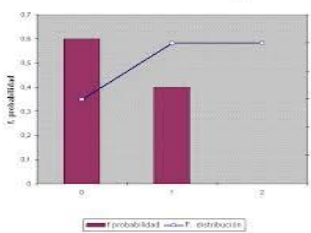
3.5 Principales curvas de distribución para generar variables aleatorias.

En la siguiente tabla se muestran los generadores de variables aleatorias más usuales.

Tabla 3.3
Generadores de variables aleatorias.

Distribución	Generador	Parámetros
Triangular 	$T_i = \begin{cases} a + \sqrt{(b-a)(c-a)r_i} \\ \text{si } r_i \leq \frac{(c-a)}{(b-a)} \\ b - \sqrt{(b-a)(b-c)(1-r_i)} \\ \text{si } r_i > \frac{(c-a)}{(b-a)} \end{cases}$	a= Límite inferior de la distribución triangular. c= moda de la distribución triangular. b= límite superior de la distribución triangular.
Erlang 	$ER_i = -\frac{1}{kl} \ln \prod_{i=1}^k (1-r_i)$	$1/\lambda$ = valor esperado. K= parámetro de forma.
Normal	$N_i = \left[\left(\sqrt{-2 \ln(1-r_i)} \right) \cos(2\pi r_j) \right] \sigma + \mu$	μ = media de la distribución normal.

	$N_i = \left[\left(\sqrt{-2 \ln(1 - r_i)} \right) \text{sen}(2\pi r_j) \right] \sigma + \mu$	<p>σ= desviación estándar de la distribución normal.</p>
<p>Exponencial</p> 	$E_i = -\frac{1}{\lambda} \ln(1 - r_i)$	<p>$1/\lambda$= media de la distribución exponencial.</p>
<p>Weibull</p> 	$W_i = \gamma + \beta \sqrt{-\ln(1 - r_i)}$	<p>β= parámetro de escala α= parámetro de forma. γ=Parámetro de localización.</p>
<p>Gamma</p> 	$G_i = -\frac{1}{k\Gamma} \ln \prod_{i=1}^k (1 - r_i)$	<p>$1/\lambda$= valor esperado. k= parámetro de forma.</p>
<p>Lognormal</p> 	<p>Donde:</p> $LN_i = e^{N_i}$	<p>μ = Valor esperado σ^2 = Varianza</p>
<p>Bernoulli</p>		<p>P= probabilidad de</p>

	$BE_i = \begin{cases} si & r_i \in (0,1 - p) & x = 0 \\ si & r_i \in (1 - p, 1) & x = 1 \end{cases}$	<p>ocurrencia del evento $x=1$. $1-p=$ probabilidad de ocurrencia del evento.</p>
<p>Binomial</p>	$B_i = \sum_{j=1}^N BE_j$	<p>$BE_j=$ números aleatorios con distribución de Bernoulli. $N=$ número del evento máximo de la distribución binomial. $p=$ probabilidad de éxito de la distribución binomial que se involucra al generar los Bernoulli.</p>

Fuente: elaboración propia con información de (García, Heriberto, & Cárdenas, 2006)

En conclusión este capítulo es de importancia para conocer la metodología a utilizar para el trabajo de tesis así como la importancia de los modelos de regresión y simulación, las ventajas y desventajas que tienen en general los modelos de simulación y lo más importante el procedimiento a seguir para poder realizar el modelo, la generación de números aleatorios que son de suma importancia para el modelo y las funciones de distribución que se pueden generar a través de estos. Además de corroborar en primer lugar la correlación de las variables para poder continuar con el estudio.

Capítulo IV

Resultados del Modelo Planteado en la Investigación

En este capítulo se abordaran los resultados obtenidos sobre el análisis del impacto del crecimiento del Producto Interno Bruto (PIB%) en el incremento de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero, para ello se consideró el periodo de 1994-2010. Primero se realizara un análisis de las gráficas de series de tiempo de forma general y particular para cada sector económico, posteriormente un análisis de regresión (con análisis correlación y tablas ANOVA's) y por último las conclusiones obtenidas tras la aplicación del modelo.

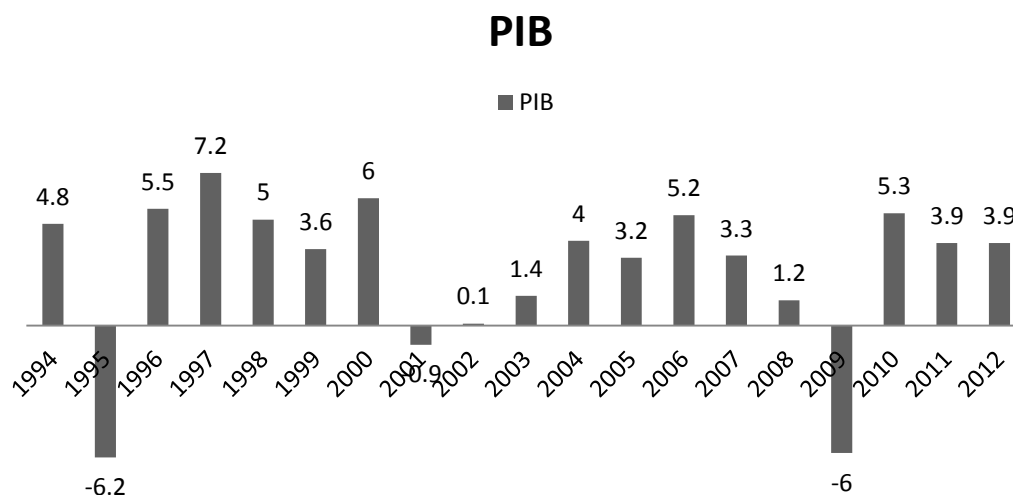
México cuenta con una amplia base de activos naturales; tiene patrones de producción y consumo menores en energía y en materias que en economías más desarrolladas. La rápida urbanización, el crecimiento demográfico y el aumento en el nivel de ingresos están generando una serie de presiones ambientales. Los costos de la degradación ambiental y el agotamiento de los recursos naturales se estimaron en 7% del PIB en 2010, frente a 10% en 2000 (OCDE, 2013).

La intensidad de carbono en la economía mexicana aumentó entre 2000 y 2010. Los principales impulsores de las emisiones de CO₂, como principal GEI ha sido el crecimiento económico y demográfico, así como el aumento asociado en la demanda de transporte. El petróleo representa 55% de la matriz energética, pero la proporción de gas natural creció de 20% en 2000 a 30% en 2010.

De acuerdo a lo anterior este trabajo de investigación es lo que intenta probar con el análisis gráfico y estadístico que se mostrara en los apartados siguientes.

Primeramente se muestra en la figura 4.1 que la Economía de México ha tenido crecimientos y decrecimiento en las últimas décadas, es importante aclarar que a partir de esta etapa, al mencionar el PIB%, se hará referencia al de México.

Figura 4.1
Estadísticas del comportamiento del PIB% en México.



Fuente: elaboración propia con datos de INEGI.

Los puntos atípicos más sobresalientes en el crecimiento del PIB del grafico son:

1995 Debido a la crisis económica, mejor conocido como Error de Diciembre; después en 1997 por la elevación en el comercio a nivel mundial (Efecto Dragón); en el año 2001 por el ataque a Estados Unidos lo que provocó una caída en las bolsas de valores y en 2009 igualmente por la crisis económica de ese año (Crisis de Créditos inmobiliarios Internacionales).

4.1 Análisis de Series de tiempo por sector

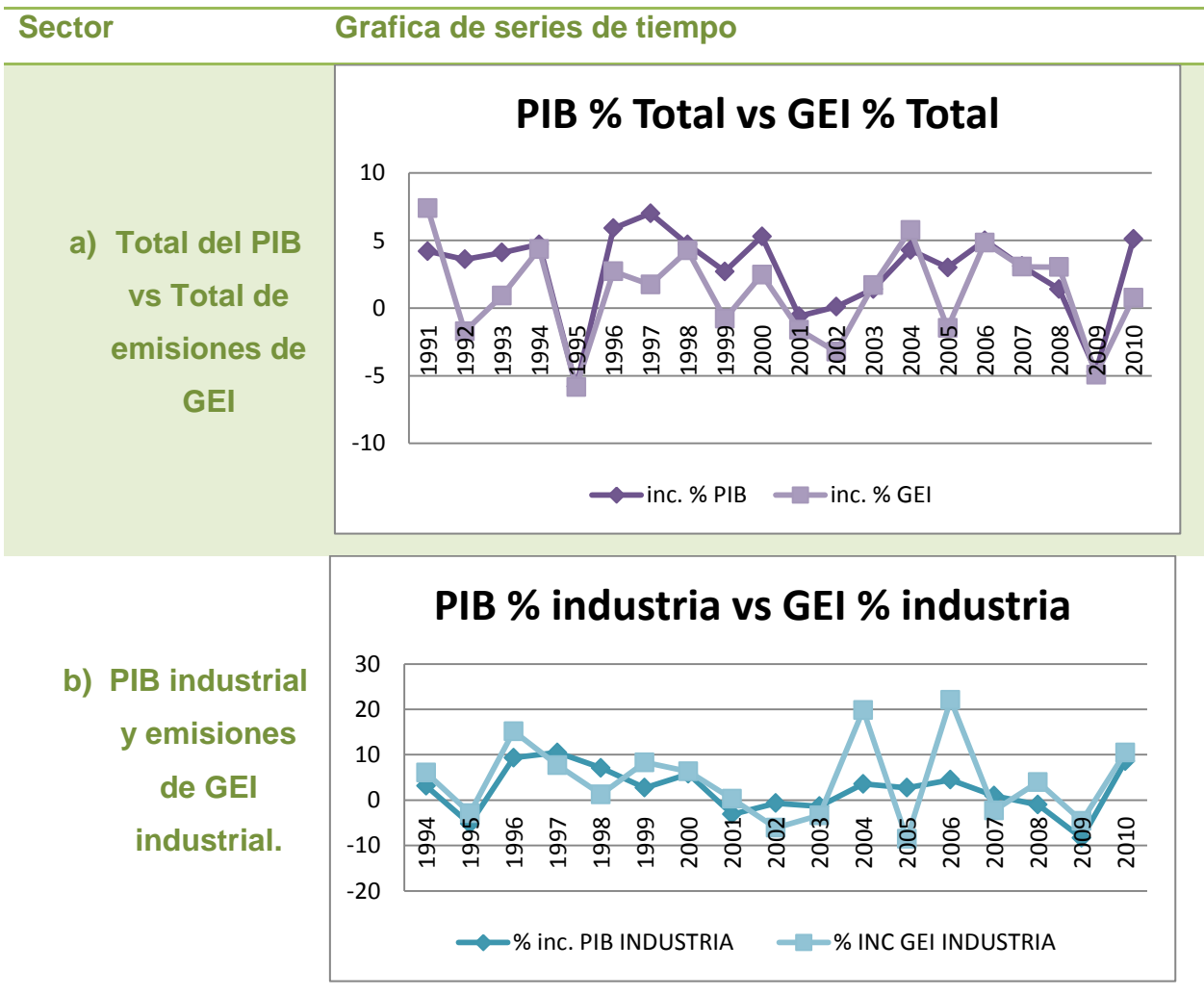
Las variables ambientales de la contaminación de los GEI que se consideraron dentro de este estudio fueron los siguientes:

- a) Total de emisiones de GEI
- b) Emisiones en el sector industrial
- c) Emisiones en el sector de transporte
- d) Emisiones en el sector energético (extracción de combustibles fósiles)

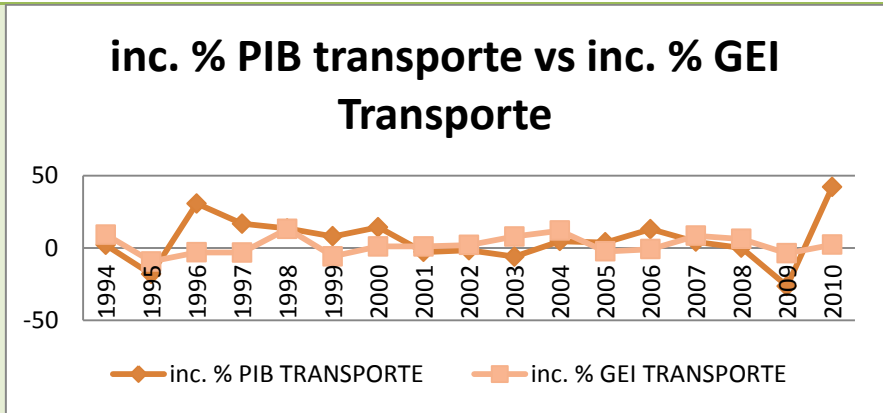
e) Emisiones del sector agrícola

A continuación se presenta el comportamiento por sector de GEI durante el periodo de 1994 a 2010, comparándolo con el PIB%, desde una perspectiva del comportamiento de serie de tiempo mostrado en la Figura 4.2.

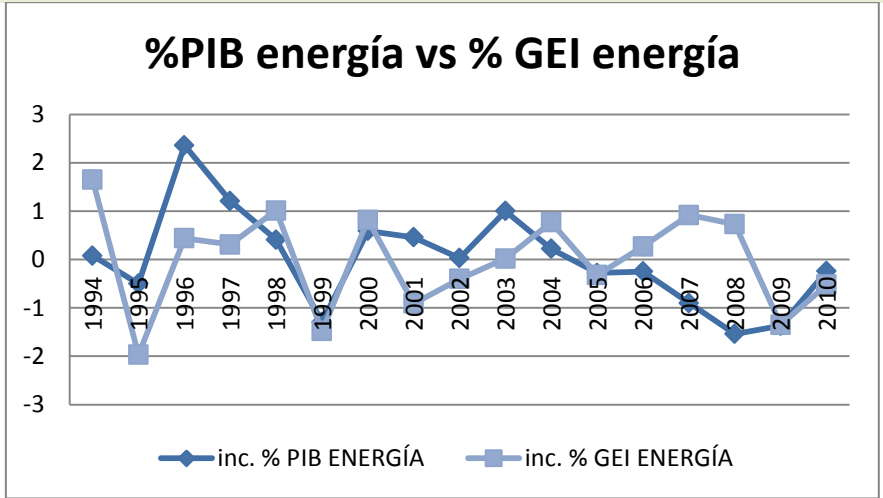
Figura 4.2
Gráficos de series de tiempo por sector.



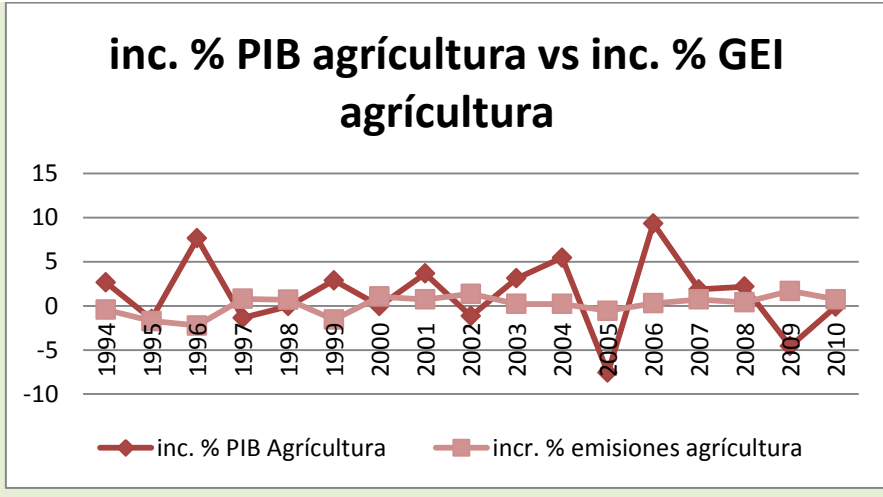
c) PIB y emisiones de GEI transporte



d) PIB y emisiones de GEI energía



e) PIB y emisiones de GEI agricultura



Fuente: elaboración propia.

Es importante mencionar que en la Figura 4.2 están considerados los GEI más importantes emitidos en el país los cuales son: dióxido de carbono, óxido nitroso, metano, sus estadísticas fueron las utilizadas para el presente trabajo.

En la figura 4.2 de gráficas de series de tiempo se puede observar la relación entre los distintos sectores económicos tomados en cuenta para este trabajo y las emisiones de GEI, a continuación se realiza una descripción de cada una de ellas de acuerdo a su comportamiento:

- a) En la figura de las emisiones totales de GEI en relación con el crecimiento del PIB se observa una relación considerable entre ambos gráficos, es decir, el comportamiento es similar principalmente en años sobresalientes como 1995 o 2009.
- b) En el sector industrial se observa un comportamiento similar entre las emisiones de GEI y el crecimiento del PIB en el año de 1994 a 2003, posteriormente de 2004 a 2006 existe un comportamiento atípico en las emisiones de GEI debido, en los años siguientes hasta 2010 ambas graficas siguen su comportamiento similar por lo que podríamos ver una posible relación entre ellas.
- c) En la figura representada por las emisiones de GEI e incremento del PIB por transporte la gráfica parece mostrar una relación altamente significativa con excepción de los puntos atípicos después de la crisis de 1995 y en la crisis de 2009.
- d) En el sector energético ambas graficas no muestran relación entre sí, los datos se observan muy dispersos entre ambas gráficas, después del análisis estadístico podremos determinar si las observaciones para este grafico son verídicas.
- e) por último en el sector agrícola el incremento porcentual del PIB se muestra constante durante el periodo de observación, en cambio las emisiones de GEI se disparan en algunos puntos lo cual provoca que las gráficas no mantengan un comportamiento similar.

Para poder comprobar estos resultados a continuación se realizara un análisis de regresión de forma general y particular para analizar cada uno de los sectores.

4.2 Análisis de regresión entre el PIB y las emisiones de GEI.

A continuación se realiza un análisis de forma general del total de emisiones de GEI y el PIB total, y de manera particular para los sectores de agricultura, industria, energía y transporte con las emisiones de GEI.

Antes de comenzar a determinar un modelo entre las variables PIB% y los GEI, es necesario determinar si existe un modelo de regresión para comprobar la existencia ente la relación del crecimiento económico y la contaminación ambiental en el periodo de análisis.

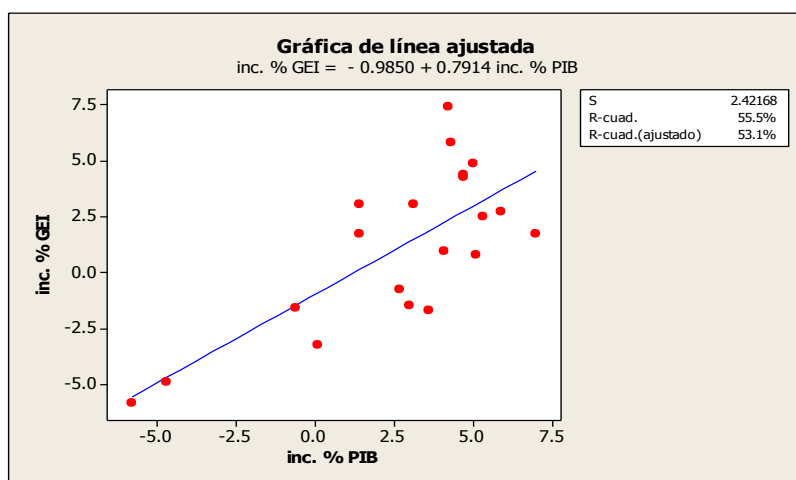
Para poder hacer este análisis se hizo uso del paquete estadístico *Minitab 16 Statistical Software*, del cual se utilizaron sus diferentes plataformas de resultados y gráficos para hacer el análisis.

4.2.1 Análisis Estadístico General

En primer lugar se muestran las gráficas de correlación, normalidad y varianza, así como la tabla ANOVA para las emisiones totales de GEI y el total de PIB en México:

Figura 4.3

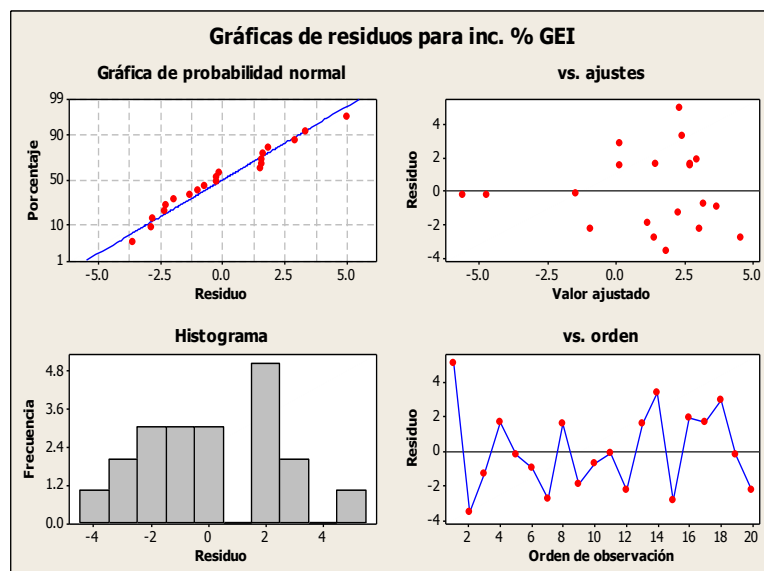
Línea de ajuste de las emisiones de GEI % y el PIB%.



Fuente: elaboración propia.

En el grafico del incremento del PIB y el incremento de emisiones de gases de efecto invernadero de forma general se observa un comportamiento lineal entre los datos con un 53.1% de relación entre ellos, es decir, el PIB describe en un 53.1% el incremento de emisiones de GEI en el país, pero se concluye que la relación no es altamente significativa para poder continuar con el análisis, ya que esta debe aproximarse al 100% lo más posible. Pero para verificar este supuesto a continuación se realiza el análisis de varianza y normalidad.

Figura 4.4
Histograma para la prueba de normalidad



Fuente: elaboración propia.

De acuerdo a la figura 4.4 el histograma no se ajusta a una distribución normal, además se puede observar que la varianza no es constante, a pesar de que se intentó realizar transformación para ajustar las variables pero no se obtuvo el resultado esperado y esto lleva a concluir que la relación entre estas dos variables no es significativa.

Conforme a los resultados de este primer análisis la ecuación que puede predecir cierto comportamiento de %GEI con respecto al crec. De la economía de México sería la siguiente:

$$\text{Inc. \%GEI} = -0.9850 + 0.7914 \text{inc. \%PIB}$$

(4.1)

Esto significa que el incremento de emisiones de GEI será de 0.7914 con respecto al incremento del PIB.

Prueba global de la regresión:

$$H_0: \beta_1 = 0$$

VS

$$H_1: \beta_1 \neq 0$$

Tabla 4.1

Tabla anova de las emisiones totales de GEI y PIB

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Regresión	1	131.773	131.773	22.47	0
Error	18	105.561	5.865		
Total	19	237.334			

Fuente: elaboración propia.

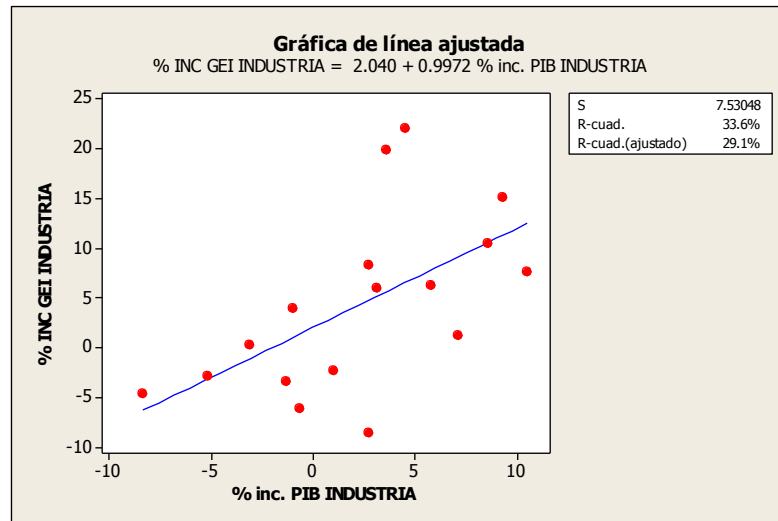
En la tabla ANOVA se obtuvo un valor de significancia igual a cero ($P=0$) por lo tanto se concluye que $\beta_1 \neq 0$, por lo tanto las emisiones totales de GEI se relaciona linealmente con el incremento del PIB total.

4.2.2 Sector Industrial

Continuando con el análisis, se procedió a determinar un modelo que tuviese relación entre los GEI del Sector Industrial y el PIB%; se procedió a realizar el modelo de regresión, y a continuación se muestran los resultados de ello:

Figura 4.5

Histograma para la prueba de normalidad



Fuente: elaboración propio.

La ecuación de regresión es:

$$\% \text{ INC GEI INDUSTRIA} = 2.040 + 0.9972 \% \text{ inc. PIB INDUSTRIA} \quad (4.2)$$

$$S = 7.53048 \quad R\text{-cuad.} = 33.6\% \quad R\text{-cuad.}(\text{ajustado}) = 29.1\%$$

De acuerdo con el grafico y el resultado de correlación del 29.1% se concluye la relación no es significativa entre las emisiones de gases de efecto invernadero y el crecimiento del PIB industrial ya que el porcentaje está muy lejos del cien por ciento.

Análisis de varianza

Para el análisis de varianza se procede a realizar el siguiente análisis con los resultados de la tabla 4.2.

Tabla 4.2

Tabla anova de las emisiones de GEI y PIB% del sector industrial

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Regresión	1	429.98	429.98	7.58	0.015
Error	15	850.62	56.708		
Total	16	1280.6			

Fuente: elaboración propia.

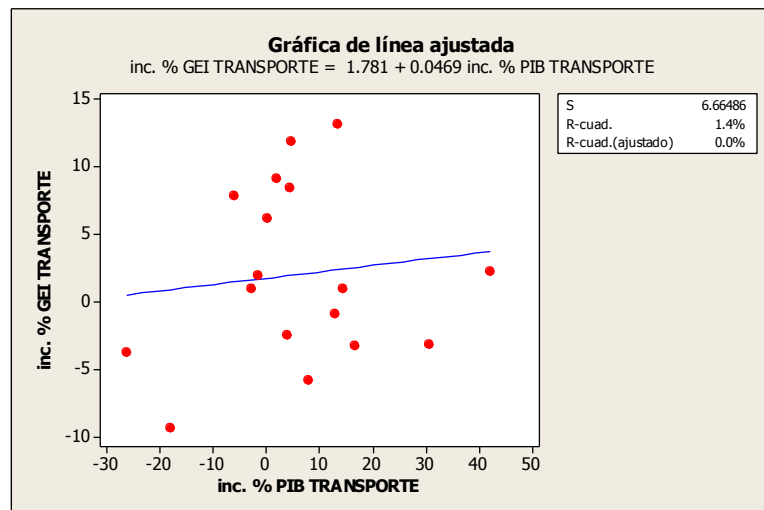
De acuerdo con el estadístico $F_t=10.58$ de tablas y el estadístico $F_c=7.58$ calculado, este último es menor al de tablas por lo que $\beta_1 = 0$ y no es de utilidad para describir el modelo. Por lo tanto las variables no tienen relación entre sí.

4.2.3 Sector Transporte

Ahora para el sector de transporte también se realiza el análisis estadístico y estos fueron los resultados obtenidos:

Figura 4.6

Gráfica de línea de ajuste.



Fuente: elaboración propia.

La ecuación de regresión es

$$\text{inc.\%GEI_TRANSPORTE} = 2.005 + 0.00548 \text{ inc.\%PIB_TRANSPORTE} \quad (4.3)$$

Al observar la figura 4.6 de la gráfica de línea de ajuste los puntos no siguen una tendencia y el valor de correlación es nulo. Para corroborar este resultado se procede con el análisis de varianza.

Análisis de varianza

Para realizar el análisis de varianza se procedió a utilizar la tabla de mínimos cuadrados siguiente:

Tabla 4.3

Tabla anova de las emisiones de GEI y PIB% en Transporte

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Regresión	1	9.176	9.1757	0.21	0.656
Error	15	666.305	44.4203		
Total	16	675.481			

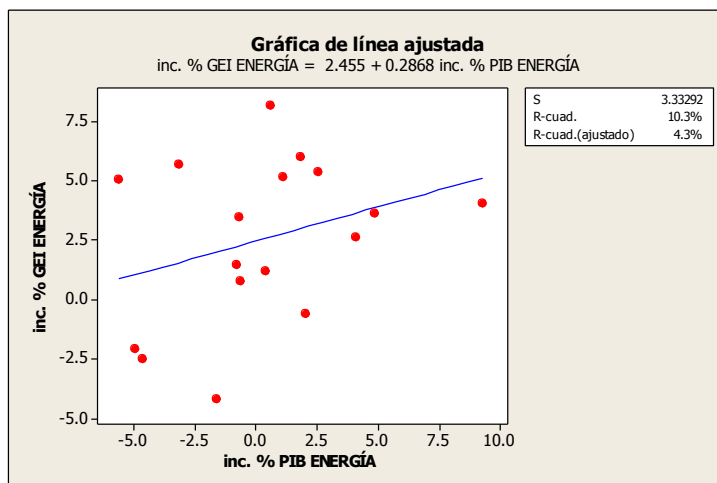
Fuente: elaboración propia.

El estadístico P obtenido en la tabla 4.3 es de .656 por lo tanto no se está cumpliendo la hipótesis general por lo tanto en el sector de transporte, de acuerdo con un nivel de confianza del 95% y con los resultados de correlación, gráfico y tabla ANOVA se concluye que no existe ninguna relación entre los datos.

4.2.4 Sector de Energía.

Para comenzar el análisis de resultados se observa la figura 4.7 y el resultado de correlación obtenido en la misma.

Figura 4.7
Gráfica de línea de ajuste.



Fuente: elaboración propia.

La ecuación de regresión es:

$$\text{inc. \% GEI ENERGÍA} = 2.455 + 0.2868 \text{ inc. \% PIB ENERGÍA} \quad (4.4)$$

En el gráfico se observa que los datos están muy dispersos y no siguen una tendencia lineal, además el resultado de correlación es del 4.3%, demasiado bajo para poder decir que existe relación entre las variables.

Análisis de varianza

Para corroborar el resultado anterior se realiza el análisis de varianza con la tabla 4.4.

Tabla 4.4

Tabla ANOVA de las emisiones de GEI y PIB% en el sector de Energía

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Regresión	1	19.098	19.0977	1.72	0.21
Error	15	166.625	11.1083		
Total	16	185.723			

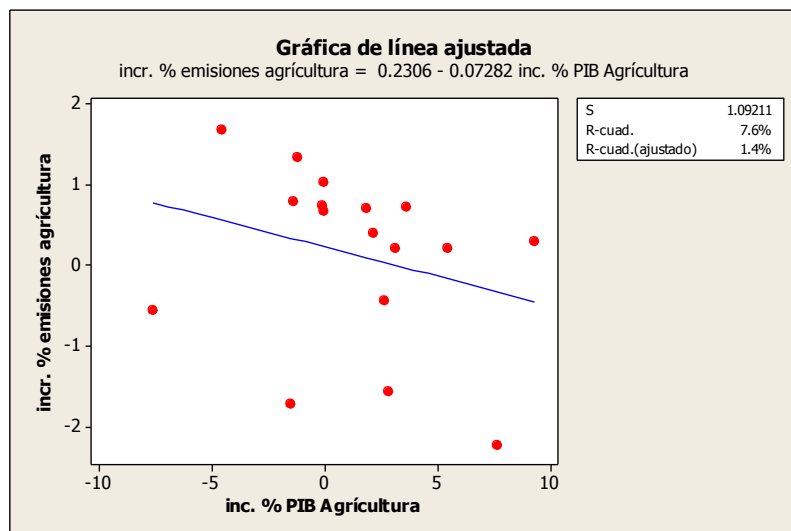
Fuente: elaboración propia.

Al igual que en el sector de transporte, en el sector energético no existe relación entre el incremento de emisiones de GEI y el PIB de este sector ya que el porcentaje de correlación es del 4.3% y como se observa en el gráfico no existe una relación lineal entre los datos, además el estadístico P es mayor a cero por lo que las variable b1 es igual a cero y no es útil para describir al modelo.

4.2.5 Sector Agrícola.

Por último se procede a realizar el análisis para el sector agrícola relacionando las emisiones de GEI y el PIB % de este sector. Al igual que en los sectores anteriores se comienza con la gráfica de línea de ajuste presentada en la figura 4.8.

Figura 4.8
Gráfica de línea de ajuste.



Fuente: elaboración propia.

La ecuación de regresión es:

$$\text{incr. \% emisiones agricultura} = 0.2306 - 0.07282 \text{ inc. \% PIB Agricultura} \quad (4.5)$$

Análisis de varianza

Tabla 4.5

Tabla anova de las emisiones de GEI y PIB% del sector agrícola

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Regresión	1	1.4643	1.46431	1.23	0.285
Error	15	17.8907	1.19271		
Total	16	19.355			

Fuente: elaboración propia.

Al observar la gráfica se puede notar que no existe un ajuste lineal entre los datos y el porcentaje de correlación es muy cercano a cero, lo cual significa que el incremento en el PIB en agricultura no ayuda a describir las emisiones de GEI de la misma.

4.3 Resultados

De acuerdo con el análisis de series de tiempo y el análisis de regresión se obtuvieron los siguientes resultados:

Para el total de emisiones de GEI y el PIB porcentual se observó una relación entre las gráficas de series de tiempo, además al realizar el análisis de regresión se obtuvo un porcentaje de correlación del 53% (no suficiente para afirmar que existe una relación altamente significativa entre los datos, ya que esta debe acercarse lo más posible al 100%), y el modelo paso la prueba general de b distinta de 0, sin embargo en la prueba de varianza constante y normalidad no se obtuvo el mismo resultado.

Para la relación en el sector industrial los resultados no fueron muy favorables ya que al realizar el gráfico de correlación se obtuvo un 29.1% de relación y el modelo no paso ninguna de las pruebas como normalidad, varianza constante y la prueba global para saber si b nos ayuda a describir el modelo.

El sector de transporte fue quien menos proporciono una descripción entre el crecimiento del PIB y las emisiones de GEI ya que el porcentaje de correlación fue nulo

por lo tanto las pruebas de normalidad, varianza constante y la prueba global no son necesarias de realizar porque se encontraría un resultado similar.

En energía la correlación fue del 4.3%, lo cual significa que tampoco hay relación entre las emisiones de GEI y el crecimiento económico de este sector.

Por ultimo en el sector agrícola el porcentaje de correlación es de 1.4%, de igual manera que en el sector energético las variables no describen el modelo y no es necesario seguir con el análisis estadístico.

Conclusiones

Como se mencionó en el inicio de esta investigación, existen diferentes enfoques sobre el impacto de la contaminación ambiental en mundo, y en específico de los Gases de Efecto Invernadero, existen autores que están de acuerdo con esto como (García C. , 2012), (Briner, Elkin, & Huber, 2013) quienes en sus investigaciones realizan estudios sobre el impacto de gases como el dióxido de carbono o el impacto ecológico que se provoca en los bosques y ecosistemas agrícolas.

Es por ello que al finalizar esta investigación se puede verificar las hipótesis planteadas en un principio:

A continuación se describen cada una de las hipótesis plantadas y como se concluye cada una de ellas:

1. El incremento de Gases de Efecto Invernadero en la industria tiene relación con el crecimiento económico en la producción de este sector. De acuerdo con la evidencia estadística obtenida en los resultados se concluye que las emisiones de GEI del sector industrial no se ven afectadas por el crecimiento económico del sector.
2. El incremento de GEI en el sector energético tiene relación con el crecimiento económico de este sector. Esta hipótesis resultó ser falsa ya que al realizarse el análisis de regresión y correlación los resultados muestran que hay evidencia estadística suficiente para verificar que no existe relación entre los datos.
3. El incremento de GEI en el sector de transporte tiene relación con el crecimiento económico en la producción de este sector. Al analizar los resultados obtenidos para este sector fueron totalmente desfavorables ya que fue quien menos correlación mostro entre las emisiones de GEI y el PIB del sector.
4. El incremento de GEI en el sector agrícola tiene relación con el crecimiento económico en la producción de este sector. De acuerdo a los resultados obtenidos en el análisis de correlación la hipótesis para este sector también fue falsa.
5. Por último la hipótesis general fue: existe relación entre el crecimiento económico del país y el incremento de Gases de Efecto Invernadero (GEI). Como la correlación entre el PIB y el incremento de emisiones de GEI es mayor al realizar el análisis estadístico de forma general que por cada uno de los sectores considerados para este trabajo de

tesis, pero no es suficiente para garantizar que la el incremento en el PIB describe el comportamiento de las emisiones de GEI. Por lo tanto se tienen evidencia estadística de que no existe relación entre las emisiones de GEI y el crecimiento económico.

Como conclusión final a las hipótesis de forma general como particular el crecimiento económico del país no se relaciona con el incremento en las emisiones de GEI del país, por lo tanto las estrategias que se implementan para mitigar los contaminantes no afectan al desarrollo económico.

Ahora se verifica si se cumplió con los objetivos planteados en un principio

1. Evaluar a los principales sectores económicos que provocan un incremento en la emisión de gases de efecto invernadero. Este objetivo se cumplió ya que de acuerdo con las emisiones de GEI que reporta el INEGI para cada sector se seleccionaron aquellos que provocan un mayor impacto.
2. Identificar las variables que van a afectar la economía del país por la disminución de contaminantes. Este objetivo no se cumplió ya que al no existir relación entre las emisiones de GEI y el PIB no se pudo estimar el impacto ni en que variables.
3. Estimar el impacto económico que tendrá México ante el control del cambio climático en sus diferentes sectores productivos en el largo plazo. De acuerdo a los resultados obtenidos el impacto que se tendría sería nulo al no existir relación entre las variables en cuestión.
4. Construir un modelo de simulación para observar el comportamiento del cambio climático ante la disminución o incremento de algunos sectores económicos. Este objetivo no se pudo llevar a cabo al no poder realizar el modelo ya que la evidencia estadística arrojada por el modelo de regresión no lo permitió.
5. El objetivo general fue explicar cómo se ve afectado el cambio climático ante el crecimiento económico del país en sus distintos sectores a partir de indicadores como el incremento de Gases de Efecto Invernadero. La explicación para este objetivo fue que no hay afectación alguna entre una variable y otra por no existir relación entre ellas.

Este estudio también tiene una gran aportación para el ámbito actuarial ya que en el se midió un posible riesgo como en la aplicación de los seguros, principalmente para los seguros de daños, vida y accidentes y enfermedades.

Bibliografía

- Álvarez Lam, J. (2010). El cambio climático y el desarrollo . *Ingeniería Industrial*, 25-39.
- Azofeifa, C. E. (2010). Aplicación de la Simulación Monte Carlo en el Cálculo de riesgo usando Excel. *Tecnología en Marcha*, 97-109.
- Barker, T., Anger, A., & Pollit, H. (2012). A new economics approach to modelling policies to achieve global. *International Review of Applied Economics*, 205-221.
- Berumen, S. A. (2006). *Introducción a la economía internacional*. Madrid: Gráficas Dehon.
- Briner, S., Elkin, C., & Huber, R. (2013). Evaluating the relative impact of climate and economic changes on forest and agricultural ecosystem services in mountain regions. *Journal of Environmental Management* , 414-422.
- Cerda, E., & Labandeira, X. (2010). Balance de la cumbre de Copenhague sobre Cambio Climático. *ICEIPAPER*, 1-4.
- CINU. (28 de 11 de 2014). *Centro de Información de las Naciones Unidas*. Obtenido de Centro de Información de las Naciones Unidas: http://www.cinu.mx/minisitio/cambio_climatico/
- Ciscar, J. C., Iglesias, A., & Feyen, L. (2010). Physical and economic consequences of climate. *PNAS*, 2678-2683.
- Conde, C. (2007). *México y el cambio climático global*. México.
- Correa, F. (2004). *Redalyc*, 73-107. Obtenido de Redalyc.
- Correa, F. (30 de Abril de 2014). *Redalyc*. Obtenido de Redalyc: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=165013658003>
- Costello, C., Neubert, M., & Polasky, S. (2010). Bounded uncertainty and climate change economics. *PNAS*, 8107-8109.
- Díaz, G. (2012). Cambio Climático. *Redalyc*.
- Drapen, & Smith. (2009). *Regression Analysis*. Wiley.
- Freire-González, J., & Puig-Ventosa, I. (2014). Retos y oportunidades económicas de la adaptación al cambio climático: El caso de Cataluña.
- Galindo, L. M. (29 de Septiembre de 2014). *La economía del cambio climático en México*. Obtenido de La economía del cambio climático en México.
- García, C. (2012). Cambio Climático: impuestos sobre el carbono, coste y eficiencia económica. *Redalyc*.
- García, E., Heriberto, G., & Cárdenas, L. E. (2006). *Simulación y Análisis de Sistemas con ProModel*. México: Pearson Educación.

- Harvard, U. (1 de 12 de 2014). Obtenido de <http://www.unece.org/fileadmin/DAM/ead/sem/sem2003/papers/panayotou.pdf>
- Hassler, J., & Krusell, P. (2012). Economics and climate change: integrated assesment in a multi-region world . *Journal of the European Economic Assiciation*, 974-1000.
- IPCC. (31 de Marzo de 2014). *Cambio Climático*. Obtenido de Cambio Climático: <http://m.greenpeace.org/espana/Global/espana/2014/Report/cambio-climatico/Resultados%20clave%20del%20GTII%20IPCC%282%29.pdf>
- Labandeira, X., León, C., & Vázquez, M. X. (2007). Economía Ambiental . En X. Labandeira, C. León, & M. X. Vázquez, *Economía Ambiental* (págs. 4-12). Madrid: Pearson Educación .
- Lin, J.-T., Wuebbles, D. J., & Zhining Tao, H.-C. H. (2009). Potential effects of climate and emissions changes on surface ozone in the Chicago area. 1-23.
- Martinez, J., Fernandez Bremauntz, A., & Osnaya, P. (2004). El cambio climatico: una visión desde México. En J. Martinez, A. Fernandez Bremauntz, & P. Osnaya, *El cambio climatico: una visión desde México* (pág. 112). México.
- Ocampo, O. (2011). El cambio climático y su impacto en la agricultura. *Redalyc*, 1-20.
- OCDE. (2013). *OCDE*. Obtenido de OCDE.
- OMM. (28 de Marzo de 2014). *Organización Meteorologica Mundia*. Obtenido de Organización Meteorologica Mundial: http://www.wmo.int/pages/themes/environment/index_es.html
- Orellana, L. (2008). Regresión Lineal Simple. En L. Orellana, *Regresión Lineal Simple* (págs. 1-49).
- Pulido, J. I., & López, Y. (2014). Tourism an d Climate Change. Proposal of a Strategic Framework for Action. *Revista de Economía Mundial*, 257-283.
- Ray, D., J. Sweeney, D., & Williams, T. A. (2009). Métodos Cuantitativos para los Negocios. En Y. E. Grijalva, *Métodos Cuantitativos para los Negocios* (págs. 232-249).
- Ray, S. (2013). A Model of Business Response to Climate Change - An Indian Perspective. *XIMB Journal*, 113-125.
- Reynaldo, C. L. (3 de 12 de 2014). *Eumed*. Obtenido de Eumed.
- Rosales, J. (2008). Economic Growth, Climate Change, Biodiversity Loss: Distributive Justice for the Global North and South. *Conservation Biology*, 1409-1417.
- Savary, T. (22 de Abril de 2014). *Universidad Autónoma del Estado de México*. Obtenido de Universidad Autónoma del Estado de México: <http://www.uaemex.mx/plin/psus/rev1/a01.html>
- SEMARNAT. (2009). *Cambio Climático, ciencia, evidencia y acción*. México.

- Taha, H. A. (2012). Investigación de Operaciones. En H. A. aha, *Investigación de Operaciones* (págs. 647-670). México: Pearson Educación.
- UNFCCC. (02 de 12 de 2014). *UNFCCC*. Obtenido de UNFCCC:
http://unfccc.int/porta1_espanol/informacion_basica/antecedentes/items/6170.php
- Uriel, E. (2013). Regresión Lineal Múltiple: estimación y propiedades. En E. Uriel, *Regresión Lineal Múltiple: estimación y propiedades* (págs. 1-38). Valencia: Universidad de Valencia.
- Wago, H. (2009). Mitigación del cambio climatico versus desarrollo económico- El debate asiático frente a la conferencia de Copenhague. 22-50.

ANEXOS

Anexo 1

TOTAL DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

año	Gg de CO2	inc %	Gg de CH4	inc. %	Gg de N2O	inc. %	Total de Emisiones	Inc.% Total
1990	410769.23		5000		167.65		415936.88	
1991	441538.46	7.49	4909.09	-1.82	164.71	-1.75	446612.26	7.38
1992	433846.15	-1.74	4863.64	-0.93	160.29	-2.68	438870.08	-1.73
1993	437692.31	0.89	5041.67	3.66	166.18	3.67	442900.15	0.92
1994	456923.08	4.39	5125.00	1.65	167.65	0.88	462215.72	4.36
1995	430000.00	-5.89	5083.33	-0.81	163.24	-2.63	435246.57	-5.83
1996	441538.46	2.68	5333.33	4.92	163.24	0	447035.03	2.71
1997	449230.77	1.74	5416.67	1.56	169.12	3.6	454816.55	1.74
1998	468461.54	4.28	5541.67	2.31	186.76	10.43	474189.97	4.26
1999	464615.38	-0.82	5625.00	1.5	186.76	0	470427.15	-0.79
2000	476153.85	2.48	5708.33	1.48	189.71	1.57	482051.89	2.47
2001	468461.54	-1.62	5666.67	-0.73	194.12	2.33	474322.32	-1.6
2002	453076.92	-3.28	5750.00	1.47	197.06	1.52	459023.98	-3.23
2003	460769.23	1.7	5875.00	2.17	199.41	1.19	466843.64	1.7
2004	487692.31	5.84	5916.67	0.71	205.26	2.93	493814.24	5.78
2005	480000.00	-1.58	6318.18	6.79	206.58	0.64	486524.76	-1.48
2006	503076.92	4.81	6772.73	7.19	211.84	2.55	510061.49	4.84
2007	518461.54	3.06	7000.00	3.36	215.79	1.86	525677.33	3.06
2008	533846.15	2.97	7541.67	7.74	221.05	2.44	541608.87	3.03
2009	506923.08	-5.04	7791.67	3.31	222.37	0.6	514937.11	-4.92
2010	510769.23	0.76	7875.00	1.07	223.68	0.59	518867.92	0.76

Anexo 2

EMISION DE GEI PARA LA CATEGORIA DE ENERGÍA

Año	CO2	inc%	CH4	inc%	N2O	inc%	TOTAL	inc% TOTAL
1990	269455.3		48133.3		1585.3		319173.9	
1991	279167.5	3.6	46771.2	-2.83	1671.4	5.43	327610.1	2.64
1992	280415.6	0.45	45945.8	-1.76	1677	0.34	328038.4	0.13
1993	284001.4	1.28	46313.6	0.8	1968.1	17.36	332283.1	1.29
1994	309500.1	8.98	47575.2	2.72	2279.9	15.84	359355.2	8.15
1995	295142.4	-4.64	46770	-1.69	2467.3	8.22	344379.7	-4.17
1996	302594.4	2.52	52603	12.47	3045.7	23.44	358243.1	4.03
1997	313437	3.58	53848.4	2.37	3846.7	26.3	371132.1	3.6
1998	332631.7	6.12	55911.1	3.83	4751.4	23.52	393294.2	5.97

1999	321696.4	-3.29	56633	1.29	5124.8	7.86	383454.2	-2.5
2000	341863.7	6.27	56150.1	-0.85	5891.4	14.96	403905.2	5.33
2001	340865.1	-0.29	53884.6	-4.03	6824.8	15.84	401574.5	-0.58
2002	345610.2	1.39	53081.2	-1.49	7606	11.45	406297.4	1.18
2003	353845.5	2.38	54887.8	3.4	8090.9	6.38	416824.2	2.59
2004	374622	5.87	54014.3	-1.59	9680.8	19.65	438317.1	5.16
2005	372648.4	-0.53	61963.3	14.72	10076.1	4.08	444687.8	1.45
2006	380383.8	2.08	68631.3	10.76	11030.5	9.47	460045.6	3.45
2007	401286.7	5.5	72508.5	5.65	12400.6	12.42	486195.8	5.68
2008	415243.6	3.48	81107.6	11.86	14253.4	14.94	510604.6	5.02
2009	400425.7	-3.57	86064.9	6.11	13557.7	-4.88	500048.3	-2.07
2010	405130.2	1.17	84966	-1.28	13721.5	1.21	503817.7	0.75

Anexo 3

EMISIONES DE TRANSPORTE

Año	Gg de CO2 eq	inc%
1990	36785.71	
1991	37857.14	2.91
1992	38214.28	0.94
1993	35000.00	-8.41
1994	38214.28	9.18
1995	34642.85	-9.35
1996	33571.42	-3.09
1997	32500.00	-3.19
1998	36785.71	13.19
1999	34642.85	-5.83
2000	35000.00	1.03
2001	35357.14	1.02
2002	36071.42	2.02
2003	38928.57	7.92
2004	43571.42	11.93
2005	42500.00	-2.46
2006	42142.85	-0.84
2007	45714.28	8.47
2008	48571.42	6.25
2009	46785.71	-3.68
2010	47857.14	2.29

Anexo 4

EMISIÓN DE GEI (Gg de CO2 eq) POR GAS EN LA CATEGORÍA DE PROCESOS INDUSTRIALES

Año	CO2	inc%	CH4	inc%	N2O	inc%	HFC, PFC, SF6	inc%	Emisiones totales	inc. % total
1990	28180.9		83.1		548.7		1452.9		30265.6	
1991	28482.7	1.07	74	-10.95	654.9	19.35	1239.9	-14.66	30451.4	0.61
1992	29480.9	3.5	77.1	4.19	340	-48.08	925.4	-25.36	30823.3	1.22
1993	29602.6	0.41	66.6	-13.62	424.1	24.74	1475.7	59.47	31569.1	2.42
1994	31746.6	7.24	71.5	7.36	464.3	9.48	1214.9	-17.67	33483.3	6.06
1995	29736.5	-6.33	76.6	7.13	875.9	88.65	1832.6	50.84	32521.5	-2.87
1996	32693.7	9.94	77.6	1.31	1100.7	25.67	3580.4	95.37	37452.5	15.16
1997	35075.8	7.29	75.3	-2.96	850.8	-22.7	4329.8	20.93	40331.7	7.69
1998	35426.7	1	75.9	0.8	773.8	-9.05	4561.4	5.35	40837.8	1.25
1999	37891.2	6.96	72.2	-4.87	643	-16.9	5629.1	23.41	44235.6	8.32
2000	40395.3	6.61	73.3	1.52	278.8	-56.64	6286.4	11.68	47033.7	6.33
2001	41556.4	2.87	62.9	-14.19	232.6	-16.57	5304.3	-15.62	47156.3	0.26
2002	37948	-8.68	61.2	-2.7	120.5	-48.19	6144.8	15.85	44274.5	-6.11
2003	36434.6	-3.99	66.4	8.5	111.9	-7.14	6174	0.48	42787	-3.36
2004	44483	22.09	70.3	5.87	111.1	-0.71	6617.4	7.18	51281.8	19.85
2005	38144.2	-14.25	68	-3.27	116.9	5.22	8570.8	29.52	46900	-8.54
2006	44335.6	16.23	69.6	2.35	132.8	13.6	12716.2	48.37	57254.2	22.08
2007	41432.6	-6.55	66.2	-4.89	132.2	-0.45	14318.1	12.6	55949.1	-2.28
2008	42538.6	2.67	69.1	4.38	131.6	-0.45	15427.9	7.75	58167.2	3.96
2009	40147	-5.62	70.7	2.32	131	-0.46	15142	-1.85	55490.7	-4.6
2010	42163.4	5.02	70	-0.99	130.4	-0.46	18945.1	25.12	61308.9	10.49

Anexo 5

Emisiones de GEI Agricultura

Año	Emisiones totales Agricultura	incr. % emisiones agricultura
1990	92785.9	
1991	91041.5	-1.88
1992	89777.2	-1.39
1993	90185.1	0.45
1994	89792	-0.44
1995	88247.2	-1.72

1996	86267.3	-2.24
1997	86946.8	0.79
1998	87534.7	0.68
1999	86161	-1.57
2000	87059.6	1.04
2001	87684.4	0.72
2002	88865.9	1.35
2003	89056	0.21
2004	89244.1	0.21
2005	88745.6	-0.56
2006	88999.9	0.29
2007	89635.3	0.71
2008	89991.3	0.4
2009	91503.8	1.68
2010	92184.6	0.74

Anexo 6

INCREMENTO PORCENTUAL DEL PIB.

Año	PIB incremento %
1990	5.1
1991	4.2
1992	3.6
1993	4.1
1994	4.7
1995	-5.8
1996	5.9
1997	7
1998	4.7
1999	2.7
2000	5.3
2001	-0.6
2002	0.1
2003	1.4
2004	4.3
2005	3
2006	5
2007	3.1
2008	1.4
2009	-4.7
2010	5.1

2011	4
2012	4
2013	1.1

Anexo 7

INCREMENTO PORCENTUAL DEL PIB POR SECTOR

Año	PIB Agricultura	extracción de petróleo y gas	Industria	fabricación de automóviles y camiones
1994	2.64	0.58	3.14	4.09
1995	-1.51	-1.63	-5.22	-26.81
1996	7.65	9.27	9.32	53.92
1997	-1.36	4.87	10.5	14.19
1998	-0.05	1.84	7.08	9.58
1999	2.87	-4.64	2.71	10.09
2000	-0.02	2.52	5.78	20.35
2001	3.66	2.01	-3.12	0.57
2002	-1.17	0.4	-0.67	2.26
2003	3.12	4.08	-1.36	-9.73
2004	5.45	1.1	3.57	0.65
2005	-7.58	-0.81	2.73	7.02
2006	9.33	-0.7	4.5	22.92
2007	1.86	-3.15	0.96	1.32
2008	2.17	-5.61	-1.01	6.63
2009	-4.57	-4.94	-8.35	-26.4
2010	-0.1	-0.65	8.55	52.19
2011	-4.31	-1.71	4.59	15.15
2012	11.35	-0.47	4.03	13.05
2013	2.34	-1.18	1.1	3.83

Anexo 8

PIB POR SECTOR EN mdp

Año	Agricultura	Extracción de petróleo y gas	Industria	fabricación de automóviles y camiones
1993	777820.607	3258252.6	5596131.04	501506.833
1994	798367.745	3277028.97	5771827.95	511485.403
1995	786301.356	3223719.48	5470698.67	419026.316
1996	846484.404	3522624.34	5980526.68	547527.803
1997	834946.988	3694338.95	6608300.82	638904.564
1998	834514.917	3762334.16	7076379.69	724752.606
1999	858426.519	3587611.78	7268193.2	782629.049
2000	858253.208	3677916.4	7688205.35	894781.044
2001	889656.838	3751759.33	7448660.87	868816.988
2002	879281.955	3766827.98	7398533.78	854188.024
2003	906741.103	3920614.7	7297680.69	802671.444
2004	956125.236	3963681.56	7558103.99	840433.073
2005	883669.503	3931712.12	7764491.7	872132.231
2006	966098.426	3904195.39	8113929.57	985277.9
2007	984086.183	3781153.84	8191640.6	1027321.6
2008	1005438.76	3569186.68	8109019.42	1027904.26
2009	959539.959	3392802.67	7431627.33	756750.94
2010	958568.535	3370880.55	8066817.58	1075764.95