



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Contaduría y Administración
Maestría en Ciencias Económico-Administrativas

EQUILIBRIO GENERAL COMPUTADO: APLICACIÓN AL ANÁLISIS DE POLÍTICAS
AMBIENTALES EN MÉXICO

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Maestría en Ciencias Económico-Administrativas

Presenta:

Lizeth Azucena Razo Zamora

Dirigido por:

Dra. Julia Hirsch

SINODALES

Dra. Julia Hirsch
Presidente

Julia Hirsch
Firma

Dra. Alejandra Elizabeth Urbiola Solís
Secretario

Alejandra Urbiola
Firma

Dr. Enrique Leonardo Kato Vidal
Vocal

Enrique L. Kato Vidal
Firma

Dr. Héctor Gerardo Toledo Rosillo
Suplente 1

Héctor Gerardo Toledo Rosillo
Firma

Dra. Denise Gómez Hernández
Suplente 2

Denise Gómez Hernández
Firma

Dr. Arturo Castañeda Olalde
Director de la Facultad de Contaduría y
Administración

Guadalupe Flavia Loarca Piña
Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña
Directora de Investigación y
Posgrado

RESUMEN

En la actualidad ya se pueden observar algunos efectos del Cambio Climático en el medio ambiente. Los glaciares se han encogido, el nivel del mar ha aumentado de manera acelerada y los fenómenos climatológicos como ciclones, ondas gélidas y ondas de calor son más constantes, largos e intensos. Estos efectos ponen en peligro la disponibilidad de recursos y las capacidades productivas de las economías del mundo. Sin embargo, la magnitud e intensidad del Cambio Climático y de sus distintos efectos en la tierra depende principalmente de la cantidad de gases de efecto invernadero emitidos a nivel mundial que son resultado especialmente de las actividades económicas y de producción que se llevan a cabo de manera cotidiana alrededor de mundo. Debido a estos descubrimientos, el Cambio Climático se ha convertido en un gran tema de estudio y preocupación para los científicos de múltiples áreas y para la comunidad internacional, que han utilizado diversos instrumentos para poder medir y evaluar los impactos de éste fenómeno. Una de las metodologías más utilizadas es el Equilibrio General Computado (EGC), el cual permite observar los efectos directos e indirectos, de corto y largo plazo, de un cambio en la economía. Este trabajo funge como un primer acercamiento a los modelos de Equilibrio General Computado (EGC) para el estudio económico del Cambio Climático y el análisis de políticas públicas ambientales. Usando la base de datos y el software GTAP, se introducen los conceptos teóricos del modelo, así como se presentan las consideraciones básicas y características particulares del programa. A manera de ejemplo, se crearon dos modelos para el caso de México; el Modelo 1 tiene el propósito de medir los efectos económicos del Cambio Climático a largo plazo en México para el año 2050. El Modelo 2 se diseñó para analizar un hipotético cambio en los impuestos del sector energético en México en 2050.

(Palabras clave: Equilibrio General Computado, Cambio Climático, México)

ABSTRACT

Nowadays, some effects of Climate Change on the environment can already be observed. Glaciers have shrunk, sea level has increased rapidly, weather phenomena such as cyclones, freezing wave, and heat waves are longer, more constant and more intense. These effects jeopardize the availability of resources and the productive capacities of world's economies. However, the magnitude and intensity of Climate Change and its effects on earth depend mainly on greenhouse gases emission levels worldwide, which directly relate to everyday economic and production activities. Due to these discoveries, Climate Change has become a major topic for both, international community and academia, which have applied various instruments in order to measure and evaluate Climate Changes impacts. One of the most popular methodologies is Computable General Equilibrium Models (CGE), which allows the analysis of direct and indirect effects of a change in the economy. This work serves as a first approach to Computable General Equilibrium modeling for the economic study of Climate Change and the analysis of environmental public policies. Using the database and the GTAP package software, the theoretical concepts of the model are introduced, as well as basic considerations and particular characteristics of the program. As an example, two models were created for the case of Mexico. Model 1 is intended to measure the long-term economic effects of Climate Change in Mexico by 2050. Model 2 was designed to analyze a hypothetical change in taxes for the energy sector in Mexico by 2050.

(Key words: Computable General Equilibrium Modeling, Climate Change, Mexico)

Dedicado a mis Grandes Amores,
en eterna gratitud por su amor y su apoyo.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco enormemente a la Universidad Autónoma de Querétaro y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la oportunidad de continuar mis estudios y obtener un posgrado de calidad que me permitirán lograr mis objetivos profesionales y de investigación. Igualmente, agradezco a las instituciones por permitirme estudiar parte de esta Maestría en el extranjero. La movilidad en Alemania, me permitió ampliar los alcances de mi investigación, así como desarrollar habilidades que me permitirán ser más competitiva internacionalmente.

Agradezco a la coordinación, docentes, sinodales, alumnos y personal administrativo de la Maestría en Ciencias Económico-Administrativas. Gracias a la coordinación por siempre apoyar e impulsar a los alumnos. Gracias al personal administrativo, especialmente a Vane por esa calidad humana incomparable y por ser nuestra luz al final del túnel en todos los trámites administrativos. Gracias a todos los docentes que siempre se mostraron dispuestos a escuchar y atender mis dudas y a mis sinodales por sus atinadas observaciones. Gracias a mis compañeritos por compartir este viaje conmigo, por escuchar pacientemente mis explicaciones de economía ambiental, por alentarme y apoyarme.

Finalmente, quisiera hacer un reconociendo especial por la ayuda de la Dra. Julia Hirsch, coordinadora del programa y directora de esta tesis. Gracias por todo su apoyo a lo largo de la maestría y en el proceso de escritura del artículo y de esta tesis. Es admirable conocer investigadores tan brillantes y comprometidos como usted. Gracias por creer en mí y guiarme mientras exploraba este tema desconocido, por presionarme para dar lo mejor de mí y por ser un gran ejemplo a seguir.

Gracias a todos ustedes ésta maestría significa un parte aguas y una de las etapas más bonitas y enriquecedoras de vida. Se los agradezco de corazón.

ÍNDICE

Resumen	I
Abstract	II
Dedicatoria	III
Agradecimientos	IV
Índice	V
Índice de tablas	VIII
Índice de figuras	X
INTRODUCCIÓN	1
1. MARCO TEÓRICO	2
1.1. La teoría de Equilibrio General	3
1.1.1. Matriz de contabilidad social (SAM)	8
1.1.2. Agentes y estructuras del modelo	11
1.1.3. Modelo simple de equilibrio general	14
1.2. Equilibrio general computado	21
1.2.1. El programa y el modelo estándar GTAP	22
1.2.2. Elementos básicos de un modelo de equilibrio general Computado	27
1.3. La contaminación del aire y su impacto ambiental	35
1.3.1. Emisiones de gases de efecto invernadero	35
1.3.2. La contaminación a nivel mundial	38
1.3.3. México y el Cambio Climático	41
1.3.4. Tendencias de crecimiento mundiales	42

1.4. Economía ambiental	47
1.4.1. Eficiencia económica social y fallos del mercado	47
1.4.2. Externalidades	49
1.4.3. Instrumentos de política ambiental	53
1.4.4. Políticas Públicas para combatir el Cambio Climático en México.	59
1.5. Revisión de estudios relevantes del área	64
1.5.1. Análisis de Políticas Óptimas	64
1.5.2. Estudios sobre México	66
1.5.3. Efectos económicos del Cambio Climático	67
2. MARCO METODOLÓGICO	71
2.1. Preguntas de investigación, objetivos e hipótesis	71
2.1.1. Objetivos	74
2.1.2. Hipótesis	75
2.1.2. Obtención de datos	77
2.2. Definición de los modelos	78
2.2.1. Modelo 1	78
2.2.2. Modelo 2	88
2.3. Pruebas de hipótesis	94
3. ANÁLISIS DE RESULTADOS	99
3.1. Modelo 1 (variante 1)	99
3.1.2. Modelo 1 (variante 2)	105
3.2. Modelo 2	113

3.3. Limitantes del estudio	121
ANÁLISIS Y CONCLUSIONES	125
REFERENCIAS	130
APÉNDICES	143

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla		Página
1.1.	Parámetros del modelo estándar GTAP	32
1.2.	Medidas, acciones y compromisos de México para combatir el Cambio Climático	63
2.1.	Proyecciones para el escenario base, tasas de crecimiento 2007-2050	81
2.2.	Variables observadas	86
2.3.	Cambios en la productividad (2055)	86
2.4.	Proyecciones para el escenario base (tasa de crecimiento 2007-2050)	91
2.5.	Variables observadas Modelo 2	92
2.6.	Proyecciones para reforma energética 2007-2050	92
2.7	Signos esperados en escenario 1 (variante 2)	95
3.1.	Efectos económicos del Cambio Climático (cambio porcentual)	98
3.2.	Efectos económicos del Cambio Climático 2050 (cambio porcentual)	104
3.3.	Tasas de impuestos en la industria energética mexicana 2007	111

3.4.	Efectos Económicos de la Reforma Energética a 2050 (cambio porcentual 2007-2050)	113
a.1.	Variables del modelo estándar GTAP	140
b.1.	Países incluidos en el anexo I	151
c.1	Intervalos de confianza para el resultado de análisis de sensibilidad ESUBVA	153
c.2	Intervalos de confianza para el resultado de análisis de sensibilidad de importaciones	154
c.3	Intervalos de confianza para el resultado de análisis de sensibilidad de ESUBD	155
c.4	Efectos de bienestar escenario TAX2050	156
c.5	Descomposición del bienestar social en el efecto de eficiencia de asignación	157
c.6	Efectos de bienestar del Cambio Climático y la reforma energética por región	158
c.7	Intervalos de confianza para el resultado de variación equivalente (EV)	159

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1.1. Ley de Walras	6
1.2. Ejemplo de SAM simple.	9
1.3. Pasos generales de un modelo de equilibrio general Computado	33
1.4. Emisiones de dióxido de carbono mundial.	40
1.5. Composición de gases de efecto invernadero en México.	41
1.6. Externalidad negativa y eficiencia de asignación.	51
1.7. Ingresos por IEPS en Gasolina y Diesel.	61
3.1. PIB real (qgdp) MEX 2050.	99
3.2. PIB real (qgdp) ROW 2050.	99
3.3. Análisis parcial del sector agrícola	100
3.4. Análisis parcial del precio al consumidor	101
3.5. Exportaciones agrícolas (qxw)	102
3.6. Importaciones agrícolas (qiw) MEX.	103
3.7. PIB real (qgdp) MEX	105
3.8. PIB real (qgdp) ROW	105
3.9. Producción agrícola (qo) MEX	106

3.10.	Producción agrícola (qo) ROW	106
3.11.	precio al productor sector agrícola (ps) MEX	107
3.12.	Precio al consumidor sector agrícola (pp) MEX	107
3.13.	Exportaciones agrícolas (qxw) MEX.	108
3.14.	Importaciones agrícolas	108
3.15.	Consumo privado sector agrícola (qpd) MEX	109
3.16.	PIB real (qgdp) MEX	114
3.17.	PIB real (qgdp) ROW	114
3.18.	Precio al productor (ps) MEX	115
3.19.	Precio al consumidor (pp) MEX	115
3.20.	Consumo privado (qpd) MEX	116

INTRODUCCIÓN

El Equilibrio General Computado es una herramienta que permite visualizar una economía en su totalidad. A diferencia de los modelos de equilibrio parcial que sólo explican el comportamiento de una parte de la economía, el Equilibrio General Computado permite observar el comportamiento de varios países, industrias y agentes económicos (como clientes, sector público y sector privado) de manera simultánea.

El Equilibrio General también permite modelar los diferentes efectos a largo plazo que una problemática como el cambio climático puede provocar. De acuerdo a numerosos estudios realizados en diferentes áreas, el Cambio Climático tiene efectos progresivos y a largo plazo que afectan la temperatura del planeta y los fenómenos climatológicos que pueden afectar el suministro y/o el desempeño de ciertos factores de producción.

En este trabajo, se introducen los conceptos, la estructura y procedimientos básicos para crear un Modelo de Equilibrio General Computado aplicado a cuestiones medioambientales para el caso mexicano, utilizando el paquete software GTAP. Finalmente, a modo de ejemplo, se presentan dos modelos para estudiar la economía mexicana en dos situaciones cruciales: ante los efectos del Cambio Climático y ante un cambio de política pública al aumentar los impuestos ambientales.

1. MARCO TEÓRICO

El análisis de Equilibrio General Computado puede ser de gran ayuda para evaluar posibles pautas de acción para problemáticas con múltiples orígenes y efectos. Las problemáticas ambientales son muchas y variadas, y cada vez se demuestra que es necesario tomar medidas urgentes. Esta investigación se centra en explicar la metodología básica para crear un modelo de Equilibrio General adecuado para estudiar el Cambio Climático. El marco teórico de esta investigación consiste en cinco principales pilares:

En la primera sección del marco teórico (1.1) se introducen los conceptos básicos de la Teoría de Equilibrio General desarrollada por Walras y Arrow-Debreu. En esta sección también se habla principalmente de la Matriz de Contabilidad Social, los agentes y estructuras, para finalizar con un modelo simple de Equilibrio General.

En la segunda sección (1.2) se estudia el Equilibrio General Computado, en específico se describen las características primordiales de paquete GTAP (Global Trade Analysis Project) y el modelo de Equilibrio General estándar GTAP.

Debido a que se desea aplicar esta metodología al análisis de problemáticas ambientales, en la tercera sección del marco teórico (1.3) se estudia la problemática de la contaminación del aire y los diversos elementos que le componen. Primero, se mencionan los principales gases de efecto invernadero (GEI), sus orígenes, así como las reacciones e impactos en el planeta. En esta sección del documento, también se da una revisión de la situación actual en el mundo y las tendencias de crecimiento de ciertas variables macroeconómicas, realizando un enfoque especial en México.

En el apartado (1.4) se explican algunos conceptos de economía ambiental que aplican para la problemática que se desea analizar. Como primer punto, se exponen los conceptos de eficiencia económica y fallos del mercado, haciendo un énfasis en las

externalidades. Esta sección finaliza con una revisión de los instrumentos de política ambiental utilizados actualmente.

Finalmente, en la última sección (1.5) se realiza una revisión de la literatura científica de temas referentes a la economía y el medio ambiente que utilicen la metodología de Equilibrio General, comenzando por estudios de análisis de políticas públicas, continuando con estudios específicos de México y finalizando con estudios sobre los efectos económicos del Cambio Climático.

1.1. La teoría del equilibrio general

Al comienzo, al equilibrio de mercado se le dio el nombre de "la mano invisible" por Adam Smith en 1776. Sin embargo, su tratamiento matemático fue comenzado un siglo más adelante por Cournot y especialmente Walras. Más tarde, Arrow-Debreu llenó el vacío al probar matemáticamente la existencia de un equilibrio general (Torres, 2015).

Un equilibrio parcial se puede explicar fácilmente en términos de oferta y demanda. El punto donde se cruzan las curvas de demanda y oferta es el punto de equilibrio. El modelo de demanda y oferta es un modelo de equilibrio parcial de equilibrio económico, donde la separación en el mercado de bienes más específicos se obtiene independientemente de los precios y cantidades en otros mercados. El principal supuesto es que los precios de todos los sustitutos y complementos, así como los niveles de ingresos de los consumidores son constantes (Torres, 2015).

El Equilibrio General es un modelo que analiza toda la economía, ya que describe las motivaciones y comportamientos de todos los productores y consumidores en una economía y los vínculos que existen entre ellos. Por un lado, representa a las empresas que responden a la demanda mediante la compra de insumos, la contratación de servicios

y uso de capital. Los ingresos generados por las ventas del producto de las empresas se acumulan finalmente en el hogar, lo que significa bienes y servicios, ahorros e inversiones (Bufisher, M. 2016).

Por otro lado, los ingresos tributarios financian el gasto y el ahorro del gobierno y conducen al gasto en inversiones. La demanda combinada de los hogares, el gobierno y los inversionistas privados se satisface por la producción de las empresas que, para completar el flujo circular de ingresos y gastos, utilizan factores de producción que son propiedad de los hogares (Bufisher, M. 2016).

El modelo teórico de Walras de Equilibrio General consiste en representar el mundo económico mediante un sistema de ecuaciones, las cuales son independientes matemáticamente. El sistema de ecuaciones debe permitir hallar al menos un conjunto coherente de valores que satisfaga simultáneamente a todas las ecuaciones del sistema (Chasari, et al., 2012).

Al construir el modelo teórico básico, las condiciones en las que éste se desarrollaría eran estáticas y de competencia perfecta. Las hipótesis básicas del modelo son (Rueda, 2009):

1. El precio del producto es igual a su coste medio. Esto implica que el costo total se iguala al valor de la producción y a los ingresos obtenidos por su venta. Por lo tanto, las ganancias de las empresas son nulas.
2. Existencia de un precio de equilibrio en el que la oferta y la demanda son iguales. En ese punto de equilibrio las cantidades ofrecidas y demandadas son iguales en

un determinado precio. De esta manera, las variables endógenas significativas en este modelo son los precios y las cantidades.

3. Existe un número dado de consumidores y productores que aplican el principio de conducta racional maximizadora.
4. Los bienes son objetos identificables por características esenciales, divisibles y conocidos por los individuos.
5. Exististe información perfecta disponible para todos sobre los bienes disponibles en cada estado de la economía.
6. Hay unicidad de bienes, es un sistema completo de mercados presentes, futuros y contingentes, con lo cual elimina la posibilidad de incertidumbre.
7. El horizonte de la economía es finito, es decir, existe una fecha final para los mercados.

Cada agente elige sus mercancías de acuerdo con su restricción presupuestaria para maximizar su utilidad. Un equilibrio Walrasiano resulta cuando la suma de todas las demandas es igual a la suma de todos los vectores de la oferta (Rueda, 2009).

En la Figura 1.1 se ejemplifica la ley de Walras, el cual es uno de los elementos principales de un modelo de equilibrio general, que estipula que la suma del valor de los excesos de demanda, aún si los precios están en desequilibrio, es siempre igual a cero (Chasari, et al., 2012).

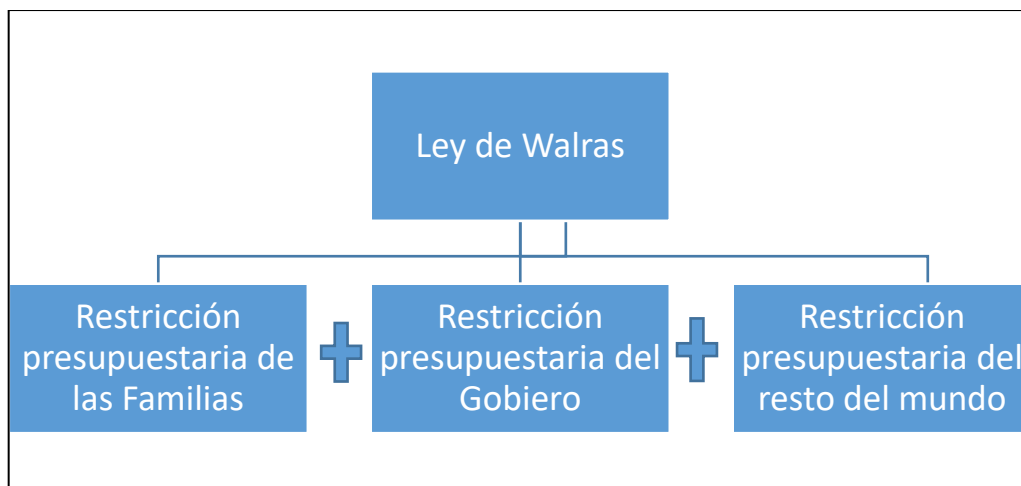


Figura 1.1 Ley de Walras. Elaboración propia a partir de datos de Chasari, et al., (2012)

Esto quiere decir que los mercados están vinculados a través de las restricciones presupuestarias de los agentes y se obtiene a partir de la suma de estas restricciones. En otras palabras, dice que en una economía de N mercados, sólo $N-1$ son independientes. Si existiese un mundo de dos bienes, por ejemplo, sólo habría un mercado relevante y también habrá un precio relevante. Esto explica por qué esta teoría se enfoca en los precios relativos de los bienes (Chasari, et al., 2012).

Otra característica que se desea alcanzar en el equilibrio del mercado es el óptimo de Pareto. Un equilibrio sólo es óptimo de Pareto si ninguno de los agentes afectados puede mejorar su situación sin reducir el bienestar de cualquier otro agente. El hallazgo más grande de la teoría de equilibrio general de Walras, es que un equilibrio *Walrasiano* es un óptimo de Pareto (Chasari, et al., 2012).

¿Qué sucede si no hay igualdad entre la oferta y la demanda? En estos casos se utiliza el tanteo Walrasiano o *tâtonnements*, que consiste en aumentar el precio de los bienes de los cuales la demanda es superior a la oferta y disminuir en el caso contrario (la oferta es

superior a la demanda). El objetivo es mostrar que el sistema es estable, es decir, que los precios convergen hacia un equilibrio (Rueda, 2009).

El modelo de Arrow y Debreu (1954) se puede identificar como el primer modelo completo de equilibrio general, en el cual se demostró formalmente la existencia de equilibrio con un sector productivo formado por empresas (André, Cardenete y Romero, 2010). Cada empresa tiene un conjunto de posibilidades de producción basado en la cantidad de recursos que posee. La condición de equilibrio en este sector productivo se logra cuando cada empresa escoge la combinación de insumo y producción de su conjunto de posibilidades técnicas que maximizan los beneficios a precios de mercado (André, Cardenete y Romero, 2010).

Los análisis de equilibrio general pueden ser estáticos o dinámicos. El análisis de equilibrio general estático se realiza en un periodo de tiempo que sea lo suficientemente corto para evitar una gran distorsión de la realidad y se debe suponer que todas las transacciones terminarán en un periodo dado. Es decir, se toma una “fotografía instantánea” de la economía que permite analizar sus características esenciales (André, et al., 2010). En el caso de la aproximación de Walras, el equilibrio estático era viable únicamente cuando todo permanecía constante: gustos, recursos, e incluso capital y tasa de crecimiento poblacional (André, et al., 2010).

El análisis dinámico examina el comportamiento de un modelo a medida que pasa el tiempo, es decir, los fenómenos económicos son estudiados en relación con los acontecimientos anteriores y posteriores. Cuando el análisis es dinámico generalmente el objetivo de la investigación radica en encontrar sendas a lo largo del tiempo para las

variables endógenas. Estadísticamente, los modelos de equilibrio general dinámicos son menos consistentes que los modelos estáticos (Sánchez, 2005).

Existe también un tipo de análisis intermedio denominado estática comparativa. La estática comparativa consiste en la comparación de dos posiciones de equilibrio estático, en otras palabras, se comparan dos “fotografías instantáneas”, una de ellas tomada antes del cambio y otra después. Es importante entender que, a diferencia del análisis dinámico, la estática comparativa no estudia la trayectoria temporal de las variables entre ambos equilibrios (Sánchez, 2005).

Sin importar el tipo de análisis que se escoja, crear un modelo de equilibrio general requiere de una cantidad de datos considerable para modelar el comportamiento de los distintos agentes que interactúan en una economía, por lo tanto, la organización de dicha información es igual de importante para facilitar el trabajo del investigador. Generalmente se utiliza la Matriz de Contabilidad Social (SAM), la cual se explica brevemente a continuación.

1.1.1. Matriz de contabilidad social (SAM)

Para obtener el caso base, la presentación de los datos es primordial. Esta se realiza generalmente mediante la Matriz de Contabilidad Social o SAM por *Social Accounting Matrix*. Esta matriz contiene todas las transacciones que tienen lugar en una economía determinada durante un periodo de tiempo específico (Cicowiez y Di Gresia, 2004).

La Figura 1.2 ejemplifica las transacciones que se realizan entre los factores de producción, los consumidores y los sectores productivos. Las flechas de la figura indican los flujos monetarios:

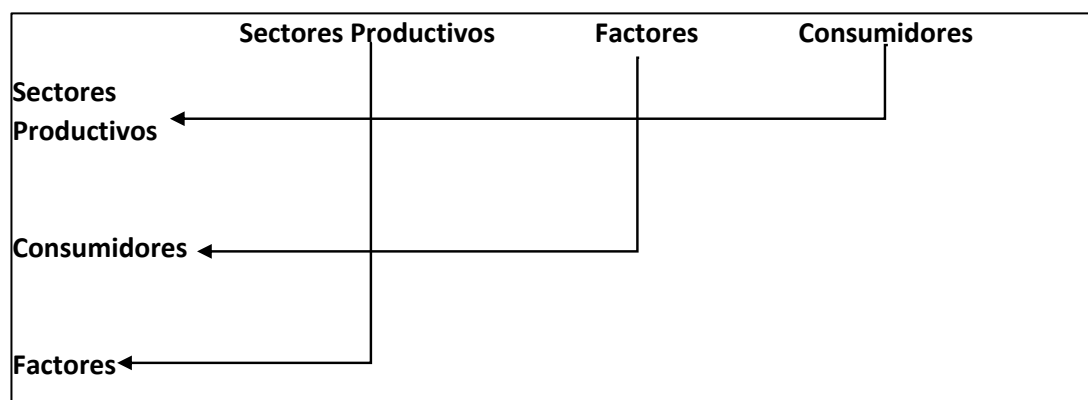


Figura 1.2. Ejemplo de SAM simple. Elaboración propia a partir de datos de Cicowiez y Di Gresia, 2004 (s.p).

La primera columna de la Figura 1.2 muestra que los sectores productivos (las empresas) realizan pagos por los factores de producción que emplean. Del mismo modo, en la segunda columna indica que los consumidores reciben una remuneración por los factores que poseen y que son usados por las empresas. Por último, los consumidores utilizan su ingreso para comprar los bienes que producen las empresas (Cicowiez y Di Gresia, 2004).

Para los fines del Modelo de Equilibrio General, al momento de construir la SAM es necesario recordar que los valores observados de las variables establecerán el equilibrio base de nuestro modelo. Para tal fin, se deben considerar las siguientes condiciones (Cicowiez y Di Gresia, 2004):

- Las demandas son iguales a la oferta en todos los mercados.
- Los beneficios son nulos en todos los mercados.

- Todos los agentes modelados cumplen con su restricción presupuestaria. En otras palabras, la suma de cada fila debe igualarse con la suma de la columna correspondiente, lo que refleja que cada cuenta satisface exactamente su restricción presupuestaria.
- El sector externo de la economía está equilibrado. Es decir, las exportaciones son iguales a las importaciones.

Los datos se obtienen, en su mayoría, de la Matriz Insumo-Producto (MIP o I-P) la cual recopila las transacciones entre todos sectores productivos de una economía durante un año (Chisari et al., 2012). Sin embargo, para construir correctamente una SAM, se deberá agregar más información dependiendo del modelo que se desea construir. Debido a que la información proviene de diferentes fuentes, se emplean comúnmente métodos de ajuste para hacer compatible toda la información., el más utilizado es el RAS (row-and-column sum) (Cicowiez y Di Gresia, 2004).

La SAM está constituida generalmente por cinco tipos de cuentas: la cuenta de producción, de bienes, de factores, e instituciones (hogares y gobierno) y del sector externo. Las diferentes cuentas de la matriz delimitan los límites del modelo global. Como se dijo anteriormente, la especificación de un modelo completo requiere que las relaciones de mercado, de comportamiento y de sistema de cada una de las cuentas estén detalladas en el modelo. Por lo tanto es importante considerar las siguientes características (Chisari et al., 2012):

- Las cuentas de bienes y factores requieren la especificación de mercado (oferta, demanda y condiciones de equilibrio)

- Las cuentas de los hogares y del gobierno requieren reglas, comportamiento y restricciones presupuestarias.
- Las cuentas de inversión y del resto del mundo dan los requerimientos macroeconómicos para el balance interno ($S=I$) y externo (exportaciones = importaciones).

Una vez construida la SAM, es necesario obtener los valores de los parámetros del modelo mediante la calibración del equilibrio. Para obtener el equilibrio inicial se deben seleccionar las formas funcionales que tendrán las funciones de utilidad, producción etc. Normalmente se utilizan las estipuladas por Leontief, Cobb-Douglas, CES (Elasticidad de Sustitución Constante), el Sistema de Gasto Lineal de Stone-Geary (LES en inglés), Elasticidad de Sustitución Constante (ESC) y Diferencia Constante de Elasticidades (DCE) (Bufisher, M., (2016).

1.1.2. Agentes y estructuras del modelo

Los modelos EG de todos los tipos comparten muchas características. Incluyen ecuaciones de comportamiento que describen la conducta del productor y los consumidores, ecuaciones de identificación que describen las relaciones contables e imponen restricciones de mercado y reglas de *macroclosure* que gobiernan el saldo de ahorro e inversión (Bufisher, 2016).

La construcción de un modelo de equilibrio general requiere de la definición de elementos que corresponden a dos niveles: agentes y estructura. El modelo básico de equilibrio general considera la existencia de dos agentes: consumidores y empresas, sin

embargo, el número de agentes puede ampliarse incluyendo el gobierno, banco central, los capitalistas, el sistema financiero etc. (Torres, 2015).

Por otro lado, la estructura de una economía está compuesta por tres elementos principales: preferencias, tecnología y entorno institucional. Torres (2015) describe las características más importantes de los agentes económicos y la estructura.

Agentes

- *Consumidores*: Son los agentes que toman decisiones de consumo-ahorro. En términos generales, estos agentes también toman decisiones de inversión a través del ahorro.
- *Empresas*: Las empresas son las entidades productivas de la economía. Estas deciden qué cantidad de factores productivos quieren alquilar, tomando como dados los precios de los factores de producción: trabajo y capital. Los factores de producción se combinan usando tecnología para producir los bienes finales.
- *Capitalistas*: Estos agentes son los que deciden el nivel de inversión de la economía. Se incluyen estos agentes al modelo con el propósito de diferenciar las decisiones de ahorro de las decisiones de inversión, diferenciándolos del consumidor.
- *Gobierno*: El gobierno es el agente que decide la política fiscal. Es el que fija el menú de impuestos y el que determina el volumen del gasto público.
- *Banco central*: Este agente se incorpora al modelo cuando el objetivo del estudio es analizar los efectos de la política monetaria.
- *Sector exterior*: Refleja el comportamiento en conjunto de los agentes que conforman otras economías con las que existe una relación de intercambio y que

por tanto afectan al equilibrio de la economía. El comportamiento del resto del mundo se toma como dado, al mantener el supuesto de Walras de que nuestra economía es lo suficientemente pequeña y no influye en los precios internacionales.

Estructura

- *Preferencias:* Las preferencias hacen referencia a la función de maximización de los distintos agentes que intervienen en la economía. La base del modelo es que los agentes económicos maximizan una determinada función objetivo. Por lo tanto, es necesario especificar cómo es esta función. En el caso de los consumidores se considera la función de utilidad. En el caso de las empresas, esta función objetivo son los beneficios. Por otro lado, el objetivo del gobierno es maximizar el bienestar social y el del Banco Central es controlar la inflación.
- *Tecnología:* Este elemento define cómo se transforman los factores productivos en productos terminados con valor agregado. La tecnología constituye un aspecto esencial del modelo, ya que determina los rendimientos de los distintos factores de producción, los cuales generalmente son trabajo y capital.
- *Entorno Institucional:* Este punto hace referencia a las restricciones de carácter institucional que determinan las relaciones entre los agentes económicos. Es necesario definir cómo son los diferentes mercados o sectores de la economía, por ejemplo, si son competitivos o se encuentran en una estructura de mercado más acercada a la competencia imperfecta, la disponibilidad y acceso a la información, el papel de gobierno en este sector y si existen rigideces en el mercado (como precios o salarios).

1.1.3. Modelo simple de Equilibrio General

En esta sección se desarrolla un modelo simple de Equilibrio General expuesto por Hosoe, et al. (2015). De acuerdo con los autores, todos los modelos usados para el análisis de políticas públicas son una extensión de este modelo.

Los supuestos básicos del modelo son dos: primero, es una economía estática, en el sentido de que no se incluyen elementos relacionados con el tiempo, la inversión y el ahorro. El segundo supuesto es que es una economía cerrada, es decir, no se incluye el comercio internacional.

Este modelo cuenta con un hogar, dos empresas y dos bienes, pan y leche (indicados con los índices i o j) y dos factores de producción, capital y trabajo (indicados con los índices h o k). El hogar representativo consume estos dos bienes en las cantidades que maximizan su utilidad.

Existen dos empresas representativas, las cuales producen uno de esos bienes, ya sea pan o leche. Al mismo tiempo los hogares dotados de factores de producción, los proporcionan a las firmas a cambio de un ingreso. Las empresas utilizan los factores para producir los bienes que posteriormente les venden a los hogares. (Hosoe, et al. 2015)

De acuerdo al supuesto de Walras, se asume que el mercado es de competencia perfecta, esto quiere decir que ningún agente tiene el poder suficiente para influir en el precio o en la cantidad en el mercado, los agentes son tomadores de precio. Al ser un mercado perfectamente competitivo, se infiere que la demanda y oferta de bienes y factores se equilibra en los mercados con ajustes flexibles a los precios. A continuación

se expondrá con más detalle el comportamiento de los diferentes agentes de la economía basado en Hosoe, et al. (2015).

El comportamiento del hogar

Como se mencionó anteriormente el objetivo del hogar es vender todos los factores (capital y trabajo) que posee a las empresas para obtener ingresos. Los ingresos obtenidos, los hogares los gastan para consumir dos bienes (pan y leche).

Se asume que el hogar escoge consumir la cantidad de pan y leche que maximice su utilidad o satisfacción. También se asume que la función de utilidad de los consumidores es del tipo Cobb-Douglas y que los precios de los bienes y factores están dados (Hosoe, et al. 2015). El hogar maximiza su utilidad (ver ecuación 2.3.a) en dependencia a su restricción presupuestaria ver (ver ecuación 2.3.b).

$$\text{maximize}_{x_i} UU = \prod_i x_i^{\alpha_i} \quad (2.3.a)$$

Sujeto a

$$\sum p_i^x X_i = \sum p_h^f F F_h \quad (2.3.b)$$

Donde:

i, j: bienes (pan y leche)

h, k: factores (capital y trabajo)

UU: utilidad

x_i : consumo del i ésimo bien. ($X_i \geq 0$)

FF_h : pago por el factor h

p_i^x : es el precio de la demanda por el bien i ($p_i^x \geq 0$)

p_h^f : precio del factor h ($p_h^f \geq 0$)

α_i : parámetro compartido en la función de utilidad. ($0 \leq \alpha_i \leq 1, \sum \alpha_i = 1$)

Hosoe, et al. (2015) resuelven este problema analítico mediante el método del multiplicador de Lagrange. La ecuación Lagrangiana quedaría de la siguiente manera (ver ecuación 2.3.c):

$$L(X_i, \varphi) \equiv \prod_i X_i^{\alpha_i} + \varphi (\sum_h p_h^f FF_h - \sum_h p_i^x X_i) \quad (2.3.c)$$

Las condiciones de optimización de primer orden son:

$$\frac{\partial L}{\partial X_i} = \alpha_i \frac{\prod_j X_j^{\alpha_j}}{X_i} - \varphi p_i^x = 0 \quad (2.3.d)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \varphi} = \sum_h p_h^f FF_h - \sum_h p_i^x X_i = 0 \quad (2.3.e)$$

Resolviendo el sistema (2.3.d) - (2.3.e) para la demanda de X_i y eliminando el multiplicador Lagrange, se obtiene la función de demanda del bien i. Esta función (ver ecuación 2.3.f) da a entender que la demanda por el bien X_i incrementa con la disminución de su precio p_i^x (por eso su pendiente negativa) o con un incremento en el ingreso $\sum_h p_h^f FF_h$ (Hosoe, et al. 2015).

$$X_i = -\frac{\partial L}{\partial p_i^x} \sum_h p_h^f FF_h \quad \forall i \quad (2.3.f)$$

El comportamiento de las empresas

Como se recordará, esta economía tiene dos empresas; una produce pan y la otra leche. Ambas empresas utilizan capital y trabajo para producir sus bienes, por el momento no se están considerando bienes intermedios ni subproductos. El objetivo de cada empresa es maximizar sus ganancias sujeto a una tecnología dada.

A continuación, se muestran las ecuaciones de maximización (ver ecuación 2.3.g) y la restricción tecnológica (ver ecuación 2.3.h) de la empresa j. (Hosoe, et al. 2015)

$$\text{maximize } \pi_j = p_j^z Z_j - \sum_h p_h^f F_{h,j} \quad (2.3.g)$$

Sujeto a

$$Z_j = b_j \prod_h F_{h,j}^{\beta_{h,j}} \quad (2.3.h)$$

Donde:

i,j: empresas

h, k: factores de producción

π_j : ganancias de la empresa j

Z_j : cantidad de producción de la empresa j

$F_{h,j}$: El factor h utilizado en la empresa j

p_j^z : precio de oferta del bien j

p_h^f : precio del factor h

$\beta_{h,j}$: coeficiente de participación en la función de producción ($0 \leq \beta_j \leq 1, \sum \beta_j = 1$)

b_j : coeficiente de escala en la función de producción

La empresa j determina la cantidad de factores que utilizará y la cantidad de producción que maximice sus ganancias. En la función (véase ecuación 2.3.g) simplemente se resta el pago de los factores utilizados $\sum_h p_h^f F_{h,j}$ a los ingresos obtenidos de las ventas de toda la producción $p_j^z Z_j$. Por otro lado, la función de producción explica que las empresas, con la tecnología disponible ($b_j \Pi_h$) transforman los factores ($F_{h,j}^{\beta_{h,j}}$) en producción (Z_j). (Hosoe, et al. 2015)

Al igual que en el caso de los hogares, se utiliza el método del multiplicador Lagrange obteniendo el siguiente resultado:

$$L_j(Z_j, F_{h,j}; \omega_j) = (p_j^z Z_j - \sum_h p_h^f F_{h,j}) + \omega (b_j \Pi_h F_{h,j}^{\beta_{h,j}} - Z_j). \quad (2.3.i)$$

Usualmente, este problema con una especificación Cobb-Douglas tiene una solución interna. Las condiciones de primer orden de optimización para la empresa j son:

$$\frac{\partial L_j}{\partial Z_j} = p_j^z - \omega_j = 0 \quad \forall j \quad (2.3.j)$$

$$\frac{\partial L_j}{\partial F_{h,j}} = -p_h^f + \omega_j \beta_{h,j} \frac{b_j \Pi_h F_{h,j}^{\beta_{h,j}}}{F_{h,j}} = 0 \quad \forall j \quad (2.3.k)$$

$$\frac{\partial L_j}{\partial \omega_j} = b_j \Pi_h F_{h,j}^{\beta_{h,j}} - Z_j \quad \forall j \quad (2.3.l)$$

Al resolver el sistema de ecuaciones y eliminar el multiplicador, se obtiene la siguiente ecuación (2.3.i)

$$F_{h,j} = \frac{\beta_{h,j}}{p_h^z} p_j^z Z_j \quad \forall h, j \quad (2.3.m)$$

En este caso, la demanda del factor h por la empresa j aumenta en los siguientes casos: (1) cuando el precio del factor h disminuye, (2) el precio de oferta aumenta o (3) la producción de la empresa j aumenta. El parámetro $\beta_{h,j}$ juega un papel importante en determinar la cantidad utilizada del factor h para la producción de la empresa j . Mientras más grande es el parámetro $\beta_{h,j}$, mayor será la sensibilidad de la demanda a cambios en otras variables. (Hosoe, et al. 2015)

Las condiciones de equilibrio

Es importante tener en cuenta que los problemas de optimización de los agentes de este ejercicio (y en general de todos los modelos de equilibrio general) se han resuelto de manera separada. Por lo tanto, no existe ninguna garantía de que los precios asumidos por los hogares (el precio de la demanda p_i^x) son iguales a los precios asumidos de las empresas (el precio de la oferta p_j^z). Además, incluso si los precios son iguales, es posible que las cantidades demandadas y ofertadas sean distintas. (Hosoe, et al. 2015)

Para asegurar el equilibrio del mercado de cada bien y factor en términos de cantidad y precio se necesitan especificar las siguientes condiciones de equilibrio: la ecuación (2.3.o) es la condición de equilibrio del bien i , que asegura la igualdad entre su oferta y demanda. La ecuación (2.3.p) es la condición de equilibrio de los factores que indica que la demanda total de cada factor debe ser igual a las dotaciones. La última ecuación (2.3.q) es la condición de equilibrio que iguala el precio de la demanda p_i^x con el precio de la oferta p_j^z . (Hosoe, et al. 2015)

$$X_i = Z_i \quad \forall i \quad (2.3.o)$$

$$\sum_j F_{h,j} = FF_h \quad \forall h \quad (2.3.p)$$

$$p_i^z = p_i^x \quad \forall i \quad (2.3.q)$$

EL modelo del sistema

La oferta y demanda de los factores y bienes, así como las condiciones de equilibrio produjeron el siguiente sistema de ecuaciones simultáneas, en donde la ecuación (2.3.r.) es la función de demanda del bien i ; (2.3.t.) es la función de producción del bien j ; (2.3.s) es la función de demanda del factor h y las funciones restantes (2.3.t), (2.3.v) y (2.3.w) son las condiciones de equilibrio. (Hosoe, et al. 2015)

$$X_i = \frac{\partial L}{\partial p_i^x} \sum_h p_h^f FF_h \quad (2.3.r)$$

$$X_i = Z_i \quad (2.3.v)$$

$$Z_j = b_j \prod_h F_{h,j}^{\beta_{h,j}} \quad (2.3.s)$$

$$\sum_j F_{h,j} = FF_h \quad (2.3.w)$$

$$F_{h,j} = \frac{\beta_{h,j}}{p_h^f} p_j^z Z_j \quad (2.3.t)$$

$$p_i^z = p_i^x \quad (2.3.x)$$

Al resolver este sistema de ecuaciones se obtiene el equilibrio general de esta economía. Como estipula la ley de Walras, una de las ecuaciones del sistema es redundante. Por lo tanto, se deberá escoger un bien o factor como numerario y establecerle un precio fijo. Este precio servirá como tipo precio de referencia. Por lo tanto, un modelo de equilibrio general no maneja precios absolutos sino precios relativos (Hosoe, et al. 2015).

Como se puede observar, a pesar de que el Equilibrio General es una herramienta muy útil e interesante, la modelación de este tipo de modelos es complicada y puede consumir una cantidad de tiempo considerable, incluso tratándose de un modelo sencillo. Gracias a la evolución de esta teoría y la tecnología, en la actualidad se pueden encontrar paquetes de cómputo con programas especiales para resolver estos modelos. En la siguiente sección se describe a detalle las características que tiene un Modelo de Equilibrio General Computado, el enfoque se realiza en el programa Global Trade Analysis Project.

1.2. Equilibrio general computado

El Equilibrio General Computado (Computable General Equilibrium CGE o MEGA por Modelos de Equilibrio General Computado), trata en simples palabras de una representación en computadora de la economía que incluye a todos los agentes económicos que se comportan racionalmente optimizando su beneficio.

Dada la interdependencia existente entre los agentes y sectores de la economía (consumidores, productores, demanda y oferta de insumos), la teoría de Equilibrio General considera a todos los sectores y actores de la economía en forma simultánea. Del mismo modo, para crear el Equilibrio General de una economía es necesario conocer las múltiples teorías económicas que se describieron en la sección anterior (1.1) que permiten definir los parámetros, elasticidades y que coexisten para llegar al equilibrio. Debido a la complejidad de este tipo de modelos comúnmente los investigadores utilizan software especializado que facilita el análisis de los impactos de diferentes tipos de shocks en la economía que desean investigar.

Desde los hallazgos de Walras y Arrow-Debreu, las técnicas matemáticas para su resolución fueron evolucionando, pero su difusión se aceleró al desarrollarse software que solucionara el modelo de manera computarizada: GTAP (Global Trade Analysis Project) desarrollado por Heltel y Tsigas (1997) y GAMS (Algebraic Modeling System), desarrollado por el Banco Mundial en 1980 son dos de los softwares más utilizados y reconocidos (Sánchez, 2005).

El Equilibrio General Computado, es ideal para estimar el impacto cuantitativo de un cambio de política económica ya que capta las interrelaciones entre los distintos sectores de una economía por lo que permite analizar los efectos, tanto directos como indirectos de un cambio de política (Cicowiez y Di Gresia, 2004).

Actualmente, se considera como el método estándar para el análisis de políticas públicas. La temática abarca desde el estudio de políticas monetarias, fiscales y comerciales hasta políticas ambientales y sociales. Existen muchos enfoques y modelos dado que pueden ser mundiales, regionales o incluso enfocado en hogares (Sánchez, 2005).

A continuación, se explican de manera más detallada los conceptos, elementos clave y consideraciones básicas para comenzar a utilizar el programa RunGTAP v.8 y el modelo estándar GTAP.

1.2.1. El programa y el modelo estándar GTAP

Para esta investigación se introducirá el programa RunGTAP v.8, un programa amigable para el usuario que utiliza el modelo estándar GTAP (*Global Trade Analysis Project*) un Modelo de Equilibrio General Computado desarrollado por Heltel y Tsigas, (1997) y que

está escrito en el lenguaje de software GEMPACK (Center for Global Trade Analysis, 2017).

El programa RunGTAP v.8 utiliza por default el modelo estándar GTAP. El modelo estándar GTAP es un modelo de equilibrio general multi-regional, multisectorial, computable, con competencia perfecta y rendimientos constantes de escala (Center for Global Trade Analysis, 2017).

La base de datos GTAP y el modelo estándar han sido utilizados ampliamente para realizar investigaciones sobre el Cambio Climático, algunas investigaciones importantes de esta índole han sido lideradas por el Banco Mundial, la Organización Mundial del Comercio y el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), entre otros (Center for Global Trade Analysis, 2017).

Específicamente, algunos modelos que utilizan GTAP o la base de datos y que estudian las interacciones de las economías y el ambiente son GTAP-E, GEM-E3 y Linkage model (Center for Global Trade Analysis, 2017).

Modelo linealizado

Los modelos de Equilibrio General incluyen una mezcla de ecuaciones lineales y no lineales. Las ecuaciones de identidad son típicamente ecuaciones lineales, mientras que muchas ecuaciones de comportamiento son ecuaciones no lineales. Los Modelos de Equilibrio General Computado pueden estar escritos como una mezcla de ecuaciones (lineales y no lineales) en niveles o escritos como sistemas de ecuaciones linealizadas, en donde las ecuaciones de comportamiento no lineales se expresan en cambios porcentuales (Bufisher, M. 2016).

El software GAMS, un paquete que incluye GLOBE encuentra resultados para ecuaciones no lineales cuyas variables están expresadas en niveles. Por otro lado, el modelo GTAP usa el paquete GEMPACK y utiliza un modelo linealizado (Bufisher, M. 2016).

Por ejemplo, a continuación, se muestra la ecuación no lineal de comportamiento de la demanda del consumidor de un bien, en la cual se consideran los productos nacionales e importados.

$$\frac{QM}{QD} = \alpha \left(\frac{PD}{PM} \right)^\sigma$$

Donde QM es la cantidad demandada de la variedad importada, QD es la cantidad demandada de la variedad doméstica. Por otro lado, α es una constante, mientras que PD es el precio del producto doméstico, PM el precio del producto importado y σ la sustitución de elasticidad entre los bienes importados y nacionales (Bufisher, M., 2016).

Por otro lado, en un modelo linealizado, ésta ecuación de demanda de importaciones puede ser expresada de la siguiente manera (Bufisher, M., 2016)

$$qm - qd = \sigma(pd - pm)$$

Donde qm. es el cambio porcentual en la cantidad demandada de importaciones del bien i, qd es el cambio porcentual en la cantidad demandada de la variedad doméstica, pd y pm son los cambios porcentuales en los precios de las variedades domésticas e importadas, respectivamente (Bufisher, M. 2016).

Ambas expresiones son igualmente válidas para describir el mismo comportamiento del productor y el consumidor, y ambos métodos de solución conducen a resultados simétricos y precisos (Harrison et al., 1994; Horridge and Pearson, 2011; Horridge et al., 2014).

Existen dos ventajas al utilizar ecuaciones linealizadas en el modelo. La primera es que la calibración de cantidades, precios, parámetros de utilidad y funciones de utilidad se genera automáticamente en el programa. La segunda ventaja es que los resultados del modelo son más intuitivos de interpretar ya que utiliza cambios porcentuales (Horridge and Pearson, 2011; Horridge et al., 2014).

En cuanto a su procedimiento, El Modelo linealizado GTAP obtiene una solución no lineal mediante la fragmentación del choque que se desea aplicar, en varios choques más pequeños que son resueltos de manera secuencial y lineal para segmentos más pequeños. Después de cada choque, los datos se actualizan y se aplican al siguiente choque pequeño hasta que se alcanza la totalidad del shock que se definió en un principio (Bufisher, M. 2016).

Demanda de bienes en dos etapas

En general, los Modelos de Equilibrio General describen la demanda del consumidor en una decisión de dos etapas. En la primera etapa, los consumidores asignan su ingreso a ciertos productos disponibles en el mercado que maximicen su utilidad.

Comúnmente los investigadores utilizan la función de utilidad Cobb-Douglas, en donde la elasticidad de todos los bienes es considerada como -1 y las elasticidades de sustitución y de ingreso son iguales a 1. Esta elasticidad unitaria y negativa indica que

un cambio en el precio conduciría a un cambio opuesto, de la misma proporción, en la cantidad demandada. La función indica que el presupuesto destinado a cada bien se mantiene fijo, sin importar que los precios o el ingreso cambien. Debido a que los consumidores hacen las mismas sustituciones en respuesta a cambios en los precios relativos y el ingreso, todos los bienes son sustitutos, es decir que al aumentar el precio Y, forzosamente decrece su demanda mientras aumenta la demanda del bien sustituto X. (Bofisher, M., 2016).

El programa y el modelo estándar GTAP, por el contrario, utiliza una Elasticidad de Diferencia Constante (CDE) no homotética para describir el comportamiento de los hogares. La Elasticidad CDE permite que a medida que el ingreso cambia, los consumidores pueden comprar proporcionalmente más bienes de lujo y una menor parte de su ingreso se destina a necesidades básicas, dependiendo de la elasticidad ingreso de la demanda de cada bien. Su característica no homotética, permite que este tipo de elasticidad sea muy adecuada para analizar experimentos en los que hay grandes cambios en el ingreso (Bofisher, M., 2016).

En la segunda etapa de la decisión del consumo, los compradores minimizan sus costos al escoger entre los productos domésticos e importados. Ésta decisión se describe en el modelo GTAP como una función de agregación de importaciones de Armington, la cual describe cómo se combinan las variedades importadas y domesticas de un bien, para producir un bien compuesto que se demanda por los consumidores (Bofisher, M., 2016).

Esta función se expresa como el cambio porcentual en el cociente de las cantidades importadas y nacionales, dado el cambio porcentual en la relación inversa de los precios (Bufisher, M., 2016).

$$\sigma_i^D = \frac{\text{cambio}\% \frac{QM_i}{QD_i}}{\text{cambio}\% \frac{PD_i}{PM_i}}$$

En otras palabras, describe la disposición de los consumidores de cambiar entre las variedades importadas (QM) y las producidas localmente (QD) en el consumo de cierta cantidad del bien i , mientras que cambian los precios relativos de los bienes. Por ejemplo, si esta elasticidad fuese de 2, esto significaría que un incremento en el 1% del precio de la variedad nacional en relación con la variedad importada. Lo cual conducirá a un incremento del 2% en la cantidad demandada de las importaciones de este bien, considerando un nivel de utilidad dado (Bufisher, M. 2016).

1.2.2. Elementos Básicos de un Modelo de Equilibrio General Computado

Para utilizar por primera vez el software, es necesario conocer el lenguaje que maneja y los elementos básicos que contiene. A continuación, se describen los elementos de un modelo de EGC.

Sets

Debido a la cantidad de información que se tiene sobre consumidores, industrias y países es necesario manejar toda la información en niveles y sets. Los sets son el dominio sobre el cual parámetros, variables y ecuaciones se organizan y se definen. Bufisher, M. (2016) describe cómo se definen los sets.

Como muestra, podemos definir el set i como el conjunto de las industrias (por ejemplo, agricultura, manufactura y servicios). Si “ QO ” es la producción total, entonces se puede definir una variable QO_i , que sería la cantidad producida en la industria i . Por lo tanto, QO_i es un vector con tres elementos que incluyen la producción de la agricultura, la producción manufacturera y la producción de servicios. Para hacer referencia a una sola industria, la producción agrícola en este caso, la variable se expresaría como QO “agricultura” (Bufisher, M., 2016).

Diferentes variables en un Modelo de Equilibrio General pueden tener diferentes dominios establecidos. Por ejemplo, se puede tener un set f que contenga dos factores de producción, trabajo y capital. En este caso, se puede definir la variable QF_f como la oferta nacional del factor f . esta variable es un vector con dos elementos, trabajo y capital (Bufisher, M. 2016).

Las variables también pueden tener diferentes sets. Por ejemplo, la variable QFE_f, i es la cantidad del factor de producción f empleada para la producción del bien i . Por otro lado, cuando se tiene un Modelo de Equilibrio General multi-regional, la notación de sets se relaciona con el comercio bilateral donde generalmente el primer país que se menciona es el país de origen y el segundo, el país destino (Bufisher, M. 2016).

Una variable de comercio internacional es $QMS_{i, r, s}$ que describe la cantidad importada del bien i del país r al país s . Por ejemplo, QMS “manufacturas”, “MEX”, “USA” se refiere a las importaciones de la industria manufacturera de México a Estados Unidos. Esta variable es igual a QXS “manufactura”, “MEX”, “USA” que se refiere a las

exportaciones de la industria manufacturera de México hacia los Estados Unidos (Bufisher, M., 2016).

Variables endógenas y exógenas

Como en cualquier modelo económico existen variables endógenas y exógenas en los Modelos de Equilibrio General. Las variables endógenas tienen valores que son determinados como soluciones de las ecuaciones del modelo. Las variables endógenas en un modelo de equilibrio general son precios y cantidades de los bienes que son producidos y consumidos, exportados e importados, impuestos y ahorros (Hertel, 1997).

Por otro lado, las variables exógenas tienen valores que son fijos en el nivel inicial y que no cambian cuando el modelo se resuelve. En el modelo estándar GTAP y en general en todos los modelos de Equilibrio General Computado existe una cantidad igual de variables endógenas y exógenas. En el *Apéndice A* se muestra la tabla de variables que utiliza el modelo estándar GTAP (Hertel, 1997; Horridge, M. 2001).

Model closure

En modelos de Equilibrio General es posible decidir qué variables son exógenas y cuáles son endógenas. A esto se le denomina “*Model Closure*” o cierre del modelo. Por ejemplo, se puede decidir entre: 1) suponer que la oferta de mano de obra de la economía es exógena y un salario endógeno se ajusta hasta que la oferta y demanda de mano de obra se iguala, o 2) suponer que el salario de toda la economía es exógeno y la oferta de mano de obra es la que se modifica para igualar la oferta y demanda. (Bufisher, M., 2016).

Debido a que la elección del Model Closure puede afectar los resultados del modelo de manera significativa, se debe elegir el cierre que mejor describa la economía que se

estudia. En el Programa GTAP, la página de *Closure* enumera todas las variables exógenas y el resto como endógenas (Bufisher, M., 2016).

Para modificar el *Closure* estándar del modelo se debe intercambiar (*swap*) una variable exógena por una variable endógena. Este intercambio hace que se conserve el mismo número de variables endógenas que estaban originalmente en el modelo (Bufisher, M., 2016).

Parámetros exógenos

Los modelos de equilibrio general incluyen parámetros exógenos que al igual que las variables exógenas tienen valores constantes. Estos modelos contienen tres tipos de parámetros exógenos: impuestos y tarifas arancelarias, elasticidades de oferta y demanda y los coeficientes de cambio y participación en las ecuaciones de oferta y demanda (Bufisher, M., 2016).

Impuestos y tarifas arancelarias: Estas son calculadas en el modelo utilizando los datos base del modelo. Por ejemplo, la base de datos del modelo informa el valor de las importaciones en precios mundiales y el monto de ingresos arancelarios que se paga al gobierno. El modelo calcula la tasa arancelaria de importación como: $(\text{ingresos arancelarios} / \text{importaciones a precios mundiales}) * 100$. Los modeladores también pueden cambiar estas tarifas para analizar escenarios alternativos (Bufisher, M., 2016).

Parámetros de elasticidad: Describen la sensibilidad de reacción de los productores y consumidores frente a los cambios en los precios y los ingresos relativos. La magnitud de los resultados del modelo proviene directamente del tamaño de las elasticidades

asumidas. Las elasticidades comúnmente utilizadas en un modelo estándar son las siguientes:

Elasticidad de movilidad de factores: Este parámetro de elasticidad se refiere al suministro de factores, describe la facilidad con la cual un factor se mueve a través de las industrias en respuesta al cambio de los salarios o rentas de la industria, para un suministro nacional dado de un factor (Bufisher, M., 2016).

Se define una elasticidad para cada factor en el modelo. Por ejemplo, la elasticidad de movilidad del trabajo describe el cambio en el empleo en la industria i , relativo a toda la fuerza laboral, como una función del salario relativo de esa industria al salario de la economía (Bufisher, M., 2016).

El valor del parámetro puede variar entre cero (los que no pueden moverse entre sectores) y uno negativo (los factores se mueven proporcionalmente a un cambio en los precios relativos de los factores) (Bufisher, M., 2016).

Elasticidad ingreso de la demanda: Este parámetro de elasticidad describe el efecto de un cambio en el ingreso sobre la demanda de un bien. En otras palabras, mide el cambio porcentual en la cantidad demandada dado un cambio porcentual en los ingresos. Cada bien de consumo cuenta con este parámetro (Bufisher, M., 2016).

En la siguiente Tabla 1.1 se muestra la lista de parámetros que utiliza el modelo estándar, su coeficiente y su descripción (Horridge, M. 2001).

Tabla 1.1

Parámetros del modelo estándar GTAP.

Header	Coefficiente	Descripción
DVER	VERPARAM	DVER value from Params file -- 0.0 if none
SUBP	SUBPAR	CDE parámetro de sustitución
INCP	INCPAR	CDE parámetro de expansión
ESBT	ESUBT	Elasticidad de sustitución de bienes intermedios
SLUG		Parámetro binario de movilidad de factores: 1=sluggish 0=mobile
ETRE	ETRAE	CET entre sectores por factores primarios estáticos
ESBV	ESUBVA	CES entr factores de producción primarios
ESBD	ESUBD	Armington CES para la asignación doméstica / importada
ESBM	ESUBM	Armington CES para la asignación regional de importaciones
RDLT		Coefficiente binario de asignación de inversiones
RFLX	RORFLEX	Parámetro de velocidad de retorno esperado

Fuente: Elaboración propia a partir de información disponible en RunGTAPv.8

Shocks

Para llevar a cabo experimentos en un modelo de Equilibrio General Computado, se deben cambiar una o más variables exógenas y después, volver a correr el modelo para encontrar los nuevos valores de las variables endógenas. Del mismo modo se debe observar cómo este cambio exógeno, o shock económico, afecta el equilibrio del mercado y a los sectores clave que se desea estudiar (Bufisher, M. 2016).

Qué hace el software

En la mayoría de los modelos de Equilibrio General Computado, el programa define primero los nombres de los conjuntos, variables endógenas y exógenas y parámetros exógenos utilizados en las ecuaciones de comportamiento. Posteriormente, el modelo asigna valores numéricos de la base de datos a todas las variables y define los valores de los parámetros de elasticidad. Las ecuaciones se organizan en bloques que describen el comportamiento del modelo (Bufisher, M. 2016; Hertel, 1997; Horridge, M. 2001).

Al ingresar la SAM, el programa corre el modelo por primera vez para realizar una comprobación de consistencia. En este proceso se utilizan ecuaciones del modelo y la base de datos inicial para producir una solución de modelo que replica las condiciones de los datos iniciales. Esta solución se convierte en un escenario base con el cual se pueden comparar los resultados de los experimentos. A continuación, se resumen estos pasos en la siguiente Figura 1.3 (Bufisher, M. 2016; Hertel, 1997; Horridge, M. 2001).

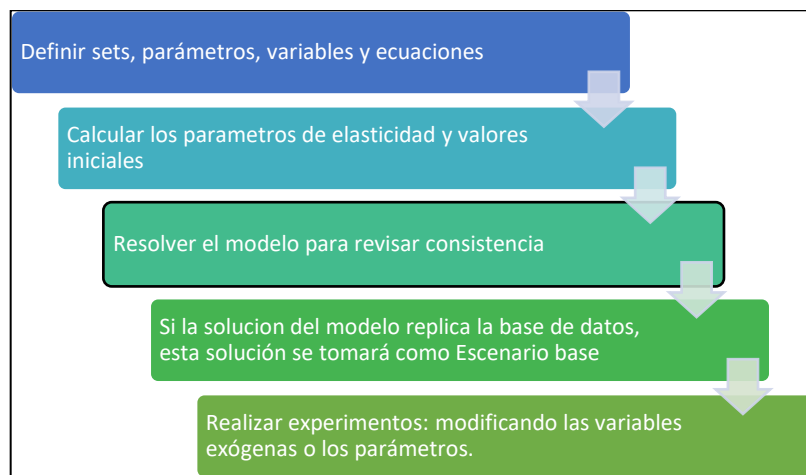


Figura 1.3. Pasos generales de un Modelo de Equilibrio General Computado. Elaboración propia a partir de datos de Bufisher, M. (2016).

Resultados

Los resultados de un Modelo de Equilibrio General en el programa GTAP (y en otros programas en general) se reportan en cambios porcentuales con respecto a los valores iniciales, los que generalmente se consideran como escenario base. De acuerdo con Bufisher (2016) las siguientes fórmulas son básicas y útiles para trabajar datos de cambio porcentual.

1. Cambio Porcentual en una variable. El cambio porcentual en una variable se calcula como el nuevo valor menos el valor base, dividido entre el valor base multiplicado por

100. Por ejemplo, si la oferta de trabajo (L) aumenta de 4 millones a 4,2 millones, el aumento porcentual es de 5% $[(4,2-4)/4] * 100 = 5$.

2. Cambio porcentual en el producto de dos variables. Se calcula como la suma de sus cambios porcentuales cuando los cambios son pequeños. Por ejemplo, $PIB = P * Q$, donde P es el precio de todos los bienes de la economía, si P incrementa 4% y Q disminuye 0.05 entonces el cambio porcentual del PIB = $4 + (-0.05) = 3.95$

3. Cambio porcentual en el coeficiente de dos variables. Es aproximadamente el numerador menos el denominador cuando los cambios son pequeños. PIB per cápita, por ejemplo, es igual a PIB/N donde N es la población. Si el PIB aumenta 1% y N aumenta 0.2%, el cambio porcentual del PIB per cápita es igual a 0.8 ($1 - 0.2 = 0.8$)

Bienestar del consumidor

Otra ventaja de utilizar Modelos de Equilibrio General Computado es que son ideales para cuantificar los efectos en el bienestar ya que describen los efectos de un choque en todos los precios y cantidades de una economía. La capacidad de estos modelos para medir los efectos en el bienestar es una de las más importantes contribuciones al análisis económico (Bofisher, M. 2016; Hertel, 1997; Horridge, M. 2001).

En algunos casos sólo se mide el cambio en el consumo real de los agentes económicos. Si el consumo aumenta con respecto al año base, se entiende que el bienestar del consumidor aumentó ya que adquirir más productos es igual a mayor satisfacción y bienestar. Sin embargo, el programa GTAP desarrolla una medida de bienestar llamada Variación Equivalente (EV por sus siglas en inglés). Esta medida compara los niveles de utilidad de los consumidores previos y posteriores al choque valorados a precios del año base (Hertel, 1997).

La variación equivalente del efecto de bienestar mide el cambio en el ingreso que los consumidores hubieran necesitado para obtener el nuevo nivel de satisfacción a precios base. Gracias a esta herramienta es posible observar los cambios en el bienestar al aplicar una política gubernamental (Bufisher, M. 2016; Hertel, 1997; Horridge, M. 2001).

Al haber estudiado los diferentes componentes de un modelo de Equilibrio General Computado, en específico del modelo GTAP, es ahora necesario conocer la problemática que se analizará con esta metodología. El Cambio Climático tiene numerosos orígenes y a su vez numerosos efectos e impactos a lo largo de la economía. Por lo tanto, el uso del Equilibrio General Computado es ideal para analizar esta complicación.

1.3. La contaminación del aire y su impacto ambiental

La contaminación del aire es el responsable del Cambio Climático. Las actividades económicas, así como el aumento en la población tienen una relación directa con los niveles de emisión de los gases de efecto invernadero (GEI). En seguida, se explican los diferentes gases que contaminan la atmósfera, posteriormente se expone el escenario que se vive actualmente tanto a escala internacional como nacional. Esta sección concluye con un análisis de las proyecciones de ciertas variables macroeconómicas que afectan los niveles de GEI en la tierra.

1.3.1. Emisiones de gases efecto invernadero

El clima está fuertemente influido por cambios en la concentración atmosférica de ciertos gases que retienen la radiación infrarroja procedente de la superficie de la Tierra (el “efecto invernadero”). Los gases de efecto invernadero más importantes son los siguientes: vapor de agua, dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) clorofluorocarbonos (CFC) y ozono (O₃) (Watson, et al., 1990).

El vapor de agua troposférico es el gas de efecto invernadero más importante, pero su concentración atmosférica no está influenciada de manera significativa por las emisiones generadas por el hombre. El dióxido de carbono proviene principalmente de la quema de combustibles fósiles y madera, así como de las erupciones volcánicas. Este gas es el elemento que más contribuye al efecto invernadero. En general, es responsable de más del 60% del efecto invernadero intensificado (Stephen. 2011).

El metano por otro lado, se deriva de la descomposición de vegetales, combustión de biomasa y del gas natural (Watson, et al., 1990). Cerca de 500 millones de toneladas métricas ingresan a la atmósfera por año debido a actividades antropogénicas y fenómenos naturales. Se considera que el metano causa cerca del 15% al 17% del calentamiento global (Carmona, et al., 2005).

El metano es el segundo gas que más contribuye al efecto invernadero, retiene el calor y se considera 23 veces más efectivo que el CO₂. Una vez emitido, el metano es eliminado principalmente por reacción con el radical hidroxilo (OH) que se encuentra en la tropósfera. La oxidación del metano por el radical hidroxilo crea vapor de agua en la tropósfera, el cual es el gas de efecto invernadero más importante (Watson, et al., 1990).

El óxido nitroso proviene principalmente del uso de fertilizantes nitrogenados y la quema de combustibles fósiles. Al igual que el dióxido de carbono y el metano, el óxido nitroso es un gas de efecto invernadero cuyas moléculas absorben el calor al tratar de escapar al espacio (Echarri, 2007).

Estas moléculas van desapareciendo en la estratosfera en reacciones fotoquímicas que pueden tener influencia en la destrucción de la capa de ozono. El N₂O es 310 veces

más efectivo que el CO₂ para absorber el calor y su tiempo de vida es aproximadamente de 170 años (Echarri, 2007).

El ozono troposférico también se deriva de la quema de combustibles fósiles. Cuando el ozono se encuentra en la tropósfera, es decir, más cerca de la superficie de la tierra, constituye un importante contaminante secundario. Es el componente más dañino del smog fotoquímico, causa daños importantes a la salud y detiene el crecimiento de la vida vegetal (Echarri, 2007).

Por último, las partículas de aerosol juegan un papel importante en el sistema climático debido a su interacción directa (absorción y dispersión) con la radiación solar y terrestre, así como por su influencia en los procesos de creación de nubes. (Watson, et al., 1990). Los gases florados de efecto invernadero son los únicos gases que no se producen de forma natural, sino que han sido desarrollados por el hombre con fines industriales. Representan alrededor del 15% de las emisiones de gases invernadero en los países industrializados, pero son extremadamente potentes (pueden atrapar el calor hasta 22,000 veces más que el CO₂) y pueden permanecer en la atmósfera durante miles de años. El gas florado más conocido es el clorofluorocarbono (CFC) que además de su efecto invernadero también reduce la capa de ozono (Linde, et al., 2005).

La eficacia de un gas de efecto invernadero para influir en el presupuesto radiactivo de la Tierra depende de su concentración atmosférica y su capacidad para absorber la larga onda de radiación terrestre. También es importante considerar que algunos de estos gases pueden permanecer en la atmósfera por mucho tiempo, lo que implica que las concentraciones atmosféricas responden lentamente a los cambios en las tasas de emisión (Watson, et al., 1990).

Cada país emite distintos niveles de estos gases. Se considera que los países más desarrollados y las personas más ricas emiten más gases de efecto invernadero que los países y la población mundial más pobre. Se le atribuye al consumo individual el 64% de las emisiones mundiales, mientras que el gobierno, las inversiones y el transporte internacional son responsables del 36%. También es importante tener en cuenta que los países productores e importadores de petróleo cuentan con distintos retos ante el Cambio Climático (OXFAM, 2015).

Por tanto, algunos gobiernos han implementado políticas públicas para modificar los patrones de consumo y de producción dentro de su territorio. A continuación, se expone el contexto en el que se encuentra México y el mundo ante el Cambio Climático, en especial con el tema de la contaminación del aire.

1.3.2. La contaminación a nivel mundial

Desde 1800, las concentraciones de dióxido de carbono (CO₂) y de otros gases de efecto invernadero en la atmósfera han aumentado aproximadamente un 30% debido a la quema masiva de combustibles fósiles para producir energía (Stephen, 2011). A medida que los gases de efecto invernadero aumentan, la temperatura del planeta aumenta, provocando efectos en el clima que se hacen cada vez más catastróficos y erráticos como las sequías, olas de calor, huracanes e inundaciones (BBC Mundo, 2016).

En su cuarto informe de evaluación, el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático, auspiciado por las Naciones Unidas, llegó a la conclusión que hay una probabilidad de más del 90 por ciento que las actividades humanas en los últimos 50 años han calentado nuestro planeta (IPCC, 2007).

De acuerdo con científicos del Instituto Goddard de Estudios Espaciales (GISS) en Nueva York, cada uno de los seis primeros meses de 2016 estableció un récord como el mes más cálido a nivel mundial de acuerdo al registro de temperatura mundial, que data de 1880. De enero a junio fue también el semestre más caliente de la historia, con un promedio de temperatura de 2,4 grados Fahrenheit más caliente que a finales del siglo XIX (Lynch, S. 2016).

Duncan (2011) menciona que los países que más emitieron dióxido de carbono fueron China (28.6% de las emisiones totales), Estados Unidos (16%), India (5.8%), Rusia (5.4%) y Japón (3.7%). Sin embargo, como se puede observar en la ilustración 2.4, México contribuye con el 1.67% del total de las emisiones anuales en 2011 de gases de efecto invernadero a nivel mundial, posicionándose entre los veinte países más contaminantes del mundo y el más contaminante de América Latina.

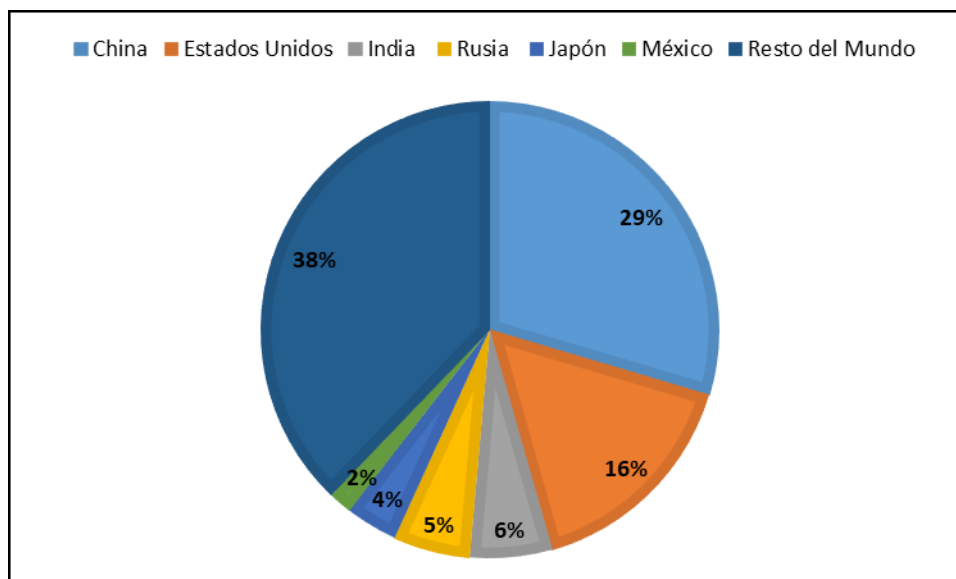


Figura 1.4. Emisiones de Dióxido de Carbono Mundial. Elaboración propia a partir de datos de Duncan (2011).

El primer esfuerzo por abordar los problemas concretos del Cambio Climático a nivel internacional fue con la creación de la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC). En diciembre de 1997, en la CP3 se adoptó el Protocolo de Kioto el cual impone mecanismos y un sistema de cumplimiento de los países miembro para reducir las emisiones de gases efecto invernadero (CMNUCC, 2014).

Un paso importante para lograr los compromisos adquiridos al firmar el Protocolo es la implementación de políticas públicas a nivel nacional que tengan el objetivo de incentivar la reducción de emisiones de GEI. El impuesto Piguviano, por ejemplo, es una propuesta para internalizar y corregir la externalidad negativa que está asociada al caso de la contaminación. Muchos países han aplicado esta teoría para implementar políticas ambientales: Noruega, Dinamarca y Suecia, por ejemplo, entre 1991 y 1992 introdujeron el impuesto sobre el CO₂ el cual se redistribuye para reducir el impacto ambiental en cada uno de estos países.

1.3.3. México y el cambio climático

De acuerdo con Langer (2016), en el 2005 los países de la región de América Latina y el Caribe representaron casi 10% de las emisiones globales, en 2012 esta cifra aumentó a 10.6%. México por sí sólo, se encuentra entre los 20 países que emiten más gases de efecto invernadero a la atmósfera, contribuye con el 1.67% del total de las emisiones anuales de gases de efecto invernadero a nivel mundial.

En la ilustración 1.5 se pueden observar las estimaciones de la Secretaría de Energía respecto a las emisiones de GEI en México. El dióxido de carbono CO₂ es el gas de efecto invernadero que más se emite en el país con un 70% del total de emisiones. En segundo lugar el metano, un gas sumamente contaminante, corresponde a un 26%. En tercer lugar el Óxido Nitroso corresponde al 3% y finalmente los gases fluorados son sólo 1% de las emisiones (SE, 2012).

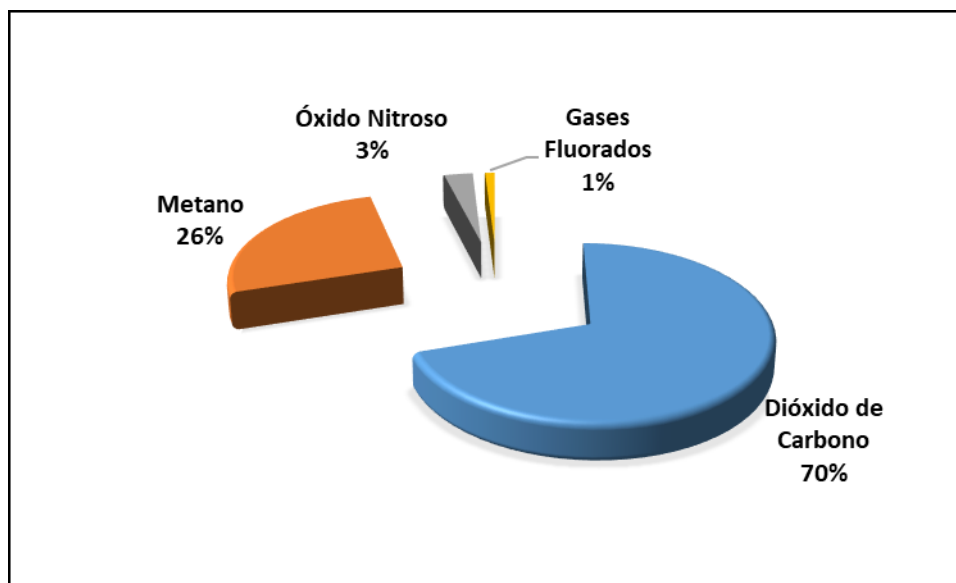


Figura 1.5. Composición de gases de efecto invernadero en México. Elaboración propia a partir de datos de Secretaría de Energía (2012).

En el país, los cuatro sectores industriales que emiten más CO₂ son (SE, 2012):

1. Producción de energía eléctrica

2. Gas, petróleo y energía petroquímica
3. Cemento y cal
4. Siderurgia y metalurgia.

Los países de la región de América Latina, incluidos México, se caracterizan porque tanto la población como las áreas urbanas continúan creciendo. Del mismo modo, en estos países también existe un mayor consumo de la clase media. Esto provoca que la calidad del aire disminuya, las emisiones aumenten, y el agua y otros recursos naturales se deterioren hasta el punto de escasear. El crecimiento económico y urbano ha sido descrito como una presión importante que influye en la contaminación de la región (Langer, 2016).

De acuerdo con la OCDE (2012a), las energías renovables no son competitivas en nuestro país debido a los grandes subsidios para el consumo de la electricidad que han aumentado la demanda y, por ende, han contribuido al aumento de la oferta de electricidad a partir de combustibles fósiles. En México entre 2000 y 2008 las emisiones relacionadas con la energía aumentaron un 17%.

Otro dato interesante es que México es uno de los pocos países de la OCDE donde el suministro de energía primaria total aumentó más rápido que el PIB durante 2000-2008. Se estima que para 2050 se emplee 80% más energía a nivel mundial, en el caso de México la estimación es de un aumento mayor a la media de 112% (OCDE, 2012a). Por otro lado, la degradación ambiental continuará reduciendo la biodiversidad mundial en un 10% (OCDE, 2012b).

1.3.4. Tendencias de Crecimiento Mundiales

Las variables macroeconómicas tienen cierto comportamiento a largo plazo, este comportamiento puede afectar la magnitud de las emisiones de efecto invernadero.

Existen muchos estudios que realizan proyecciones sobre estas variables para conocer cuál será el panorama general del mundo en el futuro. En esta sección se hablará del comportamiento de cinco variables macroeconómicas que podrían afectar el trayecto del Calentamiento Global.

Población

De acuerdo con OCDE Environmental Outlook 2050 (2012), en las últimas décadas, el endeudamiento humano ha desatado un crecimiento económico sin precedentes en la búsqueda de mejores niveles de vida. Mientras que la población mundial ha aumentado hasta 3 mil millones de personas, el tamaño de economía mundial se ha triplicado. Si bien este crecimiento ha permitido que muchas personas superen la pobreza, este crecimiento se ha distribuido de manera desigual y ha tenido un costo significativo para el medio ambiente.

Se espera que la población de los países de la OCDE viva más tiempo. Para el 2050, el 25% de la población tendrá más de 65 años, en comparación con cerca del 15% en la actualidad (OCDE, 2012).

Además, se espera que las poblaciones más jóvenes en otras partes del mundo, especialmente en África, crezcan rápidamente. Estos cambios demográficos y niveles de vida más altos implican cambios en los estilos de vida, patrones de consumo y preferencias dietéticas, todos los cuales conllevan a un aumento en los recursos y servicios demandados y que tienen consecuencias importantes para el medio ambiente (OCDE, 2012).

Para 2050, se proyecta que casi el 70% de la población mundial vivirá en áreas urbanas. Esto puede aumentar los desafíos como la contaminación del aire, la cogestión

del transporte y la gestión de los desechos y el agua, con graves consecuencias para la salud humana y el ambiente (OCDE, 2012).

PIB mundial

La economía mundial se ha triplicado en las últimas cuatro décadas. Es probable que este crecimiento económico continúe con estas tendencias históricas, sin embargo, este crecimiento no será uniforme en todos los países de mundo (OCDE,2012).

Si se basa el crecimiento económico y aumento del ingreso per cápita en el uso de recursos naturales, puede exacerbar las presiones sobre el medio ambiente. Sin embargo, si este crecimiento se enfoca en el progreso tecnológico, la innovación y la mejora en la educación y habilidades humanas, pueden separar las presiones ambientales y el crecimiento económico (OCDE,2012).

Se proyecta un crecimiento similar del Producto Interno Bruto para todo el mundo y para México de 3.5% anual, es decir, un crecimiento promedio de 140% durante 2010-2050 (OCDE, 2012). Por otro lado, Fouré et al., (2012) estipula que el crecimiento de México será de 259.27% y de todo el mundo de 200%. Por el contrario, Bufisher, M (2016) utiliza un crecimiento para el resto del mundo de 284.5%.

Factores de producción

El crecimiento económico es impulsado por tres razones principales. La primera es mediante aumento del valor añadido en la producción por un aumento en el uso de capital, trabajo y recursos naturales. La segunda es al de aumentar la productividad de estos factores de producción primarios y la tercera se refiere a redistribuir los factores de

producción en aquellas actividades que produzcan el mayor valor agregado (OCDE, 2012). A continuación, se muestran algunas proyecciones sobre el futuro comportamiento de estos tres factores de producción primarios hacia el 2050.

Tierra

Para alimentar a una población en crecimiento y cambios en su dieta alimenticia, se espera que la tierra arable llegue a su punto más alto en 2030 y decline en las décadas subsecuentes debido a la ralentización del crecimiento en la población y el desarrollo de tecnologías que mejoran el rendimiento del campo (OCDE, 2012).

De acuerdo con Bruinsma (2011), el 90% del crecimiento en la producción de cultivos será resultado de un incremento en la tierra arable y un uso más intensivo de la tierra. Para 2050, se incrementará la tierra arable en todo el mundo en 4.5%, es decir 70 millones de hectáreas. En países en desarrollo la tierra arable se expandirá 120 millones de hectáreas (12%), casi toda esta expansión tomará lugar en países de África Subsahariana y América Latina. Particularmente en los países latinoamericanos, la expansión de tierra arable será de 23.4%.

Dado el suministro limitado de tierra, estas tendencias de crecimiento indican que en el corto plazo la deforestación continuará creciendo, aunque en tasas más pequeñas a comparación de décadas anteriores (OCDE, 2012).

Capital Físico

Como se dijo anteriormente, el aumento en el uso del capital provoca un aumento en la cadena de valor de la producción. Se estima que el crecimiento entre 2010 y 2030 sea

derivado de un incremento en el uso del capital físico, como edificios, maquinaria e infraestructura, la cual cataliza la actividad económica, especialmente en países en vías de desarrollo (OCDE, 2012).

Fouré et al. (2012) estiman que el crecimiento del capital a nivel mundial será de 177.78% y el crecimiento para México será de 212.96% entre las décadas de 2010 a 2050. Por otro lado, Bufisher, M. (2012) considera un crecimiento del Resto del mundo de 213.1%.

Mano de Obra

El uso de Mano de Obra en actividades productivas es conducido por desarrollos demográficos, los cuales combinan población, su estructura por edades, participación del mercado laboral y desempleo.

Mientras que la fuerza de trabajo está limitada por la población, las diferencias entre las tasas de crecimiento en población y empleo pueden persistir entre países y durante muchos años. El envejecimiento continuo de la población se proyecta en muchos países de la OCDE, China y algunas economías emergentes. Esto está relacionado con una disminución en la población económicamente activa. Sin embargo, existen muchos países en desarrollo que cuentan con una población joven como en los continentes de África y Asia. Esto implica que la proporción de personas en edad de trabajar a nivel mundial aumentará con el tiempo y por tanto, también aumentará la oferta de mano de obra (OCDE, 2012).

De acuerdo con Fouré et al. (2012) se proyecta que el crecimiento de la mano de obra en todo el mundo será de 34.33%, mientras que en México será de 12.9%.

1.4. Economía Ambiental

La economía ambiental centra su atención en cómo y por qué las personas toman decisiones que tienen consecuencias ambientales. Estudia y sugiere cambios en las políticas e instituciones económicas con el propósito de equilibrar los impactos ambientales con los deseos humanos y las necesidades de los ecosistemas (Field, 1995).

En esta sección del marco teórico se explican los temas de eficiencia económica social y fallos del mercado, con un enfoque especial en las externalidades, un tipo de falla de mercado que describe mejor el problema de la contaminación.

Por último, se explican los instrumentos de política ambiental. Por un lado, se estudiará el impuesto pigouviano, un instrumento tradicional de política pública que sigue la filosofía de “el que contamina paga”. Por otro lado, se revisan los instrumentos económicos propuestos en el Protocolo de Kioto que prometen a las compañías y gobiernos la posibilidad de hacer dinero, mientras se reducen emisiones.

1.4.1. Eficiencia económica social y fallos del mercado

En el mundo, cada país debe decidir cuál es la manera de usar sus recursos escasos (trabajo, capital y recursos ambientales) para producir bienes y servicios. Para que la sociedad se beneficie al máximo de estos recursos escasos, la producción y el consumo deben organizarse de manera que evite el uso ineficiente de los recursos y el consumo ineficiente de bienes y servicios (Thomas y Maurice, 2016).

La eficiencia económica social existe cuando los bienes y servicios que una sociedad desea son producidos y consumidos sin existir ningún desperdicio. Para lograr esta meta,

es necesario contar con dos condiciones de eficiencia: eficiencia productiva y eficiencia de distribución de recursos (Thomas y Maurice, 2016).

Los mercados deben funcionar con eficiencia productiva para que la sociedad reciba la mayor producción posible con los recursos disponibles. Existe la eficiencia productiva cuando se produce en el costo total más bajo posible para la sociedad. Si el mercado falla en alcanzar la eficiencia productiva, se desperdiciarán los recursos, produciendo cada vez menos bienes y servicios en la industria (Thomas y Maurice, 2016).

Por otro lado, la eficiencia distributiva requiere una producción en la que el precio máximo que están dispuestos a pagar los consumidores es igual al costo marginal de producción ($P = CMg$). Una vez que los factores de producción escasos se asignan de manera eficiente entre las industrias competidoras, la producción resultante debe ser racionada o distribuida a todos los individuos de la sociedad (Thomas y Maurice, 2016).

Los mercados en equilibrio perfectamente competitivo logran la eficiencia económica debido a que, en la intersección de las curvas de oferta y demanda, las condiciones para la eficiencia productiva y distributiva se cumplen. Los productores son tomadores de precio, es decir, que ponen sus precios conforme a lo que dicta el mercado. Este precio, es al mismo tiempo, el precio máximo que los consumidores están dispuestos a gastar por ese bien. En este mercado, los compradores y vendedores participan en el intercambio voluntario que maximiza el excedente social (Thomas y Maurice, 2016).

Sin embargo, un mercado puede fallar en alcanzar el máximo beneficio social y, por lo tanto, falla en maximizar el excedente social. Se conocen seis formas de fallas de mercado que pueden socavar con su eficiencia económica:

1. El poder de mercado
2. Monopolio natural
3. Externalidades (positivas y negativas)
4. Recursos de propiedad común
5. Bienes públicos
6. Deficiencias en la información o información asimétrica.

Una causa importante del fracaso del mercado en mercados competitivos surge cuando las acciones tomadas por los participantes del mercado provocan beneficios o costos a otros miembros de la sociedad denominados en inglés *spillover effects*. Estos efectos (positivos o negativos) se denominan externalidades en español. A continuación, se explicará de manera más extensiva las características principales de estas fallas del mercado dado que es la más relevante para la temática ambiental.

1.4.2. Externalidades

Cuando hay presencia de externalidades, los beneficios o costos percibidos por los individuos difieren de los verdaderos costos sociales que pueden provocar sus acciones. En consecuencia, se falla en el intento de optimizar la asignación de los recursos para toda la sociedad (Steven y Lin, 2014).

Al momento de producir un bien, los administradores ignoran racionalmente los costos externos al momento de tomar decisiones de producción que maximizan los beneficios. La maximización del beneficio sólo considera los costos de producción privados incurridos por los propietarios de la empresa. Otra razón por la que los administradores no toman en cuenta los costos externos es debido a que estos costos no

afectan los ingresos de la empresa. Sin embargo, los costos externos son costos reales soportados por la sociedad para la producción de bienes y servicios (Thomas y Maurice, 2016).

El precio de equilibrio envía la señal equivocada a los compradores y vendedores del mercado, haciendo que produzcan y consuman mucha o muy poca cantidad de ese bien. Puesto que se produce una cantidad equivocada, ambos tipos de externalidades crean una pérdida de eficiencia y, por lo tanto, una pérdida en el excedente social (Thomas y Maurice, 2016).

El costo social de la producción es la suma de todos los costos incurridos por los productores privados y cualquier costo externo o *costos de derrame* impuesto a otros miembros de la sociedad (ver ecuación 1.1). Por lo tanto el costo externo es la diferencia entre el costo social y los costos privados (ver ecuación 1.2) (Thomas y Maurice, 2016).

$$\text{Costo Social} = \text{Costos Privados} + \text{Costo Externo} \quad (1.1)$$

$$\text{Costo Externo} = \text{Costo Social} - \text{Costos Privados} \quad (1.2)$$

De tal manera que, mientras mayor sea el costo externo provocado por la externalidad, más grande será la diferencia entre el costo privado y costo social y más grande será la pérdida de la eficiencia en el mercado.

En la Figura 1.6 se muestra porque es imposible lograr la eficiencia de asignación en mercados competitivos cuando existe la presencia de una externalidad negativa.

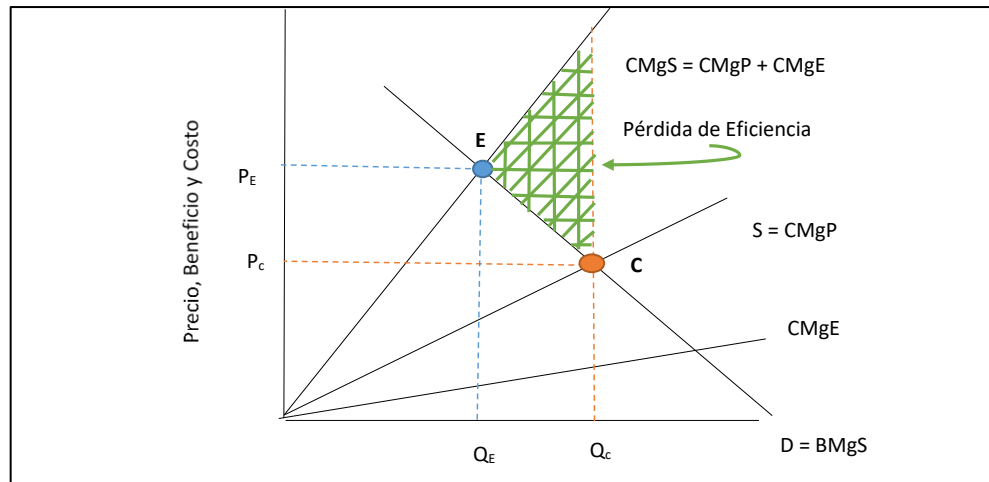


Figura 1.6. Externalidad Negativa y Eficiencia de Asignación. Elaboración propia a partir de datos de Thomas y Maurice (2016).

La curva de demanda mide correctamente el beneficio marginal social ($D=BMgS$). El costo marginal privado de producción es igual a la pendiente de la curva de oferta ($S=CMgP$). El equilibrio del mercado en equilibrio se encuentra cuando la oferta es igual a la demanda, el cual se ilustra en el punto C, donde se producen Q_C unidades a un precio P_C . La producción de este bien produce una externalidad negativa que se debe ser absorbido por la sociedad, este costo es representado en la gráfica como el costo marginal externo o $CMgE$, el cual aumenta conforme la producción aumenta (Thomas y Maurice, 2016).

Por otro lado, el costo marginal social es la suma del costo de producción privado marginal y el costo marginal de la externalidad ($CMgS=CMgP + CMgE$). La eficiencia de asignación ocurre en el punto E, en donde el costo marginal social es igual al beneficio marginal social ($CMgS = BMgS$) (Thomas y Maurice, 2016).

Como se puede observar en el punto C se está produciendo demasiada cantidad, el costo marginal social excede el beneficio marginal social creando una pérdida de eficiencia irrecuperable que se puede observar en la gráfica como la zona sombreada de gris. En otras palabras, el área sombreada es el monto por el cual el superávit social se reduce por la sobreproducción y el consumo excesivo del bien (Thomas y Maurice, 2016).

El problema del medio ambiente, específicamente la contaminación del aire, es un caso típico de externalidad negativa que puede ser también denominada de “costo externo” o “deseconomía externa” (Hinojoza y Mallet-Guy, 2000).

Por esta razón, los economistas neoclásicos argumentan que la intervención gubernamental es necesaria para contrarrestar los problemas relacionados con la actividad económica y el medio ambiente. Se propone generalmente que se “simule un precio” por la degradación ambiental. La finalidad de esto es que los agentes internalicen, a cierto punto, el daño al medio ambiente que están causando (Hinojoza y Mallet-Guy, 2000).

Otra alternativa para interpretar esta situación es según Heller, W. y Starret, D (1974) definir la externalidad como una situación en el que la economía privada carece de incentivos suficientes para crear un mercado de un bien en particular. La no existencia de este mercado resulta en la pérdida de eficiencia en el equilibrio de Pareto (Steven y Lin, 2014)

Las externalidades ocurren porque el bien en cuestión (medio ambiente y recursos naturales) no es propiedad de nadie, o es de dominio universal. Como ningún agente específico puede exigir derechos sobre el medio ambiente, este es un bien sin precio y no se puede cobrar por su daño (Hinojoza y Mallet-Guy, 2000).

1.4.3. Instrumentos de política ambiental

Pueden diferenciarse dos grupos de instrumentos de política ambiental. El primero denominado como “instrumentos tradicionales” se refiere a leyes o estatutos impuestos por el gobierno con el objetivo de modificar el comportamiento de los agentes económicos. Estos instrumentos suponen una relación jerárquica entre el regulador y el regulado y también son denominados como comando-control (Chidiak, 2002). Un excelente ejemplo de un instrumento tradicional es el impuesto piguviano que utiliza la lógica de “el que contamina paga”.

Por otro lado, existen otros instrumentos de nueva creación que han sido desarrollados por los gobiernos para responder a los nuevos desafíos de política ambiental. En este grupo se consideran los acuerdos para el control de emisiones y otros instrumentos de cooperación y desarrollo limpio. Los instrumentos de este tipo más conocidos son aquellos promovidos en el Protocolo de Kioto (Chidiak, 2002). En esta sección se habla con más detalle acerca de estos tipos de instrumentos que pueden ser implementados en el tema ambiental.

Impuestos y subsidios de acuerdo a la teoría piguviana

El impuesto piguviano es una propuesta para internalizar y corregir una externalidad negativa. Su argumento esencial parte de la base de que el resultado del primer teorema fundamental del bienestar (o de la eficiencia de los equilibrios competitivos) es válido únicamente en el caso de mercados universales. La ausencia de mercados producida por las externalidades invalida la eficiencia y, por consiguiente, impide una de las condiciones necesarias para la maximización del bienestar social y la adecuada distribución de los recursos (Elena, 2002).

De acuerdo con Pigou, el esquema de impuestos y subsidios propuestos por el Estado pueden ser útiles para lograr la asignación eficiente de los recursos, especialmente donde la negociación descentralizada o privada es muy costosa o imposible. Pigou creía que podía existir una mano invisible modificada, es decir, un sistema de impuestos y recompensas que ayudara a regir mejor el mercado (Pigou, 1932).

El proponía que un determinado esquema de impuestos y bondades podría igualar los productos marginales sociales y privados, lo cual provocaría que las firmas maximizadoras de beneficios que generan externalidades se localicen en un nuevo nivel de producción óptimo, es decir, en donde se maximice el dividendo nacional¹ (Pigou, 1932).

Sin embargo, existen críticas sustanciales de este modelo y si este modelo es el adecuado para corregir externalidades negativas. James Buchanan, por ejemplo, argumenta que la implementación de impuestos y subsidios puede incrementar la mala asignación de los recursos en la presencia de un monopolio (Baumol, 1972).

Coase (1960), por otro lado, cuestiona si a lo largo del tiempo se ha escogido el principio correcto para la aplicación de impuestos ya que es posible que no se le estén aplicando los impuestos a las personas correctas.

Coase (1960) propone una manera diferente de abordar las externalidades. El señala que el nivel óptimo de producción es aquel que maximiza el beneficio combinado de las empresas afectadas por las externalidades. Este enfoque sostiene que las empresas tienen

¹ Dividendo Nacional. - Conjunto de bienes y servicios cuyo disfrute se distribuye entre la población nacional. (Pigou, 1932)

incentivos para acordar producir ciertos bienes en una cantidad óptima y después distribuir el total del beneficio o ganancias de tal manera que la ganancia de cada empresa sea mayor o igual a la ganancia que se pudo ganar al no negociar y maximizar el beneficio individualmente ($I_{mg}=C_{mg}$). Por lo tanto, la intervención del Estado a través de impuestos y subsidios no siempre es necesaria para lograr un óptimo social.

El sugiere que incluso en el caso en el que no exista negociación entre las partes afectadas por una externalidad, la solución piguviana de impuestos y subsidios puede ser la respuesta incorrecta, ya que no soluciona la externalidad en sí, si no que puede solamente modificar el carácter de la mala asignación de recursos (como cita Baumol, 1972).

Davis y Whinston (1962) ponen en duda la aplicación real de este modelo en mercados oligopólicos. Por otro lado, existen problemas al imponer estos esquemas, debido a que son medidas económicas muy impopulares ya que en ocasiones pueden ser perjudiciales pues inhiben el gasto de las personas y empresas y reducen directamente la capacidad de compra ya que las cosas cuestan más (como cita Steven y Lin, 2014).

Al incrementar los impuestos, disminuye la disposición de empresarios y la clase media a invertir y gastar, lo cual desacelera la economía nacional y por tanto su crecimiento. Sin embargo, en la cuestión ambiental es justo lo que se desea: se desea reducir tanto la producción como el consumo de ciertos procesos, servicios y productos que causan un detrimento al ambiente (Steven y Lin, 2014).

Protocolo de Kioto

En diciembre de 1997, en la CP3 se adoptó el Protocolo de Kioto el cual impone mecanismos y el sistema de cumplimiento de los países miembro para reducir las emisiones de gases efecto invernadero (CMNUCC, 2014). El Protocolo fue firmado por 84 países, sin embargo, fue ratificado por menos países debido a que para entonces aún quedaban pendientes un considerable número de cuestiones y no se tenía una idea clara sobre las normas del tratado.

Posteriormente, en 2005 las reglas detalladas para la aplicación del Protocolo fueron adoptadas en la CP 7 en el documento Acuerdos de Marrakech. (UNFCCC, 2014) Para el 2014, el Protocolo de Kioto alcanzaría la participación de 192 Estados y 1 organización regional de integración económica, los cuales representan el 63.7% del total de Emisiones GEI (CMNUCC, 2014).

Una de las características más importantes de este documento es que los Estados y organizaciones regionales incluidas en el Anexo I del protocolo se comprometen jurídicamente a lograr los objetivos para limitar o reducir individualmente sus emisiones de gases de efecto invernadero. Los países miembros se pueden observar en el *Apéndice B* de este documento. Los compromisos más importantes que se mencionan en el documento son (CMNUCC, 2014):

- Cada parte deberá adoptar políticas y medidas nacionales para reducir las emisiones de GEI y aumentar las absorciones por sumideros. Por ejemplo, se estipuló un recorte total de al menos un 5% con respecto a los niveles de 1990, durante 2008-2012.

- Cada Estado deberá ofrecer recursos financieros adicionales para promover el cumplimiento de los compromisos por parte de los países en desarrollo.
- Se atribuye una cantidad máxima de emisiones que un miembro puede emitir en cierto periodo de tiempo.

Por otro lado, tanto los países incluidos como los no incluidos en el Anexo I deberán cooperar en los siguientes temas:

- Desarrollo, aplicación y difusión de tecnologías no perjudiciales para el clima.
- Investigación y observación del sistema climático
- Mejora de metodologías, datos e inventarios de los gases de efecto invernadero.

Como se mencionó anteriormente, los países tienen que alcanzar metas individuales a través de su política pública y medidas nacionales. Sin embargo, el Protocolo ofrece medios adicionales para alcanzar estos objetivos basados en mecanismos de mercado, los que destacan: El Mercado de Carbono (también conocido como el comercio de los derechos de emisión), Mecanismos para un Desarrollo Limpio (MLD), Mecanismos de Aplicación Conjunta y el Fondo de Adaptación (CMNUCC, 2014). En lo siguiente, se explicará brevemente cada medida.

Mercado de carbono

Se le atribuye ese nombre debido a que el dióxido de carbono es el principal gas de efecto invernadero. Está sometido a los mismos seguimientos y transacciones comerciales que cualquier otro producto básico (CMNUCC, 2014). El comercio de los derechos de emisión se define en el artículo 17 del Protocolo de Kioto y permite que los países tengan bonos de emisiones de sobra para comercializar entre sí. De esta manera se crea un nuevo

producto en básico que “interioriza” de alguna manera la externalidad de la contaminación del aire y promueve el intercambio comercial entre países.

En el centro del mercado internacional de carbono se encuentran las compañías sometidas a controles de GEI impuestos por los Estados para cumplir los objetivos del Protocolo. Estas empresas son los usuarios finales de los derechos y créditos de emisión, por consiguiente, contribuyen a determinar el volumen general y el precio de los bonos. (CMNUCC, 2007).

Existen otros agentes en el mercado de carbono como las compañías que verifican y certifican los créditos de emisión en los distintos proyectos (MDL, Aplicación Conjunta, etc), las plataformas para el intercambio de derechos y créditos de emisión como los proporcionados por Europa (European Climate Exchange) y Chicago (Chicago Climate Exchange), asesores y analistas para ayudar a las compañías (CMNUCC, 2007).

Mecanismo para un desarrollo limpio (MDL)

Se considera como el primer plan mundial de inversión y crédito ambiental. Resumidamente permite que los países adheridos al Protocolo promuevan proyectos de reducción de las emisiones en países en desarrollo. Mediante estos proyectos los países pueden conseguir créditos por Reducciones Certificadas de Emisiones (RCE), el cual cada uno equivale a una tonelada de CO₂ que puede ser utilizada para cumplir las metas o en el Mercado de Carbono (CDM, 2016).

Aplicación conjunta

La aplicación conjunta es también un mecanismo basado en proyectos. Permite a los países incluidos en el anexo I ejecutar proyectos que reduzcan emisiones o se aumente la

capacidad de los consumidores en otros países que forman parte igualmente del anexo I (CMNUCC, 2007). En otras palabras, este mecanismo promueve la cooperación entre países para implementar proyectos verdes en conjunto y así ser bonificados con Unidades de Reducción.

Con estos proyectos también se generan Unidades de Reducción de Emisiones, las unidades generadas por estos proyectos pueden ser utilizadas por los países inversores para ayudar a cumplir sus objetivos de emisión. Con el fin de evitar doble contabilidad, se restan ciertas unidades a la cantidad atribuida del país anfitrión (CMNUCC, 2007).

Fondo de adaptación

Se pronostica que el Cambio Climático afectará en gran medida a los más pobres del mundo. Sin embargo, esta parte de la población también se considera que es la que menos ha contribuido al aumento de las emisiones de GEI. A menudo, los más pobres son los más afectados por catástrofes climáticas y otros efectos del Cambio Climático como la desertificación y el aumento del nivel de mar (INECC, 2015).

Este Fondo fue creado para financiar proyectos y programas específicos que ayuden a la adaptación en países en desarrollo que son parte de este Protocolo. Los proyectos y programas del Fondo están dirigidos a satisfacer las necesidades específicas de las comunidades vulnerables y por tanto cubren una amplia gama de sectores, incluyendo por ejemplo la agricultura, la seguridad alimentaria, gestión costera y gestión del agua (CMNUCC, 2014).

1.4.4. Políticas Públicas para combatir el cambio climático en México

Nieto (2015) afirma que México es el país miembro de la Organización para Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) que menos impuestos ambientales tiene. Se pueden

diferenciar tres contribuciones relacionadas con los impuestos al medio ambiente en México: Impuesto sobre la Producción y Servicios (IEPS), Impuesto sobre Automóviles Nuevos y los impuestos a los combustibles fósiles (Nieto, 2015).

Entre 2008 y 2012, México fue el único país con una relación negativa de sus impuestos como porcentaje del PIB. En promedio, los impuestos ambientales en México representan el -0.8%, situación que contrasta mucho con los impuestos ambientales de otros países miembros, como Finlandia, Dinamarca o Países Bajos cuyos impuestos oscilan entre el 3 y 4.4% de su respectivo PIB.

Esta relación negativa obedece al subsidio que ha otorgado el Gobierno Federal a los ingresos asociados a los impuestos ambientales como el Impuesto sobre la Producción y Servicios (IEPS) que aplicaron para gasolina y el diésel hasta el 2017. El impuesto al consumo de estos combustibles se anuló (o se convirtió en obsoleto) cuando los precios internacionales del petróleo eran altos y el Gobierno Federal tuvo la necesidad de compensar a Petróleos Mexicanos (PEMEX) la diferencia entre los precios internacionales y precios internos por la venta de gasolina y diésel que habían sido fijados a un menor costo por el Gobierno Federal (Nieto, 2015; Huesca y López, 2016).

A principios de 2017 comenzaron los esfuerzos para liberar el precio de la gasolina, provocando descontento e inestabilidad en los primeros meses del año. Actualmente, el precio de la gasolina se define diariamente, no es uniforme en todo país (se dividió el país en 83 regiones en el país más 7 en la frontera) y está sujeto a factores como el precio del petróleo, la competencia de las marcas que ofrezcan el producto y el desarrollo de las localidades que vendan el combustible (Albarrán, 2016; Langer, 2016).

De acuerdo con la Ley de Ingresos de la Federación del 2017, el Gobierno Federal espera recaudar un total de 284,432 millones de pesos, lo que representa un aumento del 36% con respecto al año anterior. El impuesto, en la gasolina Magna la más utilizada en el país corresponde al 26% del precio total de la gasolina, aproximadamente 4.16 pesos (Albarrán, 2016).

El IEPS en 2015, tenía una tasa aproximada de \$3.2 USD/TONCO₂, esta tasa se espera que tenga poco impacto a corto plazo, sin embargo, se espera que este impuesto aumente paulatinamente en el futuro (Nieto, 2015).

En la Figura 1.7 se muestran los ingresos generados por el impuesto ambiental IEPS en los últimos años:

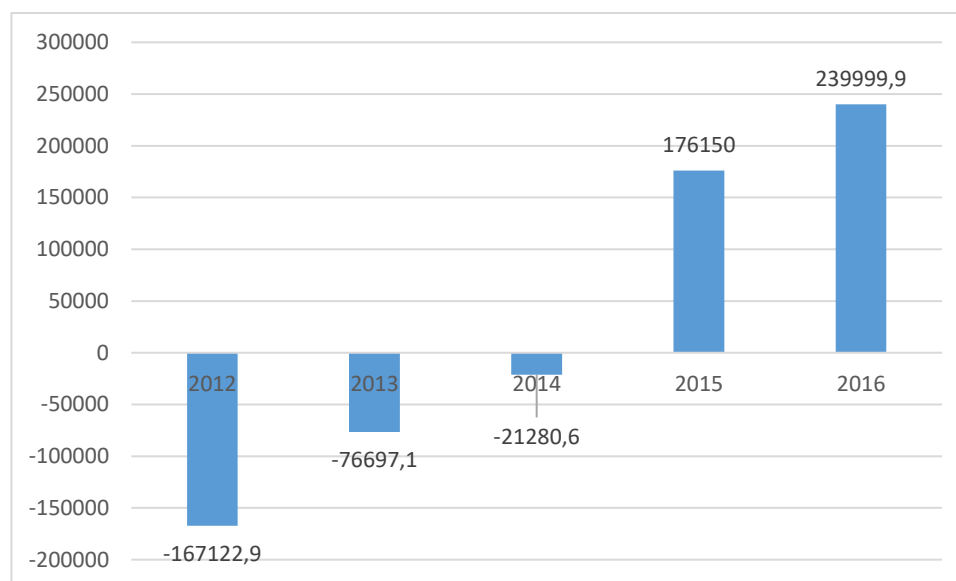


Figura 1.7. Ingresos por IEPS en Gasolina y Diesel. Elaboración propia a partir de información de Albarrán (2016).

México ha comenzado a poner importancia a las legislaciones ambientales para poder controlar el impacto que las actividades humanas en el país tienen en el medio ambiente. Sin embargo, es claro que México tiene un largo camino por delante para establecer

políticas adecuadas que vayan en concordancia con los objetivos a los que se está adhiriendo a nivel internacional

A continuación, en la Tabla 2.2. se muestran algunas medidas, acciones y compromisos adquiridos en los últimos años por el Gobierno Federal mexicano para combatir o contrarrestar el Cambio Climático:

Tabla 1.2

Medidas, acciones y compromisos de México para combatir el Cambio Climático

Nombre	Año	Descripción
Compromisos de mitigación y adaptación ante el Cambio Climático para el periodo 2020-2030. (INDC.- Intended Nationally Determined Contribution)	2015	Se establecen los compromisos voluntarios y no condicionados de México que se apegan a los objetivos, instrucciones y prioridades establecidas en la Ley General de Cambio Climático y la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Principales metas: Meta de mitigación: Reducción del 22% de las emisiones de GEI. Metas de adaptación: reducir hasta en 50% el número de municipios vulnerables y alcanzar en el 2030 una tasa de 0% de deforestación.
Programa Nacional de Cambio Climático (PECC)	2015	Es un instrumento de planeación de la LGCC, sus principales objetivos son: consolidar y modernizar los instrumentos y acciones para reducir la vulnerabilidad social y conservar, restaurar y manejar sustentablemente los ecosistemas, así como reducir las emisiones de GEI.
Sistema Nacional de Cambio Climático	2015	La Ley General de Cambio Climático prevé la creación del Sistema Nacional de Cambio Climático con la finalidad de lograr la coordinación efectiva de los distintos órdenes de gobierno, el sector privado y la sociedad.
Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENACC)	2013	Es el instrumento rector de la política nacional a mediano y largo plazo para enfrentar los efectos del Cambio Climático y hacer la transición a una economía sustentable.
Ley General de Cambio Climático	2012	Sus objetivos principales, entre otras cosas, son regular las emisiones de GEI, regular las acciones de mitigación y adaptación ante el Cambio Climático y reducir la vulnerabilidad de la población y los ecosistemas, así como promover una economía competitiva, sustentable y de bajas emisiones de carbono.
Programas sociales y estudios científicos	varios	“Programa de GEI en México”, “Impulso a la eficiencia y tecnologías limpias para la generación de energía eléctrica”, “Hipotecas verdes por la Comisión Nacional de Vivienda”, “Programas de adaptación al Cambio Climático”, “Programas de comunicación y difusión del cambio climático”, “Comunicaciones Nacionales ante CMNUCC”, “Atlas Nacional de Vulnerabilidad”, etc.

Elaboración propia a partir de SEMARNAT (2017)

1.5. Revisión de estudios relevantes del área

En esta sección del marco teórico se realiza una revisión de la literatura científica de temas referentes a la economía y el medio ambiente que utilizan la metodología de Equilibrio General Computado. La sección se divide de la siguiente manera: se comienza con estudios de análisis de políticas públicas, para continuar con estudios específicos sobre México y finaliza con estudios que se enfocan en los efectos económicos del Cambio Climático.

1.5.1. Análisis de Políticas Óptimas

Existen académicos que se han dedicado al tema de las externalidades y a cómo internalizarlas modelando políticas óptimas para los distintos problemas ambientales. Muchos de estos utilizan la metodología de Equilibrio General para probar diferentes hipótesis y diferentes propuestas de impuestos para poder internalizar el problema de la contaminación.

Por ejemplo, Farzin (1996) utiliza un modelo de equilibrio general dinámico simple, con el cual se demuestra que la política óptima para el consumo de combustibles fósiles requiere la aplicación de impuestos de manera inmediata y en tasas crecientes. Mohtadi (1995) evalúa con esta metodología el crecimiento económico a largo plazo bajo escenarios de política óptima. En este artículo se agregó la variable ambiental en la función de producción y utilidad.

Xu y Toshihiko (2008) evalúan los impactos de la reducción local de los contaminantes del aire en China con un Modelo de Equilibrio general. Se encontró que el papel de los impuestos para el control de contaminantes locales del aire, en específico del

ozono es muy limitado. Sin embargo, al establecer un tope de las emisiones de ozono ayudará a controlar estas emisiones, pero tendrá un impacto negativo en el PIB.

En investigaciones más actuales, De Miguel y Manzano (2011), calibraron un modelo de equilibrio general dinámico y analizaron cuál es la manera más eficiente de implementar reformas fiscales verdes, si en un solo paso o progresivamente. Para el caso español encontraron que, aunque siempre se consigue el dividendo del medio ambiente, la existencia de un dividendo de eficiencia depende del tipo de reforma, su tamaño y la forma en la que es implementada.

García (2014) creó un modelo de equilibrio estático para el caso de Chile con 23 industrias y 23 bienes para evaluar, con el método de estática comparativa, los impactos directos e indirectos al implementar un impuesto de carbono en Chile en 2010. Sus conclusiones fueron que una reducción del 20% de las emisiones produciría una disminución del PIB en 2%, los sectores más afectados con este impuesto serían la industria petrolera, la industria del transporte y la industria eléctrica (contrayéndose aproximadamente entre 7% y 9%). El valor del impuesto que podría llevar a esta reducción se encuentra alrededor de 26 USD por tonelada equivalente de CO₂.

Fernández, et al. (2011) utilizaron un modelo de equilibrio general para una economía con crecimiento endógeno que presenta una externalidad negativa. Con estas especificaciones y considerando las emisiones de la deuda pública se encontraron una amplia gama de reformas fiscales verdes factibles que producen doble dividendo. Se obtuvieron algunos escenarios viables en los cuales al alcanzar los impuestos el nivel Pigouviano se elimina en su totalidad las externalidades ambientales y no ambientales.

1.5.2. Estudios sobre México

En el contexto mexicano, Huesca y López (2016) realizan una revisión analítica del impuesto especial sobre producción y servicios (IEPS) aplicado en México. En este artículo se concluye que el impuesto sólo ha sido utilizado para compensar el subsidio del Gobierno y tiene una naturaleza progresiva, es decir, que, al aumentar el consumo, aumenta el impuesto.

Antón Sarabia y Hernández-Trillo (2014) utilizan la metodología de Parry y Small (2005) para estimar el precio óptimo de la gasolina en México, el cual tiene la característica especial de ser un país productor de petróleo. El impuesto óptimo de la gasolina encontrado es de \$1.90 dólares del 2011.

Gupta, et al. (2002) analizan las consecuencias de los subsidios en los precios del petróleo para países productores de petróleo. Se encontró que los países exportadores de petróleo tienden a subsidiar fuertemente estos precios, sin embargo, el subsidio no parece ser una buena decisión para usar los recursos nacionales eficientemente.

Gupta et al. (2002) argumentan que sería mejor que los países productores de petróleo se rigieran conforme a los precios del mercado internacional. Desde un punto de vista de equidad el subsidio no es el método ideal para mejorar la redistribución de ingresos, ya sea porque benefician a todos los usuarios incluyendo a los ricos, en otras palabras, los subsidios tienen un sesgo “pro-ricos”. Desde un punto de vista fiscal, el costo de oportunidad de los subsidios es sustancial, ya que el gobierno podría gastar en otros proyectos que favorezcan a la sociedad con el dinero utilizado para cubrir el subsidio.

Finalmente, Landa, et al. (2016) simulan el impacto a mediano y largo plazo de una política energética propuesta en el caso de la economía mexicana utilizando el Modelo multisectorial y económico para la evaluación de la política medioambiental y energética (Three-ME por sus siglas en inglés), desarrollado por el Banco Mundial. Three-Me estima el impuesto al carbono requerido para alcanzar los objetivos de reducción de emisiones dentro de la Ley mexicana de Cambio Climático y evalúa escenarios de políticas alternativas para el uso de los ingresos fiscales. Se concluyó que, sin compensación, la política tributaria reduciría las emisiones de CO₂ más del 75% para 2050 pero con un alto costo económico.

1.5.3. Efectos económicos del cambio climático

Como se dijo anteriormente, las emisiones generadas por las actividades humanas provocan el aumento constante de la temperatura en la tierra, este aumento acelerado de la temperatura provoca cambios en los ecosistemas y en la magnitud y frecuencia de los fenómenos climáticos. Estos cambios pueden impactar negativamente el rendimiento de las economías al reducir el suministro de factores de producción como la tierra arable y otros recursos naturales.

Es importante considerar que especialmente los cambios en los ecosistemas son cambios paulatinos y los cambios que suceden en un periodo corto de tiempo son muy difíciles de percibir. Del mismo modo, los efectos del Cambio Climático en la economía tampoco pueden ser percibidos fácilmente a corto plazo. Por lo tanto, los efectos del Cambio Climático en los ecosistemas y en los fenómenos climáticos deben ser considerados como fenómenos de mediano o largo plazo.

A partir de los años 60 y 70 han surgido infinidad de teorías que tratan de explicar la relación entre el medio ambiente y las actividades económicas, en particular del crecimiento económico. Behrens, et al., (1972), en su estudio de Los Límites del Crecimiento concluyó hace casi 50 años que, si la industrialización, la contaminación ambiental, la producción de alimentos y el agotamiento de los recursos naturales mantienen las tendencias actuales, el planeta Tierra alcanzará los límites de su crecimiento en el curso de los próximos 100 años.

El resultado más probable si no se realiza esfuerzo alguno para revertir esta tendencia sería un súbito e incontrolable descenso, tanto de la población como de la capacidad industrial. En este estudio se exhorta a la población en general a percatarse de las restricciones cuantitativas del medio ambiente y hace hincapié en la necesidad de emprender un esfuerzo global para reducir las brechas y las desigualdades mundiales, especialmente en los países de desarrollo (Behrens, et al., 1972).

En el estudio de Nelson. et al (2014), algunos economistas de organizaciones de investigación de todo el mundo trabajaron en conjunto para comparar los resultados de sus investigaciones sobre las respuestas económicas al Cambio Climático. Este estudio se nombró Proyecto de Comparación entre Modelos de Agricultura (AgMIP) (Bufisher, M., 2016).

Nueve modelos, incluyendo cinco Modelos de Equilibrio General, fueron utilizados en este proyecto. El objetivo de los investigadores fue introducir las mismas tendencias de Cambio Climático y de rendimiento de los cultivos en sus modelos económicos (Bufisher, M., 2016).

Los economistas comenzaron por agregar siete escenarios de cambios biofísicos sobre el rendimiento de los cultivos, los cuales se introducirían como choques en sus modelos. Para obtener estos choques se combinaron las proyecciones de Modelos Climáticos Globales y Modelos Biofísicos (Bufisher, M., 2016).

Los modelos arrojaron resultados de un descenso medio en el rendimiento de los cultivos de 17% para 2050 a lo largo de los escenarios, tipos de cultivos y regiones geográficas (Bufisher, M., 2016; Nelson, G. et al., 2014).

Los resultados de AgMIP considerando el descenso en el rendimiento de los cultivos arrojaron que, en promedio, el comportamiento de los productores frena la disminución de la media de los cultivos del 17% al 11% y aumentan el área de tierra de los cultivos en un 11%. Esto a su vez se traduce en una disminución de la producción entre países y productos básicos de sólo 2% (Bufisher, M., 2016).

Desde la perspectiva de la demanda, el consumo de alimentos disminuye sólo ligeramente en un 3% en promedio, a pesar de un aumento medio de los precios al productor de cultivos del 20%. La proporción del comercio mundial de la producción de alimentos en el mundo aumenta un 1%, lo que indica que el comercio funge como mecanismo de adaptación (Bufisher, M., 2016).

Sin embargo, los efectos de Cambio Climático son muchos y muy variados. Otro ejemplo, es el estudio *Climate Change and Labour: Impacts of Heat in the Workplace* del Programa de Desarrollo de las Naciones Unidas. Ellos aseguran que el calor excesivo provoca que los trabajadores que operan al aire libre disminuyan la intensidad de su trabajo o sus horas laborales, lo que reduce la productividad, las ganancias económicas,

los salarios y los ingresos familiares (UNDP, 2016). Este estudio proyecta un cambio en la productividad laboral para el 2055 de -1,15 en México, y una pérdida de productividad promedio en el Resto del Mundo (ROW) de -2%. (UNDP, 2016)

Por último, en su publicación, *OECD Environmental Outlook to 2050: The Consequences of Inaction* (OCDE, 2012) se utiliza la metodología de Equilibrio General, particularmente el modelo creado por el Banco Mundial *ENV-Linkage Model*. En este documento se presentan las tendencias económicas y demográficas de los siguientes cuarenta años, este documento concluye haciendo hincapié en la urgente necesidad de aplicar políticas públicas en la actualidad para evitar un escenario poco favorable en 2050.

2. MARCO METODOLÓGICO

En el Marco Teórico se estudiaron, entre otras cosas, los componentes principales de un modelo de Equilibrio General Computado. Con la finalidad de adentrarse a esta metodología, se crean modelos sencillos que se enfocan en el problema del Calentamiento Global y sus efectos en la economía mexicana en las próximas décadas.

Es importante mencionar que este es sólo un primer acercamiento al instrumento. Por lo tanto, los modelos aquí explicados corresponden a versiones muy sencillas y por ende poco realista. Sin embargo, el objetivo de su aplicación no se centra en hacer pronósticos reales sobre los impactos ambientales y las políticas correspondientes sino que pretende describir las distintas herramientas útiles para el análisis de problemáticas con múltiples orígenes y consecuencias, progresivas y de largo plazo como el Cambio Climático, así como su implementación en el modelo y la interpretación de los resultados obtenidos.

En este capítulo se habla de la metodología utilizada para crear proyecciones sobre cómo se vería el escenario mexicano en un futuro bajo ciertas condiciones ambientales y de crecimiento. Este capítulo se organiza de la siguiente manera: en la primera sección se desarrollan las preguntas de investigación, objetivos e hipótesis. En la segunda sección se explica el Modelo 1 y Modelo 2. Finalmente, la última sección corresponde a Pruebas de Hipótesis.

2.1. Preguntas de investigación, objetivos e hipótesis

El Análisis de Equilibrio General Computado, es una herramienta muy interesante para el análisis económico. Como se dijo anteriormente, el Equilibrio General Computado trata en simples palabras de una representación en computadora de la economía que incluye a

todos los agentes económicos que se comportan racionalmente optimizando su beneficio y que son interdependientes entre sí.

En la actualidad, este análisis tiene múltiples aplicaciones y es una herramienta muy flexible que permite modelar la economía de acuerdo a las necesidades de investigación. Por otro lado, el Calentamiento Global es una problemática progresiva, de largo plazo y que puede afectar a diversos sectores de la economía desde distintas áreas, incluso de manera simultánea. Dados estos argumentos se desarrolla la pregunta de investigación, ¿Cuál es la utilidad del Análisis de Equilibrio General en el estudio económico de problemáticas con múltiples orígenes y efectos, como son los temas ambientales?

Para enfocar más este estudio es necesario presentar preguntas secundarias que guíen un poco más el trayecto de esta investigación. Debido a que este es un primer acercamiento a la teoría y software del Equilibrio General Computado es de suma importancia conocer las características, elementos y procedimientos que conlleva crear un modelo con estas características. La primera pregunta secundaria de investigación es: ¿Cuáles son los elementos básicos que se necesitan considerar para poder formular un Modelo de Equilibrio General Computado para México?

En otro orden de ideas, como se mencionó en el Marco Teórico, las emisiones generadas por las actividades humanas provocan el aumento constante de la temperatura en la tierra, este aumento acelerado de la temperatura provoca cambios en los ecosistemas y en la magnitud y frecuencia de los fenómenos climáticos.

Del mismo modo, estas alteraciones en la tierra pueden impactar negativamente el rendimiento de las economías al reducir el suministro de factores de producción como la

tierra arable y otros recursos naturales. De esta manera surge la segunda pregunta secundaria de investigación, ¿Cómo se pueden medir los efectos económicos del Cambio Climático en un Modelo de Equilibrio General Computado?

Para controlar y reducir los efectos negativos del Cambio Climático, cada país opta por aplicar diferentes medidas como impuestos, subsidios o proyectos sociales. El impuesto Piguviano es una medida económica muy utilizada por los países para modificar el comportamiento de ciertos agentes y así reducir los niveles de contaminación.

No obstante, un cambio en los impuestos o subsidios de un país puede tener diferentes efectos a lo largo en todos los sectores de una economía. Hay que recordar que los impuestos ambientales son medidas económicas muy impopulares ya que reducen la capacidad de compra de los agentes económicos.

Para el caso de México surge la siguiente pregunta de investigación, ¿Cuáles serían los efectos en el Bienestar Social y en el comportamiento de la economía en general de México en 2050 si se aumentaran los impuestos ambientales?

Cabe mencionar que se escogió el año 2050 debido a que, si bien existen numerosos estudios que proyectan los efectos del Cambio Climático a nivel mundial (OCDE, (2012); FAO, (2006); Fouré, (2002); Brunisia, (2012)) pocos han realizado un análisis minucioso sobre las condiciones de México en ese año en particular. Además, los resultados provenientes de dichos estudios contribuyen a la modelación de los escenarios mexicanos desarrollados aquí.

2.1.1. Objetivos

Como se puede notar, el problema del Cambio Climático puede ser observado desde diferentes ángulos y ciencias, que a su vez tienen interacción entre ellas. El Cambio Climático es un problema generado principalmente por las actividades humanas y a su vez, tiene múltiples consecuencias en muchos aspectos de la vida cotidiana.

Todo indica que el Análisis de Equilibrio General Computado es una herramienta muy adecuada para analizar esta problemática, ya que es una herramienta muy maleable y permite observar los efectos directos e indirectos de cualquier cambio en la economía. En el caso del Cambio Climático, los modelos de Equilibrio General tienen múltiples aplicaciones y enfoques, tal como se describe en la sección 1.5 del Marco Teórico.

Sin embargo, al realizar un análisis de este tipo es importante tener en cuenta muchas teorías económicas y muchos supuestos, además, los programas como el RunGTAP o GAMS cuentan con múltiples herramientas que vale la pena conocer para lograr mayores alcances en la investigación. Por consiguiente, y con la finalidad de darle mayor aprovechamiento a este instrumento, el objetivo general de esta investigación es:

Mostrar la importancia de los Modelos de Equilibrio General Computado para el análisis de cuestiones de medio ambiente de un país.

Este estudio se centrará en dos temas principales: los efectos económicos del Cambio Climático y, por otro lado, los efectos económicos al aplicar políticas públicas ambientales. Asimismo, este estudio permitirá la utilización de herramientas básicas del software como: proyección de escenarios, cambios en el *Closure*, modificación en las tasas de impuestos, análisis del Bienestar Social, entre otros. Es importante reiterar que

este ejercicio será sólo un primer acercamiento a la herramienta para poder ser aplicada y afinada para análisis más complejos en el futuro.

Para este primer análisis se desea cumplir con los siguientes objetivos específicos de investigación:

1. Conocer las características principales de un Modelo de Equilibrio General y crear un modelo sencillo de Equilibrio General para el caso de México.
2. Aplicar diferentes experimentos o escenarios para observar los impactos del Cambio Climático en México en el 2050.
3. Aplicar diferentes experimentos para observar los efectos económicos y de Bienestar Social en el 2050 al aplicar una política ambiental en México.

2.1.2. Hipótesis

Como hemos podido analizar, los temas relacionados con el medio ambiente generalmente tienen un comportamiento cíclico en el que intervienen numerosos factores. Por un lado, la interacción de las decisiones y actividades económicas de los agentes económicos provoca crecimiento económico en un país, y a su vez, estas actividades tienen impactos negativos en el ambiente. Del mismo modo, se ha podido observar, que estos cambios en el ambiente tienen repercusiones a lo largo de toda la economía. Por consiguiente, un análisis parcial de esta problemática se queda muy limitado para poder lograr alguna aportación significativa. La Hipótesis Principal de este estudio es:

Hipótesis Principal: Los Modelos de Equilibrio General Computado son de gran importancia y utilidad para analizar problemáticas con múltiples orígenes y efectos, como son los temas relacionados con cuestiones del medio ambiente de un país.

Sin embargo, para crear un Modelo de Equilibrio General Computado, por muy sencillo que sea este, es necesario aprender el lenguaje que se maneja, considerar muchas teorías económicas y conocer los múltiples elementos que constituye un modelo de esta naturaleza. De esta manera surge la siguiente hipótesis:

Hipótesis 1: Estudiar los elementos principales, así como la modelación de escenarios sencillos de Equilibrio General Computado, es de suma importancia para tener un primer acercamiento y aprovechar todas las herramientas analíticas que esta metodología ofrece.

En otro orden de ideas, como se ha sustentado anteriormente en el Marco Teórico, los efectos del Cambio Climático son perjudiciales tanto para los ecosistemas como para la productividad económica de un país. También se considera que estos cambios son progresivos y tienen un efecto a largo plazo. De ahí surge la segunda hipótesis:

Hipótesis 2: Los efectos del Cambio Climático, así como una disminución de la productividad de ciertos factores de producción, tienen impactos significativos en el rendimiento de la economía mexicana en el 2050.

Por otro lado, considerando la gran dependencia de México a los energéticos derivados del petróleo, las tendencias de suministro de energía y las proyecciones del consumo de energía, se espera que exista una variación significativa en la economía si se modifican los precios de este sector mediante el aumento de impuestos ambientales. De estos argumentos se genera la siguiente hipótesis.

Hipótesis 3: La introducción de impuestos en el sector energético tendría efectos importantes a la baja en el Bienestar Social y en la economía mexicana en general del 2050.

2.1.2. Obtención de Datos

El proyecto GTAP provee de una base de datos global. Esta base de datos se construye a partir de la contribución de datos de modeladores alrededor del mundo. Luego GTAP organiza y equilibra la información para crear una base de datos consistente. (Bufisher, M., 2016) La versión que se utilizará en esta tesis es la versión 8.1 la cual describe 134 países o regiones y 57 industrias en 2007.

Estos datos incluyen tablas de insumo-producto, flujos comerciales bilaterales, costos de transporte, información tributaria y arancelaria y todos los demás datos que comprenden las Matrices de Contabilidad Social y los parámetros de elasticidad utilizados en los modelos de equilibrio general.

Esta base datos se encuentra disponible en el programa GTAPAgg.v.8, el cual permite la agregación de la misma y la obtención de la Matriz de Contabilidad Social que se requiere para los dos modelos. Debido a que no se cuenta con licencia GTAP, el programa sólo permite crear bases de datos de hasta tres regiones y tres sectores productivos.

Para obtener el Escenario BASE, México en el 2050, las proyecciones del Resto del Mundo (ROW) y de México sobre el Producto Interno Bruto (PIB) y el crecimiento de la Población se basan en SSP2 del OCDE Environmental Outlook 2050 (OCDE,2012). Las proyecciones para los cambios en la oferta de mano de obra y la acumulación de capital

se obtuvieron de Fouré et al (2012) y el crecimiento proyectado en el área de tierras agrícolas se obtuvo de Bruinsma (2011). Para los experimentos del primer modelo, los shocks se obtuvieron de Bruinsma (2011) y UNPD (2016).

Por otro lado, para el Modelo 2 se añadieron dos variables más del Banco Mundial, demanda de energía y reducción de recursos naturales obtenidas de (OCDEa, 2012) y los shocks en las políticas ambientales fueron inspirados en Antón-Sarabia & Hernández-Trillo (2016).

2.2. Definición de los modelos

2.2.1. Modelo 1

En el primer modelo de esta investigación se construirá un escenario base y posteriormente se definirá un experimento contrafactual con dos variantes. El escenario base describe las economías de México (MEX) y el Resto del Mundo (ROW) en 2050 con un clima constante y sin efectos de Cambio Climático. Posteriormente, se aplicarán dos experimentos para simular las condiciones de la economía de México con efectos de Cambio Climático. Estos modelos se basaron en los *Model Exercises* de Bufisher (2016), que a su vez adaptan modelos de Equilibrio General más elaborados procedentes de otras investigaciones científicas a un modelo GTAP estándar 3x3 (tres regiones y tres sectores).

Antes que nada, es necesario tener los datos ordenados de acuerdo a la economía que se desea estudiar. A continuación, se describe cómo se crea la Matriz de Contabilidad Social y el procedimiento para obtener el Modelo 1.

Matriz de Contabilidad Social MEX 3x3

Se creó una Matriz de Contabilidad Social para México basado en los pasos utilizados por Bufisher, M. (2016) para crear la Matriz US3x3. Para obtener la base de datos agregada se utilizará el programa de agregación GTAPAgg.

Paso 1. Definir las regiones del estudio: Como se mencionó anteriormente, los modelos de Equilibrio General pueden describir la economía de uno o varios países, igualmente se puede organizar el mundo en bloques o regiones. El primer paso para crear la SAM MEX 3x3 es definir las regiones que se estudiarán en la investigación.

En este caso se definirán dos regiones, México (MEX) y el Resto del Mundo (ROW), esta última es una región que agrega a todos los 133 países y regiones restantes de la base de datos global

Paso 2. Definir los sectores productivos: Posteriormente se realizará la agregación de los sectores productivos. Para esta base de datos, se dividirá la economía en 3 sectores, Agricultura (AGR), Manufactura (MFG) y Servicios (SER). A continuación se muestran cuáles son los productos o actividades que se considerarán en cada sección.

Agricultura (AGR): Arroz con cáscara, Trigo, Cereales, Hortalizas, Frutas, Frutos secos, Semillas de aceite, Caña de azúcar, Remolacha azucarera, Fibras vegetales, Cultivos (nec), Ganado bovino, ovino y caprino, Caballos, Productos de origen animal, Leche cruda, Capullos de seda, productos de carne de caballo, Productos Cárnicos, Aceites y grasas vegetales, Productos lácteos, Arroz elaborado, Azúcar, Productos alimenticios (nec), Bebidas y productos de Tabaco.

Manufactura (MFG): Productos de cuero, Productos de madera, Productos de papel, Edición, Petróleo, Productos de carbón, Productos químicos, Caucho, Productos de plástico, Productos minerales (nec), Metales ferrosos, Metales (nec), Productos metálicos, Vehículos automotores y sus partes, Equipo de transporte (nec), Equipo electrónico, Maquinaria y equipo (nec), Manufacturas.

Servicios (SER): Electricidad, Fabricación de Gas, Distribución, Agua, Comercio de construcción, Transporte, Negocios Financieros, Servicios Recreativos, Administración pública y defensa, Educación, Salud, Viviendas y servicios.

Paso 3. Definir los factores de producción: Para finalizar la creación de la SAM 3x3, se realizará la agregación de los factores de producción. En esta ocasión se tienen tres factores de producción: Tierra (LAND), Mano de obra (LABOR) y Capital (CAPITAL). Para el caso de la Mano de obra se agregarán la Mano de obra calificada y la no calificada en un solo factor. Para el caso del Capital, se incluirán los factores de producción Capital y Recursos Naturales. En esta base de datos se asumirá que todos los factores de producción son móviles.

Paso 4. Crear SAM (HAR y EXCEL) y exportar a GTAPv.8: Al terminar de mapear las regiones, sectores y factores de producción se creará la base de datos agregada y la SAM, la Matriz de Contabilidad Social MEX 3x3. Esta se puede visualizar en los programas Header Array (HAR) y Excel. El siguiente paso es exportar esta Matriz al programa GTAPv.8.

Como se mencionó con anterioridad, el programa GTAPv.8 es el programa que nos ayudará a manejar con más facilidad la SAM MEX 3x3 y encontrar el Equilibrio General de nuestra economía hipotética.

Paso 5. Especificar proyecciones para México en 2050: Para desarrollar el escenario base, se agregará al modelo los cambios proyectados entre 2007 a 2050 para cinco variables macroeconómicas: PIB real, Población, Tierra, Mano de Obra y Capital. Estas proyecciones se pueden observar en la Tabla 2.1

Las proyecciones de la Población en este periodo son de SSP2 (2012). Las proyecciones para los cambios en el PIB real se copilaron de OCDE (2012). Por otro lado, mano de obra y capital se obtuvieron de Fouré et al (2012). Por último, el crecimiento proyectado en el área de tierras agrícolas se obtuvo de Bruinsma (2012). Debido a que la base de datos que se utiliza en estos ejemplos es de 2007, se utilizaron datos del Banco Mundial de 2007-2010 para complementar las proyecciones mencionadas anteriormente.

Tabla 2.1

Proyecciones para el escenario base, tasas de crecimiento 2007-2050

	PIB Real (qgdp)	Población (pop)	Fuerza de trabajo (qo)	Capital (qo)	Tierra Arable (qo)
México (MEX)	284.9	39.66	43.9	166.93	25.61
Resto del mundo (ROW)	306.28	41.68	34.37	139.57	4.4

Fuente: Elaboración propia a partir de SSP2 Environmental Outlook Baseline Database v.09.3., (2012); OCDE, (2012); Fouré et al., (2012) y Bruuinsma, (2012).

Es importante mencionar que estas proyecciones consideran un comportamiento “normal” y creciente, es decir, no consideran la posibilidad que a lo largo de estos años

pueda suscitarse algún cambio estructural que cambie radicalmente la variable. Por ejemplo, a lo largo de los años se podría suscitar una crisis económica que afecte el crecimiento del PIB, una pandemia que reduzca considerablemente la población mundial o fenómenos climáticos, como terremotos y ciclones, que reduzcan la capacidad de producción de un país.

Paso 6. Especificar las condiciones del modelo: Para poder crear un modelo que esté más acercado a la realidad, el investigador debe considerar cuatro aspectos principales antes de correr el modelo: parámetros de elasticidad, *model closure*, shocks y el método de solución.

Parámetros de elasticidad: Como primer paso se modificará el parámetro de elasticidad ingreso de la demanda (INCPAR) en todas las regiones (MEX y ROW) para el sector Agrícola (AGR) a 0.05. Esta elasticidad tan baja describe mejor la insensibilidad a largo plazo de la demanda de alimentos por parte de los consumidores a medida que aumentan sus ingresos (Bufisher, M., 2016).

Model Closure: El PIB real es una variable endógena en el modelo GTAP. Por lo tanto, para poder poner en el programa el PIB real proyectado, primero se debe cambiar el Model Closure o cierre del modelo (sección 1.2.2.) intercambiando el PIB real por Producción Final Total, la cual es una variable exógena. Esto se realiza simplemente con agregar el siguiente texto al final de la lista de variables endógenas y exógenas en la página de Closure (Bufisher, M., 2016):

$$\text{swap } qgdp(\text{reg}) = aoreg(\text{reg});$$

Este intercambio en el Model Closure crea un experimento para el Escenario Base que resuelve el cambio en la productividad de toda la economía que es necesario para lograr el crecimiento proyectado que se está estimando, considerando el crecimiento proyectado en el suministro de factores y la población (ver tabla 3.1).

Shocks: Después de modificar el Model Closure, se agregarán los shocks a las variables PIB real (qgdp), Población (pop) y el suministro de Tierra, Mano de Obra y Capital (qo) correspondientes a las dos regiones tal y como se ve en la tabla 3.1. para crear las condiciones de México en 2050.

Método de solución: A continuación, se seleccionará el método de solución Gragg, el cual es un método de solución de múltiples pasos. Este tipo de métodos son utilizados para reducir los errores que surgen del método default de una etapa o Solución de Johansen.

El Procedimiento Gragg divide automáticamente el choque exógeno en un número de componentes iguales, que es especificado por el modelador. Puesto que los errores son proporcionales al tamaño del shock, reducir a la mitad este shock conduce a errores en cada paso que son menos de la mitad del tamaño del error producido si sólo se tuviera un único paso (Horridge, M., 2001).

En este caso, se cambiará el número de pasos a 6-8-10 con 10 intervalos. Esto rompe los grandes cambios económicos ocurridos en el periodo 2007-2050 en choques más pequeños para los cuales se encontrarán soluciones lineales secuenciales (Bufisher, M., 2016). Posteriormente, se correrá el primer experimento con el nombre de “BASE1: MEX

2050 escenario base con PIB real exógeno”. Finalmente, se deberán reportar los resultados de la variable ao para ambos países.

Paso 7. Regresar al model closure original: A continuación, y con la finalidad de utilizar el modelo GTAP original, se restaurará el cierre original, definiendo nuevamente al PIB real como una variable endógena y la productividad exógena. Se agregarán los valores que se obtuvieron para el crecimiento de la productividad a los choques base (ao), se desactivará el objetivo de crecimiento exógeno del PIB y por último se correrá el segundo experimento “Base 2: 2050 Escenario Base con PIB Endógeno”.

Como manera de comprobación se reportarán los resultados de la variable ($qgdp$) para ambas regiones y se compararán con las proyecciones de la Tabla 2.1 con la finalidad de poder evaluar la exactitud de los resultados en el crecimiento de la productividad al replicar el crecimiento del PIB asumido en 2050.

Los resultados de este experimento BASE2 son el escenario base de la economía mundial para el año 2050 sin los efectos Cambio Climático.

Experimentos para medir el impacto del Cambio Climático

Modelo 1 (variante 1): México 2050 con Cambio Climático: El primer escenario consiste en un experimento contrafactual que describe las economías de México y el Resto del Mundo en 2050 con efectos del Cambio Climático.

Este experimento incluye la misma cantidad de factores y proyecciones de productividad que el escenario base, pero también incluye los efectos del Cambio Climático sobre el suministro de tierra arable y la productividad agrícola.

Paso 1. Agregar efectos del Cambio Climático: Para obtener los cambios de la productividad agrícola, se calcularán los cambios netos de la intensidad del uso de tierra incluyendo el Cambio Climático, ajustando el aumento exógeno proyectado del 11%. Estos valores serán utilizados como nuevos choques en la intensidad del uso de la tierra (q_0 , LAND).

Finalmente se agregará un choque para representar el impacto del Cambio Climático en la tierra arable del -11% en todas las regiones (aoall, AGR, All REG).

Paso 2. Correr el modelo y comparar escenarios: Al considerar estos efectos del Cambio Climático se obtendrá otro equilibrio de la economía de MEX y ROW en 2050. Los resultados de este modelo mostrarán el Escenario 1 en el 2050 con Cambio Climático.

Una de las ventajas de utilizar el programa GTAPv.8 es que los shocks y los resultados en general se muestran en cambios porcentuales, lo que facilita la comparación entre escenarios. Las diferencias en los resultados entre el Escenario Base y el Escenario 1 describirán los efectos del Cambio Climático en México en el 2050.

Las variables observadas en la Tabla 2.2 otorgarán una imagen inicial del comportamiento de la economía mexicana y del resto del mundo en 2050 considerando la agregación de sectores de la SAM y los impactos del Cambio Climático.

Tabla 2.2

Variables observadas

PIB real (qgdp)	Exportaciones Agrícolas (qxw)
Producción Agrícola (qo)	
Precio al Productor sector agrícola (ps)	Importaciones Agrícolas (qiw)
Consumo Privado sector agrícola (qpd)	% de importaciones en el consumo agrícola (qiw-
Precio al consumidor sector agrícola (pp)	% de exportaciones en la producción agrícola (qxw-

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Bufisher, M. (2016).

Modelo 1 (variante 2): México 2050 con Cambio Climático y efectos en la productividad

Se extenderá el análisis del Escenario 1 sobre el Cambio Climático para incluir los choques en la productividad proyectados por UNDP (2016).

Paso 1. Agregar efectos adicionales del Cambio Climático: Se mantendrán los choques del Escenario base y el escenario 1, y se añadirá el cambio en la variable afeall de productividad para ambas regiones, en todos los sectores productivos. El choque para cada región se puede observar en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3

Cambios en la productividad (2055)

	Productividad (afeall)
Mexico	-1.15
Resto del mundo (ROW)	-2

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de UNDP, (2016)

Paso 2. Comparar resultados: La comparación de los tres escenarios que se modelaron permitirá conocer la magnitud del impacto que ciertos efectos del Calentamiento Global tendrán en las economías de México y en el Resto del Mundo en 2050.

Paso 3. Análisis de sensibilidad: Finalmente, como manera de comprobación se realizará un análisis de sensibilidad en las variables en donde se observó mayor variación y que, al parecer, fungen como mecanismos de ajuste. El modelo GTAP incluye una herramienta desarrollada por Arndt y Pearson (1998) que genera de manera automática un análisis de sensibilidad de los resultados del modelo a los valores asumidos del parámetro de elasticidad o de un shock (Bufisher, M., 2016).

Se pueden utilizar las medias y la desviación estándar para calcular los intervalos de confianza para el resultado del modelo. Al igual que Bufisher, M. (2016), se utilizará el teorema de Chebyshev para estos cálculos porque no es necesario asumir nada acerca de la distribución de probabilidad de los resultados de cada variable. El Teorema de Chebyshev dice que al menos una fracción $(1 - 1/K^2)$ de cualquier conjunto de

observaciones se encuentra dentro de k desviación estándar de la media. (Bufisher, M., 2016).

2.2.2. Modelo 2

Modelo 2: México 2050 con Cambio Climático y aumento en impuestos ambientales

En este modelo se creará una nueva agregación que aislará el sector energético y el sector agropecuario. Esto permitirá un análisis más minucioso de las implicaciones en imponer una reforma ambiental en ciertos sectores de la economía.

Paso 1. Definir reforma ambiental: Esta reforma ambiental se refiere a un aumento progresivo en el impuesto ambiental (IEPS) para obtener en 2050 el precio óptimo propuesto por Anton-Sarabia & Hernández-Trillo (2014) de 1.90 USD por litro de gasolina. Este modelo y su reforma ambiental ayudará a responder la última pregunta de investigación, ¿Cuáles serían los efectos en el Bienestar Social y en el comportamiento de la economía en general de México en 2050 si se aumentaran los impuestos ambientales?

Paso 2. Crear SAM MEX3x3-E: Para evaluar el impacto que tiene en la economía un aumento en los impuestos energéticos, como primer paso se deberá de modificar la Matriz de Contabilidad Social de MEX3x3. Se utilizará nuevamente el GTAPAgg para modificar los factores de producción y la agregación de las industrias en la economía de México.

Esta agregación se inspiró en la agregación utilizada en el Modelo Estándar GTAP-E, el modelo ambiental del GTAP que considera sustitución de Energía (Burniaux, J. & Truong, T., 2002).

Regiones: Se utilizaron las mismas regiones México (MEX) y el Resto del Mundo (ROW) que en la Matriz MEX3X3.

Factores de producción: En esta ocasión existen cuatro factores de producción, Tierra (Land), Capital (Capital), Mano de Obra (Lab) y Recursos Naturales (NatRes). El Capital y la Mano de Obra se consideran como factores móviles, mientras que la Tierra tiene una movilidad de -1,000000, y los Recursos Naturales de -0.001000 (Truong, T., 2007).

Sectores: Posteriormente se realizará la agregación de los sectores. En la agregación original del Modelo GTAP-E cuenta con 8 sectores, en su mayoría sectores energéticos como Carbón, Petróleo, Gas, Productos refinados del Petróleo, Electricidad e Industrias de uso intensivo de energía, por otro lado, hay un sector específico para la Agricultura y otro que engloba las otras industrias de Manufactura y Servicios (Truong, T., 2007).

Para esta Matriz de Contabilidad Social se dividirá la economía en 3 sectores: Agricultura, Energía y Manufacturas y Servicios. Los sectores de Agricultura y Manufactura y Servicios se mantendrán como en el modelo. Por otro lado, los sectores Energéticos considerados en GTAP-E se englobarán en un solo sector nombrado Energía. A continuación, se presenta la manera en la que se agregarán las industrias en estos sectores.

Agricultura (AGR): Arroz con cáscara, Trigo, Cereales, Hortalizas, Frutas, Frutos secos, Semillas de aceite, Caña de azúcar, Remolacha azucarera, Fibras vegetales, Cultivos (nec), Ganado bovino, ovino y caprino, Caballos, Productos de origen animal, Leche cruda, Capullos de gusano seda, productos de carne de caballo, Productos Cárnicos, Silvicultura y Pesca.

Energía (ENE): Gas, Manufactura y Distribución de gas, Petróleo, Productos de carbón, Minerales (nec), Químicos, Caucho, Productos de Plástico, productos minerales (nec), Metales ferrosos, Metales (nec), Minería de Carbón, Petróleo Crudo y Electricidad.

Manufactura y Servicios (MFG/SER): Aceites y grasas vegetales, Productos lácteos, Arroz elaborado, Azúcar, Productos alimenticios (nec), Bebidas y productos de Tabaco. Textiles, prendas de vestir, Productos de cuero, Productos de Madera, Productos de papel, Productos metálicos, Vehículos automotores y sus partes, Equipo de transporte (nec), Equipo electrónico, Maquinaria y equipo (nec), Manufacturas, Agua, Comercio de construcción, Transporte, Servicios Financieros, Servicios Recreativos, Administración pública y defensa, Educación, Salud, Viviendas y servicios.

Paso 3. Aplicar Shocks: Para construir el modelo base para esta nueva agrupación , se aplicarán las proyecciones de crecimiento de las cinco variables utilizadas en el Modelo Base, más las variables de demanda de energía y recursos naturales. La Tabla 2.4 muestra las tasas de crecimiento utilizadas en este ejercicio

Tabla 2.4.

Proyecciones para el escenario base (tasa de crecimiento 2007-2050)

	México (MEX)	Resto del mundo
PIB Real (qgdp)	284.9	306.28
Población (pop)	39.66	41.68
Fuerza de trabajo (qo)	43.9	34.37
Capital (qo)	166.93	139.57
Tierra Arable (qo)	35.61	15.4
Demanda de Energía (tradslack)	112	80
Recursos Naturales (qo)	-10	-10
Productividad cultivos (aoall)	-11	-11
Productividad Mano de Obra (afeall)	-1.15	-2

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SSP2 Environmental Outlook (2012), OCDE (2012a); OCDE (2012b); Bruinsma, (2012) y Fouré (2012).

Paso 4. Correr Modelo BASE3: Se incluirán como choques en el modelo a los valores de la Tabla 2.4 y se correrá el experimento “BASE3: Escenario Base con efectos de demanda de energía y recursos naturales”, posteriormente se anotarán los resultados de las siguientes variables en cada sector enumeradas en la Tabla 2.5 a continuación.

Tabla 2.5

Variables observadas Modelo 2

PIB real (qgdp)	Exportaciones sector energético(qxw)
Producción Energética	
Precio al Productor sector energético (ps)	Importaciones sector energético(qiw)
Consumo Privado sector energético (qpd)	% de importaciones en el consumo energético (qiw-qpd)
Precio al consumidor sector energético (pp)	% de exportaciones en la producción energética (qxw-qo)

Fuente: Elaboración propia a partir de Bufisher, M. (2016)

Paso 5. Capturar valores iniciales de impuestos: Como primer paso se registrarán los valores iniciales de los impuestos en Energía en el 2007. Los impuestos que se considerarán serán:

- Impuesto/subsidio en la producción de energía rto (ENE, MEX)
- Impuesto/subsidio a las exportaciones rTXS(ENE;MEX)
- Impuesto/subsidio a las importaciones rTMS(ENE, MEX)

Un valor negativo en el impuesto de la producción (rTO) y en las importaciones (rTMS) indican un impuesto, mientras que un valor negativo en las exportaciones (rTXS) indica un subsidio (Bufisher, M. (2016).

Paso 6. Eliminar Subsidios: Posteriormente se agregarán los choques para eliminar los subsidios únicamente en los impuestos que mostraron valores negativos en el escenario BASE3. Se agregarán los choques como tasa objetivo, en este caso el valor que se desea alcanzar es el 0.

Paso 7. Aplicar impuesto energético: Finalmente, se simulará el choque en la estructura tributaria de México, con un aumento del impuesto IEPS que en 2050 alcanzará

el precio óptimo de 1,90 USD. Este precio representa un aumento del 192,5% para la gasolina Magna y 150% para la gasolina Premium con respecto a los niveles de precios y tipos de cambio de 2007. La Tabla 2.6 muestra los datos del 2007 utilizados y las estimaciones de crecimiento del impuesto ambiental entre 2007-2050.

Tabla 2.6

Proyecciones para reforma energética 2007-2050

	Magna	Premium
Precio promedio gasolina 2007	7.1	8.31
Tipo de cambio promedio USD 2007	10.93	10.94
Precio en usd	0.65	0.76
Óptimo USD	1.9	1.9
Crecimiento	192.49	150.13

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Anton-Sarabia y Hernández-Trillo (2014); Tapia, P. (2014); Méndez, E. (2012) y CEFP (2014).

Estas tasas de crecimiento del 2007-2050 se utilizarán como choques en dos tasas de impuesto. En primer lugar, se aplicará un choque al impuesto a la producción (rTO), el cual corresponderá a la tasa de crecimiento de la gasolina Magna que es producida en nuestro país. Por otro lado, se aplicará un choque al impuesto a las Importaciones (rTMS) igual al crecimiento en la gasolina importada Premium.

Paso 8. Definir subtotales: A continuación, se utilizará la herramienta de GTAP “SUBTOTAL”, una herramienta que permite descomponer los resultados de cada componente cuando se utiliza un experimento “multiparte”. Igualmente, el “Subtotal” permitirá observar y analizar de manera más sencilla los efectos que las distintas reformas tienen en el Bienestar Social (Bufisher, M., 2016).

Este paso consiste en definir nuevamente las variables que se están modificando y agregarlas en un solo nombre en la ventana de Subtotal que se encuentra en la página de Experimentos. En este caso, rTO (ENE, MEX) y rTMS(ENE,MEX) se incluirán en un subtotal denominado “Reforma Energética”.

Paso 9. Correr modelo TAX2050 y comparar resultados: Estos cambios en la política mexicana se incluirán a las proyecciones anteriormente mencionadas en el experimento TAX2050: México 2050 con Cambio Climático y aumento en Impuestos Ambientales. Se reportarán los resultados de las variables anteriormente registradas para el experimento BASE3. La diferencia de los valores en los modelos muestra el efecto neto de los impuestos ambientales en la economía de 2050.

2.3. Pruebas de Hipótesis

En cada escenario se aplican múltiples choques que ejemplifican las tendencias de crecimiento, los efectos del Cambio Climático y los cambios en políticas públicas. Tanto la aplicación correcta de los choques, como la significancia de los resultados al correr cada escenario permitirá probar la Hipótesis Principal: Los Modelos de Equilibrio General Computado son de gran importancia y utilidad para analizar problemáticas con múltiples orígenes y efectos, como son los temas relacionados con cuestiones del medio ambiente de un país.

Continuando con la siguiente Hipótesis, en el Marco Teórico se revisaron los elementos básicos de un Modelo de Equilibrio General Computado. La aplicación de estos conocimientos y la modelación exitosa de los escenarios descritos anteriormente permitirán aceptar la Hipótesis 1: Estudiar los elementos principales, así como la

modelación de escenarios sencillos de Equilibrio General Computado, es de suma importancia para tener un primer acercamiento y aprovechar todas las herramientas analíticas que esta metodología ofrece.

Para probar la Hipótesis 2: Los efectos del Cambio Climático, como una disminución de la productividad de ciertos factores de producción, tiene impactos significativos en el rendimiento de la economía mexicana en el 2050. Como primer paso se correrá el modelo base para tener un marco de referencia y se anotarán los resultados de las variables de la Tabla 3.2 para ambas regiones y que serán observadas a lo largo de la investigación:

Estas variables darán una idea generalizada de cómo se comportará el sector agrícola en México y en el Resto del Mundo en 2050. A continuación, se correrá el escenario 1 considerando los efectos del Cambio Climático, los resultados de las variables anteriormente mencionadas mostrarán el escenario de México en 2050 considerando efectos del Cambio Climático. Al comparar los resultados obtenidos entre el modelo base y el escenario 1, se podrá determinar si existe ganancia o pérdida en la economía considerando los efectos del Cambio Climático en la Agricultura.

Finalmente, se agregarán los efectos de la productividad para obtener el Escenario 2 y se registrarán los resultados como en el Escenario base y el Escenario 1. La resta de los resultados del escenario 2 y el Escenario base mostrará las ganancias y/o pérdidas netas ocasionadas por el Cambio Climático en el 2050. Por otro lado, la resta de los resultados del escenario 2 y el Escenario 1 mostrará el impacto neto de una pérdida de productividad en la economía mexicana y en ROW (resto del mundo).

Para aceptar la hipótesis 2, se espera el siguiente comportamiento de las variables observadas (Tabla 2.7)

Tabla 2.7

Signos esperados en escenario 1 (variante 2)

Variable	Signo Esperado	Variable	Signo Esperado
PIB real (qgdp)	-	Exportaciones Agrícolas (qxw)	-
Producción Agrícola (qo)	-	Importaciones Agrícolas (qiw)	+
Precio al Productor sector agrícola (ps)	+	% de importaciones en el consumo agrícola (qiw-qpd)	+
Consumo Privado sector agrícola (qpd)	-	% de exportaciones en la producción agrícola (qxw-qo)	-
Precio al consumidor sector agrícola (pp)	+		

Fuente: Elaboración propia.

La reducción en la productividad de la Tierra y la Mano de Obra, utilizados como choques en este Modelo provocará la que la Producción Agrícola disminuya y por tanto el PIB real de la economía disminuirá también en cierta medida. Al aumentar la demanda de los productores por el uso de Tierra, este factor de producción aumentará de valor provocando un aumento en el Precio al productor agrícola. El aumento de los precios de los productores generalmente se transfiere al consumidor, en este modelo se espera que el Precio al consumidor de productos agrícolas también aumente y, consistentes con la Teoría Económica Clásica, a mayor precio menor demanda, lo que se traduce en una disminución del Consumo Privado Agrícola.

Por otro lado, al haber menor producción, las exportaciones también disminuirán. Para poder suministrar la demanda total de productos agrícolas, dada una reducción en la producción doméstica, las importaciones aumentarán. Por lo tanto, el porcentaje de las

importaciones en el consumo privado de productos agrícolas aumentará, mientras que el porcentaje de las exportaciones en la producción agrícola disminuirá.

Por último, se utilizará el Modelo 2 para probar la tercera hipótesis, la aplicación de reformas en el sector energético tendría efectos importantes en el Bienestar Social y en la economía mexicana en general del 2050.

Gracias a la nueva agregación de la matriz MEX-E3x3, se puede observar de manera más detallada el comportamiento del sector energético, mientras que se mantienen los choques con las proyecciones estimadas para obtener el escenario de México en 2050. Al estar separado el sector energético es posible aplicar choques en la estructura de los precios o en la producción.

Además de la comparación de las variables mencionadas en el Modelo 2 el programa RunGTAP incluye una herramienta que descompone el efecto equivalente de la variación (EV) de un shock económico.

La utilidad desagrega el efecto total en seis componentes: 1) Efectos en la asignación eficiente de recursos (es decir, la carga de los impuestos), 2) Efectos en el suministro debido a cambios en la oferta de factores, 3) Cambio técnico debido a ganancias o pérdidas en la productividad, 4) Efectos del crecimiento de la población, 5) Cambios en los términos del comercio para bienes, ahorro y flujos de inversión, 6) Cambios en las preferencias, refiriéndose a los cambios en la estructura de la demanda agregada.

Se utilizará esta herramienta para observar los efectos que tiene la reforma energética en los seis componentes previamente mencionados. Debido a la gran dependencia de

México a los energéticos derivados del petróleo, se espera una gran variación causada por esta reforma. De ser así se aceptaría la hipótesis 3.

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1. Modelo 1 (variante 1)

En la Tabla 3.1 se muestran los resultados del Modelo 1 (variante 1), el cual cuenta con dos escenarios: Escenario base: sin Cambio Climático, Escenario 1: con Cambio Climático. En las columnas sombreadas con gris (III y VI) se pueden observar las comparaciones entre los diferentes escenarios. Todos los resultados se presentan en cambios porcentuales.

Recordemos que estos ejercicios son una muestra inicial de cómo aplicar la metodología y componentes básicos de un modelo de Equilibrio General Computado. Debido a la sencillez de los modelos aquí presentados y a los supuestos utilizados, la magnitud del efecto puede ser exagerado, por lo tanto, el análisis de los resultados se enfocará en la tendencia del efecto (creciente o decreciente) y no en las cantidades.

El lector puede impresionarse al observar tantos resultados sobre tantas variables y modelos, sin embargo, es importante mencionar que los datos que nos interesan son las tendencias temporales de las variables y los efectos netos o las diferencias entre modelos. El análisis de las condiciones de cada escenario, aunque es sumamente interesante, se dejará a un lado con la finalidad de no confundir al lector con tantos datos.

Tabla 3.1

Efectos económicos del Cambio Climático (cambio porcentual)

	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.
	SIN Cambio Climático	Con Cambio Climático	Efecto del Cambio Climático	SIN Cambio Climático	Con Cambio Climático	Efecto del Cambio Climático
PIB real (qgdp)	284.55	283.01	-1.54	306.55	304.82	-1.73
Producción Agrícola (qo)	79.15	77.61	-1.54	56.68	56.2	-0.48
Precio al Productor sector agrícola (ps)	-49.82	-41.46	8.36	-49.85	-42.46	7.39
Consumo Privado sector agrícola (qpd)	73.42	67.3	-6.12	77.53	72.6	-4.93
Precio al consumidor sector agrícola (pp)	-49.83	-41.59	8.24	-49.86	-42.55	7.31
Exportaciones Agrícolas (qxw)	59.35	68.92	9.57	58.59	62.2	3.61
Importaciones Agrícolas (qiw)	88.89	100.54	11.65	57.91	61.49	3.58
% de importaciones en el consumo agrícola (qiw-qpd)	14.47	33.24	17.77	-19.62	-11.11	8.51
% de exportaciones en la producción agrícola (qxw-qo)	-19.8	-8.69	11.11	1.91	6	4.09

Fuente: Elaboración propia a partir de resultados del modelo GTAP v.8.1 base de datos MEX 3x3.

Como se mencionó en el Marco Metodológico, se aplicaron los efectos proyectados de un aumento del 11% en el uso intensivo de la tierra y, por otro lado, una disminución del -11% en la producción de los campos agrícolas (Tabla 3.1). Podemos observar que estos efectos causarán una baja en el crecimiento del PIB real cerca del 2%, tanto en México ($283.01-284.55 = -1.54\%$) como en el Resto del Mundo ($304.82-306.5 = -1.73\%$). Por otro lado, aunque la tendencia temporal de esta variable va en aumento, la

producción agrícola también se verá mermada por el Cambio Climático, en MEX por -1.54% y en ROW por -0.48%. Las Figuras 3.1 y 3.2 permiten observar con mayor facilidad el comportamiento del PIB real en ambas regiones.

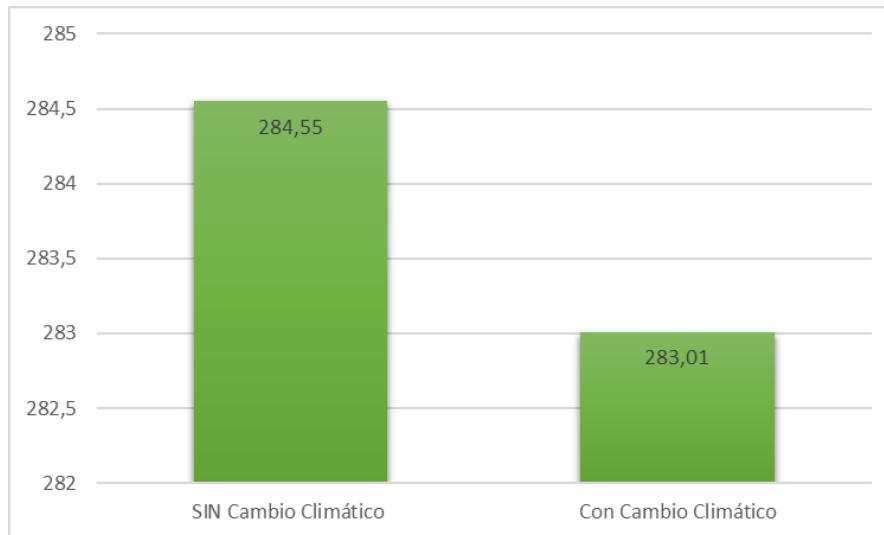


Figura 3.1. PIB real (qgdp) MEX 2050 (cambio porcentual). Elaboración propia a partir de resultados del modelo GTAP v.8.1 base de datos MEX 3x3.

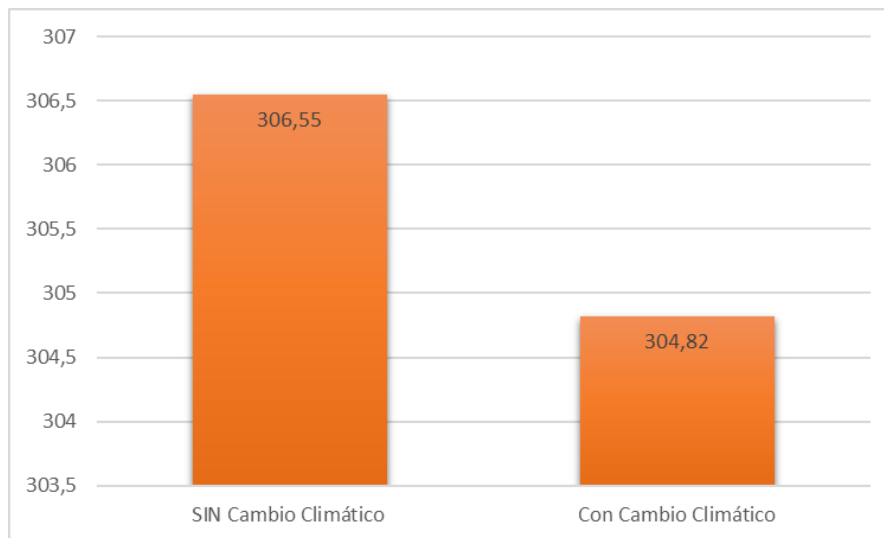


Figura 3.2 PIB real (qgdp) ROW 2050 (cambio porcentual). Elaboración propia a partir de resultados del modelo GTAP v.8.1 base de datos MEX 3x3.

En general, para el 2050 los precios al productor y al consumidor se reducirán en ambas regiones. Sin embargo, los precios serán mayores en el escenario con Cambio

Climático. Los precios al productor en este escenario será aproximadamente de 8.4% mayores en MEX y 7.4% en el ROW en comparación con el escenario base.

En la siguiente Figura 3.3 se alarga el análisis del sector agrícola, se muestra en el eje X la tierra arable disponible y en el eje Y el precio o la renta.

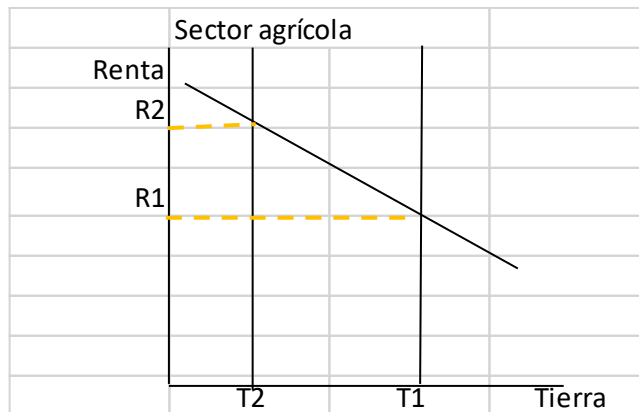


Figura 3.3 Análisis parcial del sector agrícola. Elaboración propia a partir de resultados de GTAPv.8 base de datos MEX3x3-E.

Originalmente el punto de equilibrio se encuentra en $(T1, R1)$. Gracias al Cambio Climático se puede observar que la reducción en la disponibilidad y el aumento intensivo de la tierra la provoca disminución de la disponibilidad de tierra arable. Por lo tanto, la curva de la tierra se desplaza a la izquierda en el punto $T2$, obteniendo un nuevo punto de equilibrio donde la renta de la tierra arable es más alta $(T2, R2)$. Este comportamiento va de acuerdo con la Ley de la Oferta y la Demanda, que estipula que, al reducirse la oferta de un bien, el precio de este bien tiende a subir.

Por otro lado, en condiciones con Cambio Climático se puede observar que los precios al consumidor serán superiores en México (8.3%) y en ROW (7.3%), mientras que el consumo disminuirá (MEX -6. %, ROW-5%).

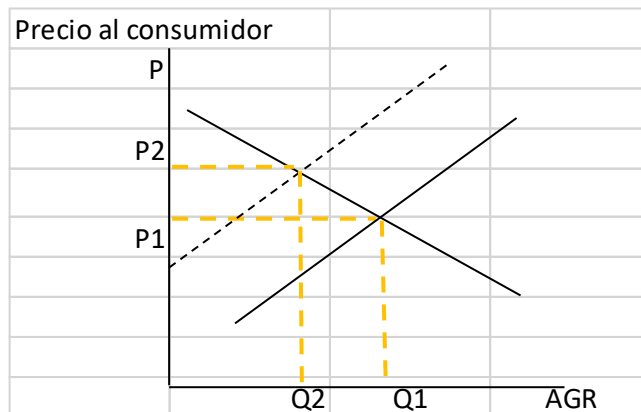


Figura 3.4 Análisis parcial del precio al consumidor. Elaboración propia a partir de resultados de GTAPv.8 base de datos MEX3x3-E.

La Figura 4.2. muestra de manera visual el comportamiento de la curva de oferta y demanda en el sector agrícola. El eje X muestra la cantidad de productos agrícolas demandados y el eje Y muestra todos los niveles de precios.

El equilibrio original se encuentra en $(Q1, P1)$. La reducción en la producción ocasionada por el Cambio Climático provoca que la curva de oferta se desplace a la izquierda, el nuevo punto de equilibrio se encuentra en $(Q2, P2)$. Como se puede observar, el nuevo punto de equilibrio se consumen menos productos agrícolas a un mayor precio.

Al aumentar los precios de los productos agrícolas, la capacidad de compra de consumidores disminuye y, por tanto, también se modifica el consumo. En pocas palabras, se puede observar que los efectos del Cambio Climático disminuyen tanto las capacidades de producción y de consumo de los agentes económicos.

Respecto al comercio exterior, en ambas regiones las exportaciones y las importaciones aumentarán. Se puede observar que, en el caso de México, la región que más nos interesa, el Cambio Climático provocará un aumento en las exportaciones 9,6% lo que coincide en el aumento en el porcentaje de exportaciones en la producción agrícola.

Por otro lado, se puede visualizar un incremento en las importaciones de casi 12%, éste comportamiento es consistente con el aumento en el porcentaje de importaciones en el consumo agrícola, el cual tiene un aumento del 18%. A continuación, la Figura 3.5 y 3.6 muestran el comportamiento de México con respecto al comercio exterior.

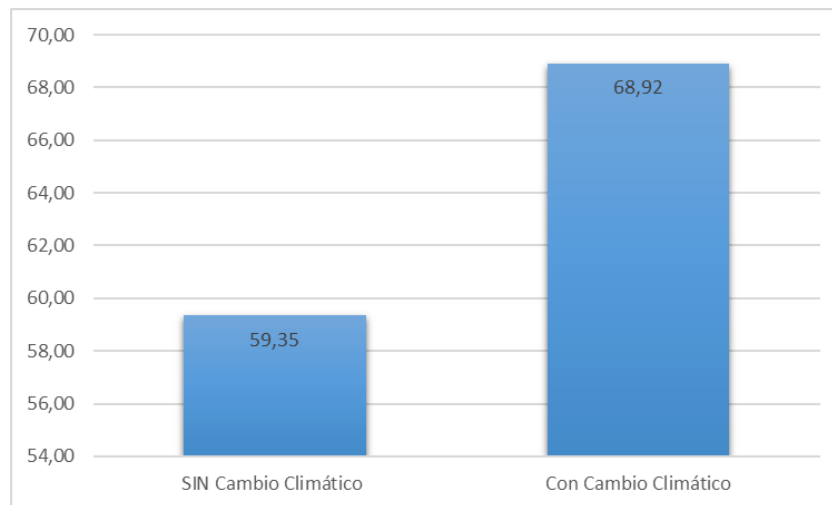


Figura 3.5. Exportaciones Agrícolas (qxw) (cambio porcentual). Elaboración propia a partir de resultados del modelo GTAP v.8.1 base de datos MEX 3x3.

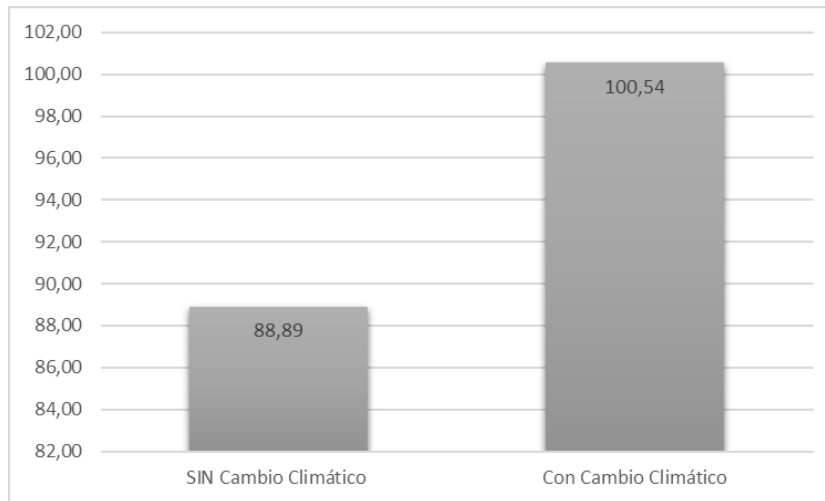


Figura 3.6. Importaciones Agrícolas (qiw) MEX (cambio porcentual). Elaboración propia a partir de resultados del modelo GTAP v.8.1 base de datos MEX 3x3.

En seguida se presentan los resultados del Modelo 1 (variante 2), en el cual se añade un efecto más del Cambio Climático: una reducción en la productividad de la mano de obra.

3.1.2. Modelo 1 (variante 2)

En el Modelo 1 (variante 2) se añade un impacto negativo en la productividad de la Mano de obra para México y para el Resto del Mundo de -1.15% y -2% respectivamente. Esta reducción se deberá al aumento de la temperatura en la tierra que evitará un desarrollo normal de las actividades de los trabajadores en general.

En la Tabla 3.2 se muestran los resultados de los 3 escenarios, en las columnas IV y VIII se pueden apreciar las diferencias entre el Modelo 1 (variante 1) y el Modelo 1 (variante 2), para México y el Resto del Mundo esto con la finalidad de observar en cuánto contribuye este efecto del Cambio Climático en la economía.

Tabla 3.2

Efectos económicos del Cambio Climático 2050 (cambio porcentual)

	México				ROW			
	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.
	SIN Cambio Climático	Con Cambio Climático	Con efectos en Productividad	Efecto CC con productividad	SIN Cambio Climático	Con Cambio Climático	Con efectos en Productividad	Efecto CC con productividad
PIB real (qgdp)	284.55	283.01	281.67	-1.34	306.55	304.82	300.36	-4.46
Producción Agrícola (qo)	79.15	77.61	77.09	-0.52	56.68	56.2	55.09	-1.11
Precio al Productor sector agrícola (ps)	-49.82	-41.46	-40.99	0.47	-49.85	-42.46	-42.01	0.45
Consumo Privado sector agrícola (qpd)	73.42	67.3	67.18	-0.12	77.53	72.6	72.28	-0.32
Precio al consumidor sector agrícola (pp)	-49.83	-41.59	-41.11	0.48	-49.86	-42.55	-42.11	0.44
Exportaciones Agrícolas (qxw)	59.35	68.92	66.9	-2.02	58.59	62.2	60.95	-1.25
Importaciones Agrícolas (qiw)	88.89	100.54	100.19	0.35	57.91	61.49	60.2	-1.29
% de importaciones en el consumo agrícola (qiw-qpd)	14.47	33.24	33.01	0.23	-19.62	-11.11	-12.08	-0.97
% de exportaciones en la producción agrícola (qxw-qo)	-19.8	-8.69	-10.19	-1.5	1.91	6	5.86	-0.14

Fuente: Elaboración propia a partir de resultados del modelo GTAP v.8.1 base de datos MEX 3x3 (cambio porcentual).

La reducción en la productividad de la Mano de Obra a nivel mundial tendrá un impacto negativo en el crecimiento PIB real. De acuerdo al modelo, al incluir únicamente este efecto el PIB se verá reducido en México en -1.34% y para el Resto del mundo de -4.46%. En la Figuras 3.7 y 3.8 se puede observar de manera más visual, la diferencia entre los crecimientos del PIB real en los tres escenarios.

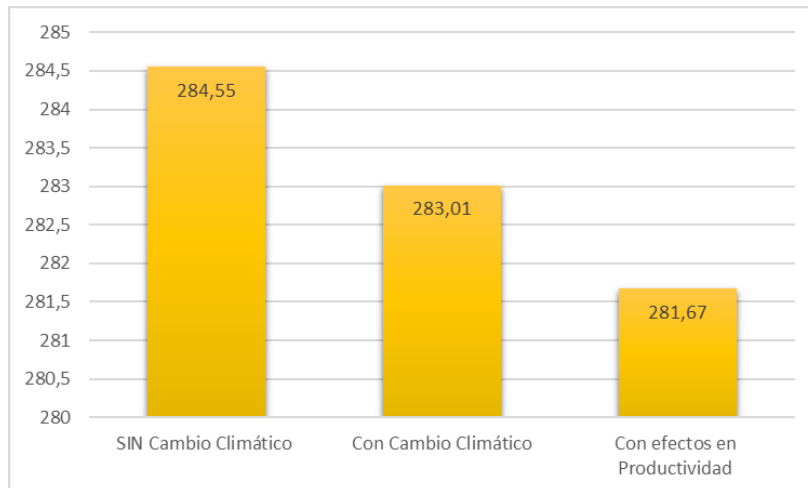


Figura 3.7. PIB real (qgdp) MEX (cambio porcentual). Elaboración propia a partir de resultados del modelo GTAP v.8.1 base de datos MEX 3x3.

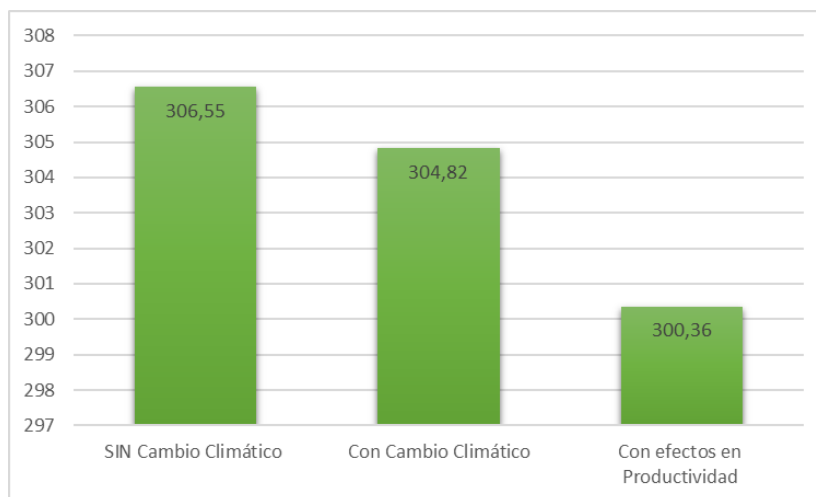


Figura 3.8. PIB real (qgdp) ROW (cambio porcentual). Elaboración propia a partir de resultados del modelo GTAP v.8.1 base de datos MEX 3x3.

Como se puede observar, en términos generales el PIB real del Resto del Mundo crecerá más en comparación con México. De igual manera se puede observar que el menor crecimiento en ambas regiones se localiza en el Modelo 1 con variante 2, es decir, el escenario en donde se añaden los efectos de la productividad. Este efecto reducirá el crecimiento económico en México en 1.34% y en ROW en -1.73%.

En la Gráficas 3.9 y 3.10 se puede observar el cambio porcentual en la producción de bienes agrícolas en ambas regiones, en los tres escenarios estudiados. Comparando únicamente las variantes del Modelo 1 (con Cambio Climático y con efectos en productividad), la producción agrícola en ambas regiones tendrá una ligera disminución, -0.052% y -1.11% en México y en ROW respectivamente.

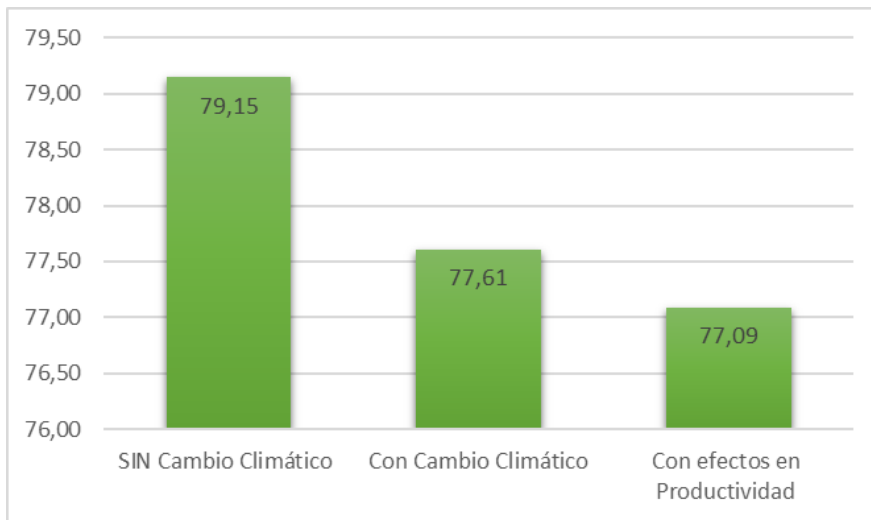


Figura 3.9. Producción Agrícola (qo) MEX (cambio porcentual). Elaboración propia a partir de resultados del modelo GTAP v.8.1 base de datos MEX 3x3

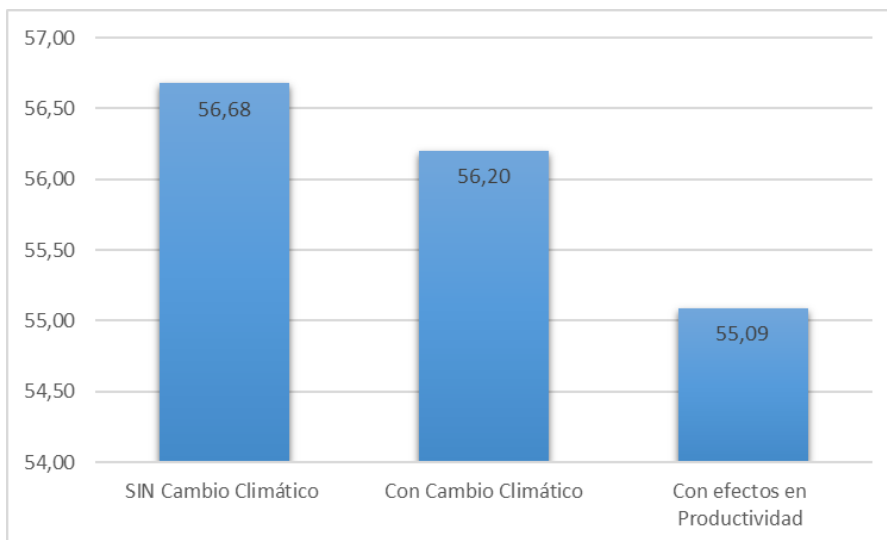


Figura 3.10. Producción Agrícola (qo) ROW (cambio porcentual). Elaboración propia a partir de resultados del modelo GTAP v.8.1 base de datos MEX 3x3.

En las Figuras 3.11. y 3.12. se pueden analizar las variaciones en los niveles de precios hacia el 2050. A primera vista se puede observar que los valores que se manejan en los tres escenarios son muy similares. Aquí se puede observar que tanto el precio al consumidor como al productor en el tercer escenario serán mayores con respecto a los escenarios previos.

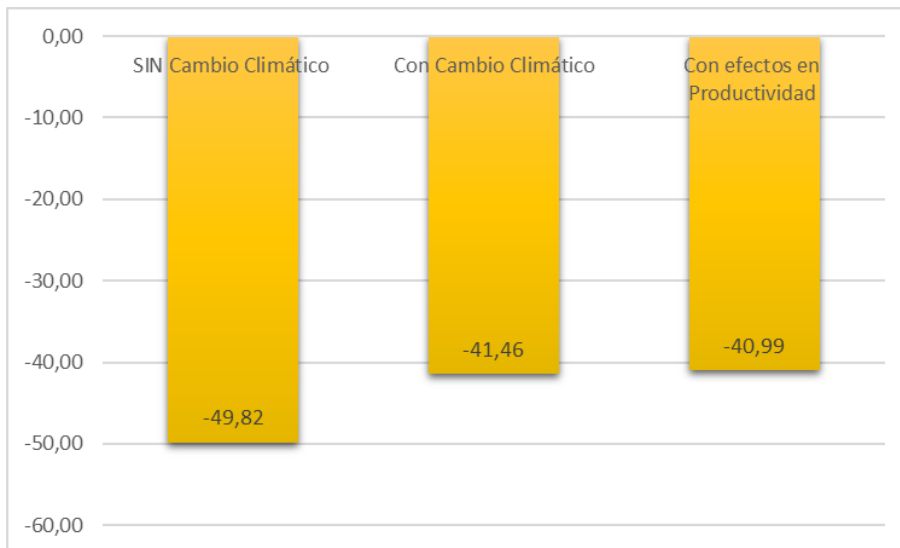


Figura 3.11. Precio al Productor Sector Agrícola (ps) MEX (cambio porcentual). Elaboración propia a partir de resultados del modelo GTAP v.8.1 base de datos MEX 3x3.

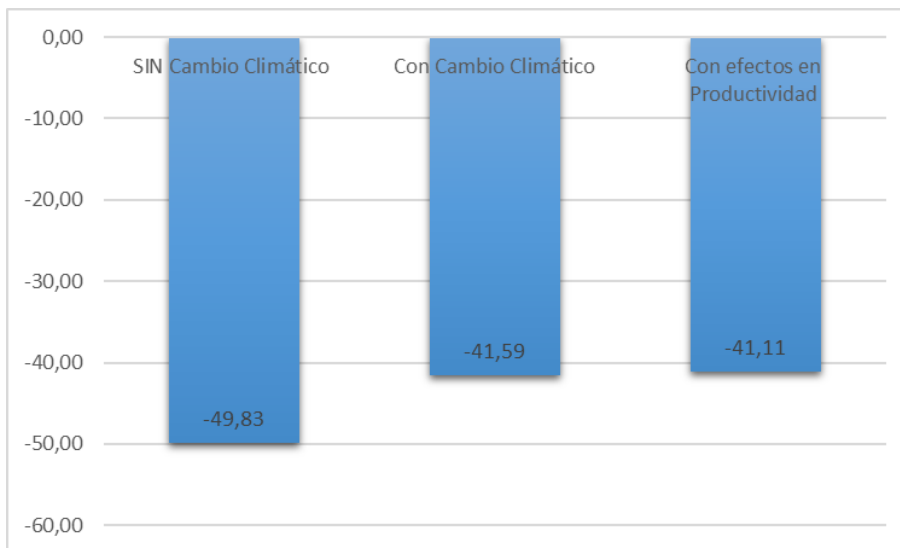


Figura 3.12. Precio al Consumidor Sector Agrícola (pp) MEX (cambio porcentual). Elaboración propia a partir de resultados del modelo GTAP v.8.1 base de datos MEX 3x3.

Debido al aumento de la producción en el sector agrícola, la tendencia a largo plazo de estos dos niveles de precio es a la baja. En el caso de México, y analizando únicamente los dos últimos escenarios, los precios, del productor y del consumidor, serán mayores poco más de 8%.

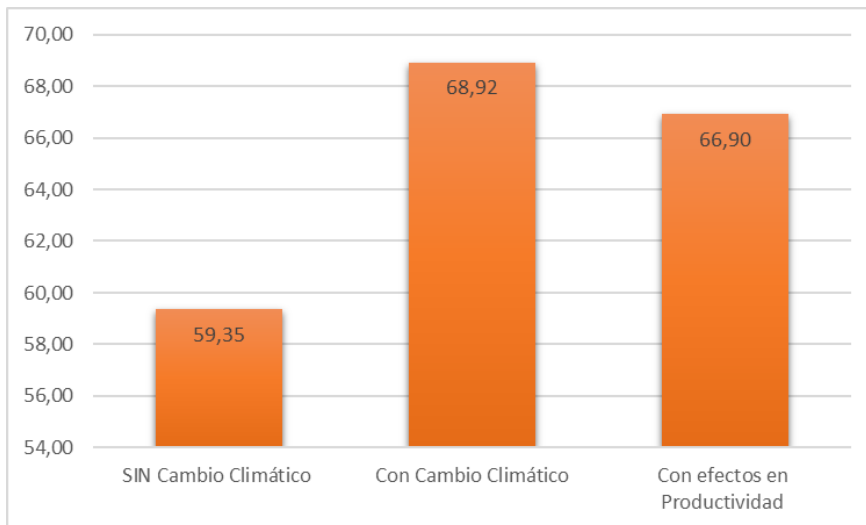


Figura 3.13. Exportaciones Agrícolas (qxw) MEX (cambio porcentual). Elaboración propia a partir de resultados del modelo GTAP v.8.1 base de datos MEX 3x3.

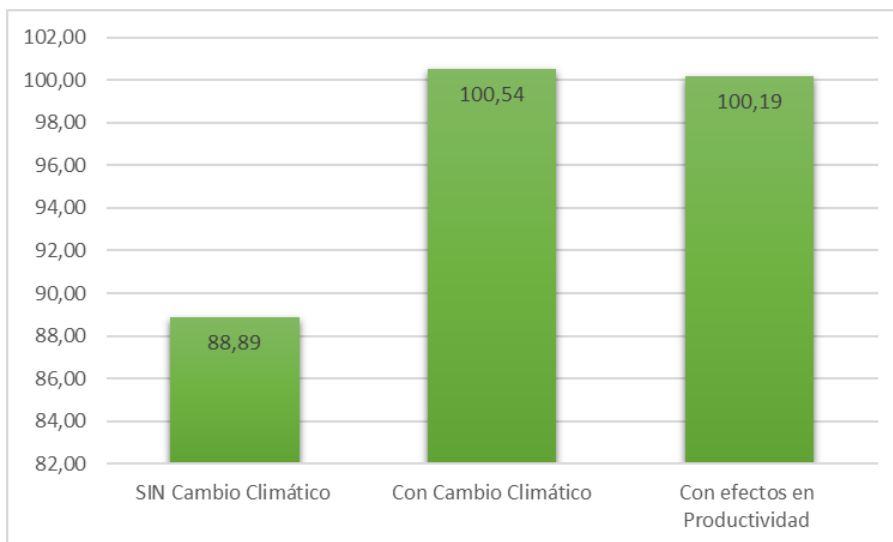


Figura 3.14. Importaciones Agrícolas (qiw) MEX (cambio porcentual). Elaboración propia a partir de resultados del modelo GTAP v.8.1 base de datos MEX 3x3.

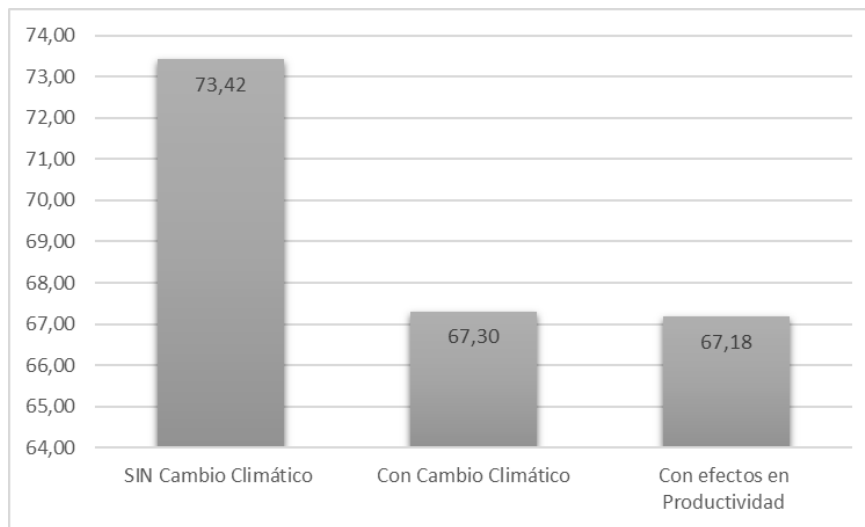


Figura 3.15. Consumo Privado Sector Agrícola (qp) MEX (cambio porcentual). Elaboración propia a partir de resultados del modelo GTAP v.8.1 base de datos MEX 3x3.

En las Gráficas 3.13 y 3.14 se puede observar una desaceleración en el crecimiento de las exportaciones e importaciones. En México, por un lado, las exportaciones crecerán en 9.57% y las importaciones 11.65%. En el Resto del Mundo, las exportaciones e importaciones crecerán sólo en un 3.6% aproximadamente.

Finalmente, en este escenario, el consumo en ambas regiones tiene una ligera disminución con respecto al Modelo 1 (variante 1). La Gráfica 3.15 muestra el caso de México, aunque el consumo privado crecerá en un 67.3% entre 2007-2050, este crecimiento será menor en un -6.12% en comparación con la variante 1. En contraste, el crecimiento del Resto del Mundo será de 72.6% que representa un -4.93% si se compara con el modelo anterior.

Análisis de sensibilidad

Como se puede observar en la Tabla 4.1, el comercio internacional y la producción cuentan con los efectos más grandes, por tanto, se puede intuir que estas variables tienen

efectos importantes como mecanismo de ajuste. En consecuencia, es necesario realizar un análisis de sensibilidad a los parámetros de las elasticidades de sustitución de factores y de sustitución de importaciones para verificar que los resultados sean correctos y relevantes.

En el *Apéndice C* se muestran las tablas y la interpretación de los resultados del análisis de sensibilidad. De acuerdo con los resultados, el signo positivo de la producción en el sector agricultura es un resultado robusto al 99% de significancia. En referencia al comercio exterior, el crecimiento de las exportaciones es un resultado robusto al 99% de significancia, mientras que el signo positivo de las importaciones cuenta con un 95% de significancia.

Gracias a estos resultados se puede concluir que tanto los signos de la producción como las importaciones son resultados sólidos en el modelo y sí funcionan como mecanismos de ajuste en la economía mexicana del 2050.

En resumen, los resultados de los escenarios con efectos del Cambio Climático muestran una reducción en el crecimiento de las economías de México y del Resto del Mundo a largo plazo. Por lo tanto, se acepta la Hipótesis 2: los efectos del Cambio Climático, como una disminución de la productividad de ciertos factores de producción, tienen impactos significativos en el rendimiento de la economía mexicana en el 2050.

3.2. Modelo 2

El Modelo 2 cuenta con una agregación diferente que en el Modelo 1. En este caso se tienen dos regiones México y en Resto del Mundo; tres sectores: Agricultura, Energía, Manufactura/Servicios y cuatro factores de producción: Tierra, Mano de Obra, Capital y Recursos Naturales. Esta agregación nos permitirá observar los cambios que se efectúan al aumentar los impuestos en uno de los sectores productivos más importantes México: el sector energético.

Tabla 3.3

Tasas de impuestos en la industria energética mexicana 2007

	Tasa base
subsidio/impuesto de producción	
$r_{to}(ENE, MEX)$	
(valor negativo = impuesto)	-16.28
Subsidio/impuesto a las exportaciones del consumo privado	
$t_{TXS}(ENE, MEX)$	
(valor negativo = subsidio)	0.0001
Subsidio/impuesto a las importaciones del consumo privado	
$r_{TMS}(ENE, MEX)$	
(valor negativo = impuesto)	0.75

Elaboración propia a partir de resultados del modelo GTAP.v8 base de datos MEX3x3-E.

Como punto de partida, la tabla 3.3 se muestra las tasas de impuesto en la industria energética mexicana en 2007. Como se puede ver, existe un impuesto en la producción de energéticos de 16.28%. Se puede inferir que este impuesto corresponde al Impuesto Especial Sobre la Producción y Servicios (IEPS), el cual entró en vigor 1980.

Por otro lado, hay un impuesto mínimo en las exportaciones en los bienes de esta industria. Esto se puede deber principalmente a que estamos analizando un país productor de petróleo, por consiguiente, intentará tener barreras de exportación mínimas en la industria con ventaja comparativa.

Finalmente, existe un subsidio de 0.75% en las importaciones del consumo privado. Esto puede deberse a que, aunque México tiene una gran capacidad exportadora de crudo, este país también importa gran cantidad de productos derivados del petróleo, como es el caso de la gasolina. A partir de estas tasas de impuestos, se aplicarán los choques de crecimiento en los impuestos de producción (rTO) e importaciones (rTMS).

La Tabla 3.4 nos muestra los resultados de dos escenarios en la nueva agregación (MEX3x3-E), la columna I y IV muestran los resultados del escenario base sin política ambiental para MEX y ROW, respectivamente. Por otra parte, en las columnas II y V se encuentran los resultados de MEX y ROW en el 2050 con política ambiental. Finalmente, la comparación de ambos escenarios se puede observar en las columnas sombreadas III y VI.

Tabla 3.4

Efectos Económicos de la Reforma Energética a 2050 (cambio porcentual 2007-2050)

	México			ROW		
	I.	II.	III.	VI.	VII.	VIII.
	2050 SIN política ambiental	2050 CON política ambiental	Efecto de Política Ambiental	2050 SIN política ambiental	2050 CON política ambiental	Efecto de Política Ambiental
PIB real (qgdp)	284.01	298.15	14.14	309	307.82	-1.18
Producción Energética (qo)	406.95	99.65	-307.30	265.3	269.34	4.04
Precio al Productor sector energético (ps)	-61.7	-30.18	31.52	-61.93	-30.04	31.89
Consumo Privado sector energético (qpd)	318.62	137.75	-180.87	269.75	370.06	100.31
Precio al consumidor sector energético (pp)	-61.72	-51.67	10.05	-39.28	-62.02	-22.74
Exportaciones sector energético (qxw)	93.98	-88.14	-182.12	104.71	109.98	5.27
Importaciones sector energético (qiw)	164.83	379.42	214.59	103.74	103.13	-0.61
% de importaciones en el consumo energético (qiw-qpd)	-153.79	241.67	395.46	-166.01	-266.93	-100.92
% de exportaciones en la producción energética (qxw-qo)	-312.97	103.92	416.89	-160.59	-159.36	1.23

Elaboración propia a partir de resultados de GTAPv.8 base de datos MEX3x3-E (cambio porcentual).

Los cambios en el PIB real de 2007-2050 se pueden observar en la Figura 3.16 y 3.17, los resultados arrojan un aumento en el PIB real en México del 14.14% en el Escenario con política ambiental, mientras que el PIB en el Resto del Mundo decrecerá en -1.18%. Este aumento del PIB real en México es contrario a las expectativas de la hipótesis 3 donde se esperaba una desaceleración de esta variable.

En otro orden de ideas, la producción en el sector energético en México será sustancialmente menor en comparación con el escenario base (-307.30%). En el caso del Resto del Mundo, la producción de energía crecerá en 4.04%.

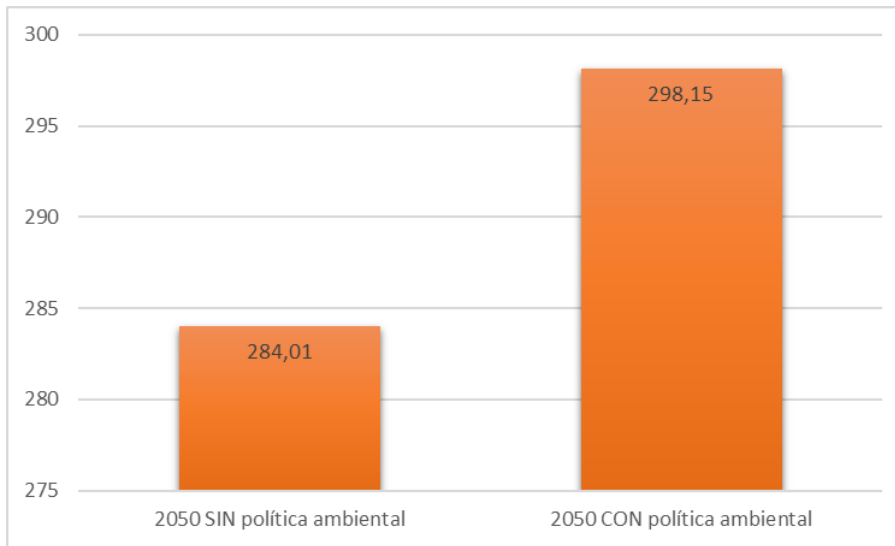


Figura 3.16. PIB real (qgdp) MEX (cambio porcentual). Elaboración propia a partir de resultados de GTAPv.8, base de datos MEX3x3-E.

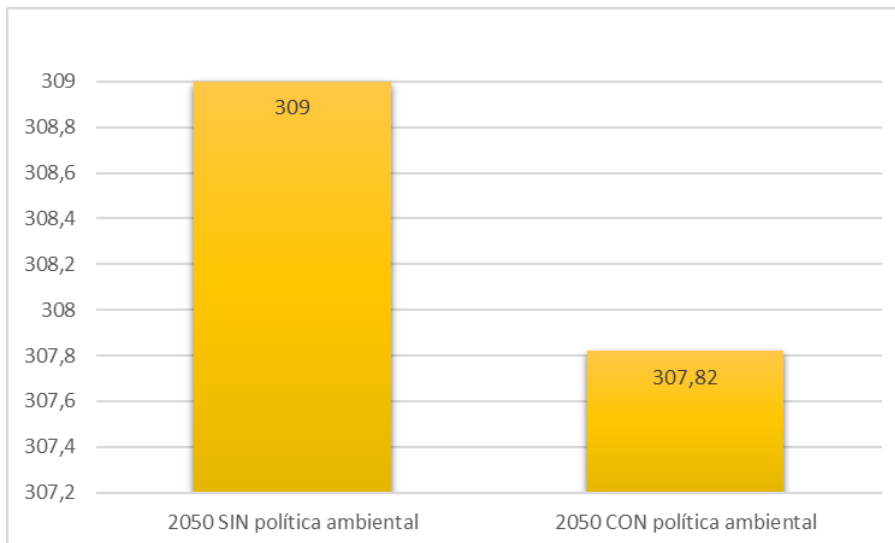


Figura 3.17. PIB real (qgdp) ROW (cambio porcentual). Elaboración propia a partir de resultados de GTAPv.8, base de datos MEX3x3-E.

En el escenario con Política Ambiental, se puede observar que producir energéticos será más costoso, aproximadamente 31.5% más que en el escenario sin política ambiental. Es importante recordar que se aplicó un aumento progresivo del impuesto en la producción de energéticos, el cual impacta directamente al precio del productor. La diferencia entre los escenarios se puede ver de manera gráfica en la tabla 4.18.

El aumento de los precios al productor generalmente se refleja en un aumento en los precios al consumidor, el cual carga indirectamente el impuesto de la producción (Bufisher, M., 2016). Del mismo modo, no hay que olvidar que en este escenario también se está incrementando el impuesto a las importaciones energéticas, el cual también puede ser transferido en cierta medida al consumidor. Finalmente, se debe recordar, que para el escenario base se aplicó un aumento en la demanda de energía la cual, aumenta más en México que en el resto del mundo. De acuerdo con la teoría económica, si aumenta la demanda también aumentará el precio.

En resumen, en este escenario se está impactando de manera indirecta y desde tres flancos distintos (producción, importaciones y demanda de energía) al precio al consumidor. En la tabla 4.19 se puede observar que la tendencia de los precios es decreciente. Es decir, que en 2050 los precios de los energéticos, en general, serán más baratos. Sin embargo, en el escenario con política ambiental los precios al consumo privado serán 10.05% más altos si se aplica la política ambiental.

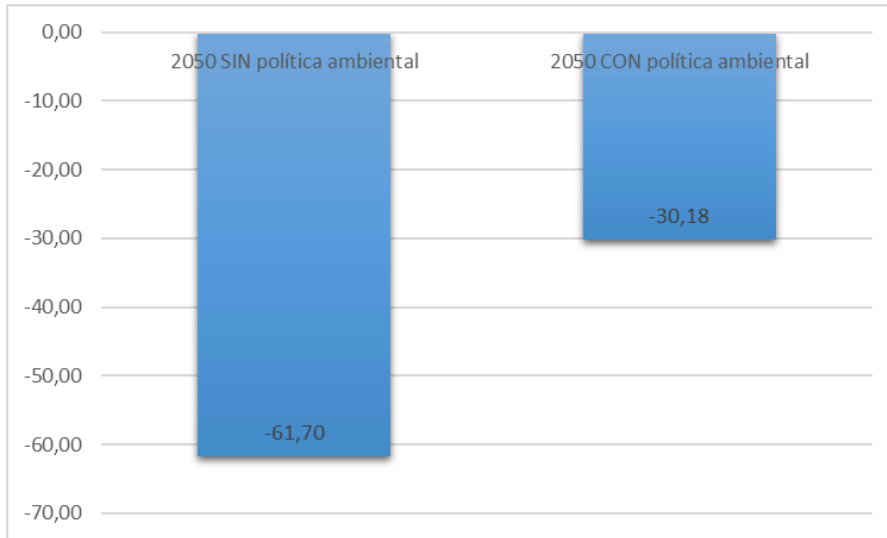


Figura 3.18. Precio al Productor (ps) MEX (cambio porcentual). Elaboración propia a partir de resultados de GTAPv.8, base de datos MEX3x3-E.

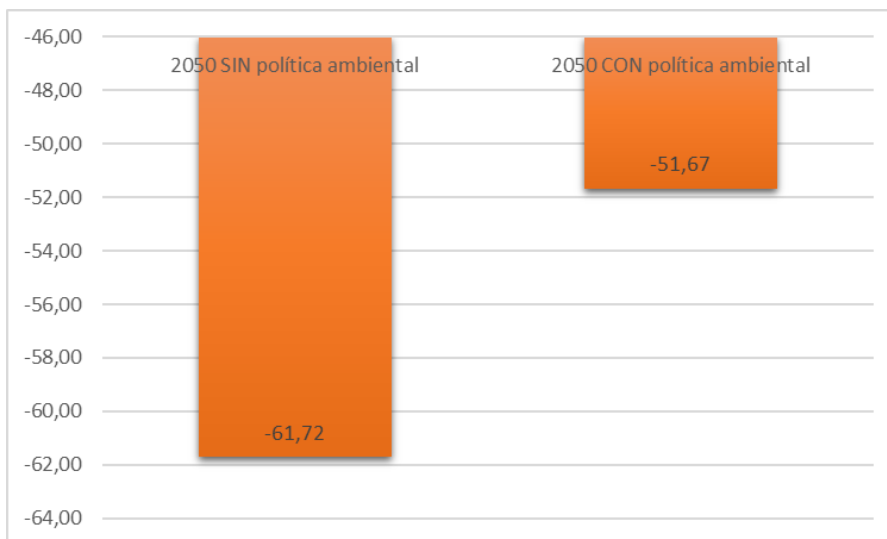


Figura 3.19. Precio al consumidor (pp) MEX (cambio porcentual). Elaboración propia a partir de resultados de GTAPv.8, base de datos MEX3x3-E.

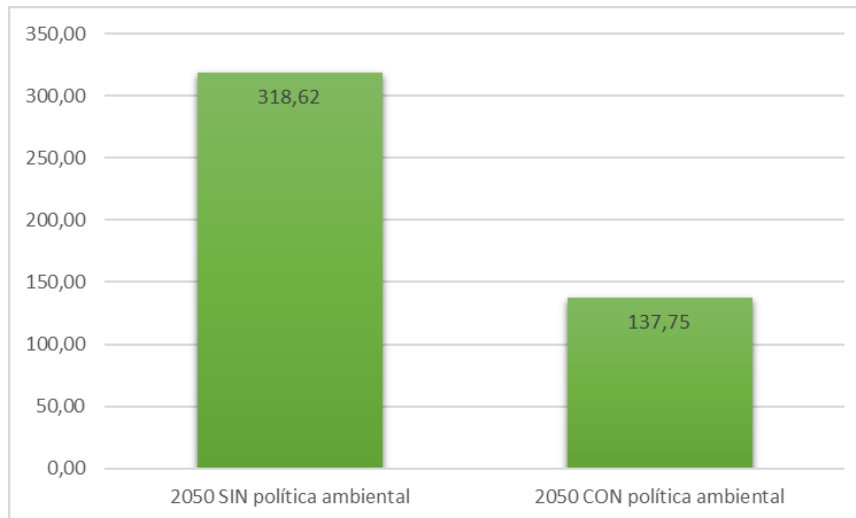


Figura 3.20. Consumo Privado (qpD) MEX (cambio porcentual). Elaboración propia a partir de resultados de GTAPv.8, base de datos MEX3x3-E.

El aumento en los precios de los energéticos provocará una disminución significativa en el consumo privado (-181%), lo cual cumple con el objetivo principal de un impuesto ambiental: modificar la demanda del bien contaminante.

Por otro lado, el comercio internacional presenta cambios significativos en el escenario con Política Ambiental, las exportaciones en este escenario se reducirán en -182% aproximadamente, en contraste, las importaciones incrementarán en 215%. Estos cambios se pueden observar de manera más sencilla en la Tabla 4.7.

3.2.1. Análisis de bienestar social

Para completar el análisis, es importante realizar pruebas para conocer los efectos que este cambio en política tiene en el bienestar social. También, es importante recordar que tanto el escenario base como el escenario 1 cuentan con efectos del Cambio Climático, por lo tanto, se deben diferenciar los efectos que el Cambio Climático y la reforma energética. Los resultados del análisis de Bienestar Social se pueden encontrar en el *Apéndice C*.

De acuerdo con los resultados, los ingresos del gobierno aumentaron en poco más de 9 mil millones de dólares. El costo de bienestar por dólar adicional de ingresos fiscales es una pérdida de casi \$3 dólares (292.17 centavos), esto significa que el costo marginal es tres veces mayor que los recursos públicos adquiridos. En otras palabras, existe una pérdida de eficiencia en la economía es de 292 centavos al aplicar esta política pública (Bufisher, M, 2016).

Esta cifra es muy importante, ya que muestra la factibilidad de que una propuesta como esta sea aceptada considerando el retorno que deberían tener los proyectos sociales del gobierno. En este caso, esta pérdida marginal le indica al gobierno que el o los proyectos sociales que se deriven de estos ingresos deben regresar por lo menos 392.17% más que su costo total o el Bienestar Social se reducirá.

Al separar los efectos del Cambio Climático y la política pública, se puede observar que ambos choques tienen un efecto negativo en el Bienestar Social de México. El Cambio Climático tendría un efecto de -7,197.81 millones de dólares. No obstante, la política ambiental tiene un mayor impacto que el Cambio Climático. Esta reducción será aproximadamente de -16,417 millones de dólares (9,220 millones de dólares más que el Cambio Climático). Sin embargo, en general, el Bienestar Social en 2050 aumentará.

De acuerdo a los resultados, el aumento del bienestar social se deberá principalmente por los cambios técnicos. El cambio técnico describe el cambio en la cantidad producida utilizando los mismos insumos. Este cambio muchas veces puede estar relacionado con el cambio tecnológico. Sin embargo, es importante mencionar que cambio técnico no

necesariamente es tecnológico, ya que se puede deber a cambios organizacionales, en la regulación, en los precios o en las cantidades de insumo.

Análisis de Sensibilidad

Los análisis de sensibilidad realizados (*Apéndice C*) para las variables de Variación Equivalente y del PIB real, muestra que el signo positivo en ambos resultados es confiable al 99% de significancia. Por lo tanto, se corrobora que Bienestar Social en general aumentará en México en 2050.

Los resultados del Modelo 2 muestran una tendencia positiva en el PIB real y en el Bienestar Social en un escenario con Cambio Climático e Impuestos Ambientales. Esto indica que las condiciones de vida para los mexicanos serán mejores en 2050. Sin embargo, no hay que olvidar que este aumento se deberá principalmente por el cambio técnico. Por otro lado, existe evidencia de que tanto el Cambio Climático, como la aplicación de la Política Ambiental impactan negativamente en el Bienestar Social. Es importante mencionar que el aumento generalizado en 2050 no compensa los efectos negativos, sino que, a pesar de estos efectos negativos las condiciones de vida serán mejores en general.

En conclusión, debido a que en la hipótesis 3 se espera una reducción de las variables del PIB real y Bienestar Social, y debido a que sólo hay evidencia de que el Bienestar Social disminuye, se decide aceptar parcialmente la hipótesis 3.

3.3. Limitantes del Estudio

En esta tesis se introdujeron los elementos básicos de la creación de un Modelo de Equilibrio General Computado con un escenario de referencia y dos experimentos

contractuales inspirados en el estudio de Nelson, G. et al. (2014) y Bufisher, M. (2016). Sin embargo, está altamente modificado y hay diferencias importantes entre este estudio y los análisis de AgMIP.

En primer lugar, algunos modelos de AgMIP asumen un suministro de Tierra endógena, que permite que el área de cultivo se expanda y los precios de los cultivos aumenten, sin embargo, estos cambios de área no son los mismos en todas partes.

Este modelo de Equilibrio General asume un suministro de tierra fijo, y se impone un shock generalizado de un aumento global del 11% en el área agrícola en 2050 reportado por los modelos AgMIP en ambas regiones (MEX y ROW).

Además, algunos modelos de AgMIP consideran las prácticas de manejo intensificadas de los agricultores, los cuales proyectan un descenso medio del rendimiento de cultivos globales de 17%. Debido a que este modelo no tiene en cuenta las respuestas de rendimiento endógeno, el experimento de Cambio Climático solamente impone el cambio de rendimiento medio para el cultivo de -11% en 2050 reportado por los modelos AgMIP.

Además, la base datos MEX3x3 tiene un único sector agrícola. Imponer el experimento sobre el Cambio Climático en la agricultura total en cada región, en lugar de sólo en los cultivos, puede exagerar los impactos de la economía sobre el impacto del Cambio Climático.

Por otro lado, el modelo GTAP-E en el que se inspiró para realizar el Modelo 2, es un modelo dinámico que considera 8 sectores productivos y 5 factores de producción, este

modelo puede medir el comportamiento de las emisiones de CO₂, y permite la sustitución de energías contaminantes a energías amigables con el Medio Ambiente.

El modelo MEX-E3x3, tiene diferencias sustanciales con el modelo GTAP-E, en primer lugar, debido a que el sector energético está mucho más agregado que en GTAP-E, los resultados provocados por un aumento en los impuestos ambientales en este sector son más exagerados, como los cambios en la producción, precios y en los términos de comercio. Del mismo modo, el análisis está limitado en este modelo debido a que no considera la sustitución de energías y las emisiones de CO₂.

Al mismo tiempo, para todos los modelos, el Resto del Mundo es una única región sumamente agregada, de modo que el papel del comercio en provocar cambios en oferta y demanda de alimentos no se puede explorar completamente.

A pesar de todas las limitantes de estos modelos, esta investigación es un buen primer acercamiento al Modelo de Equilibrio General aplicado a las problemáticas del medio ambiente y a los programas utilizados para crear y analizar dichos modelos de manera computada. Por lo tanto, se acepta la Hipótesis 1: Estudiar los elementos principales, así como la modelación de escenarios sencillos de Equilibrio General Computado, es de suma importancia para tener un primer acercamiento y aprovechar todas las herramientas analíticas que esta metodología ofrece.

Del mismo modo, también es buen primer acercamiento para analizar la relación de las cuestiones del medio ambiente, como los efectos climáticos y el crecimiento económico de México, o el comportamiento económico de este país al aplicar ciertas medidas para combatir esta problemática. Gracias a este estudio, se puede aceptar la

Hipótesis Principal: Los Modelos de Equilibrio General Computado son de gran importancia y utilidad para analizar problemáticas con múltiples orígenes y efectos, como son los temas relacionados con cuestiones del medio ambiente de un país.

CONCLUSIONES

En resumen, en el Modelo 1 nos muestra que los efectos del Cambio Climático tienen efectos negativos y significativos en el rendimiento de las economías del mundo. Se puede observar que para 2050 las economías de ambas regiones frenan su crecimiento. En México en un -1.34 % y en el Resto del Mundo -6.19 %. A pesar de que en ambas regiones se aumenta el uso intensivo de la tierra, la producción agrícola disminuye debido a la reducción de la productividad en los campos de cultivo.

Por otra parte, los precios en el sector agrícola en ambas regiones, tanto para el productor como el consumidor, aumentan. En México, por ejemplo, aumentarán aproximadamente en 8.8%. El aumento de los precios en este sector está directamente relacionado con los shocks del Cambio Climático que se incluyeron en el modelo: el uso intensivo de la tierra y la disminución de la productividad en los cultivos.

Por otro lado, el precio al consumidor en el sector agrícola (pp) será mayor 8.24% en el escenario con Cambio Climático. Este aumento provocará una disminución en el consumo privado del sector agrícola. (-6.12%) para MEX y (-4.93%) en ROW. Resumiendo, tanto el aumento de los precios como en la disminución del consumo serán acentuados por el Cambio Climático.

Al aumentar los precios de los productos agrícolas, la capacidad de compra de consumidores disminuye y, por tanto, también se modifica el consumo. En pocas palabras, se puede observar que los efectos del Cambio Climático disminuyen tanto las capacidades de producción y de consumo de los agentes económicos.

Finalmente, ambas regiones se vuelven más activas en el comercio exterior, tanto las exportaciones como las importaciones aumentan. Los resultados de sensibilidad muestran que los signos del PIB real, exportaciones e importaciones son resultados robustos, por lo tanto, fungen como mecanismos de ajuste con las nuevas condiciones del Cambio Climático.

En conclusión, podemos observar que el Cambio Climático ralentizará el crecimiento de ambas regiones para el 2050 en el sector agrícola y en PIB en general. Aunque estos efectos parecen ser pequeños, es importante recordar que sólo se han considerado tres de los muchos efectos que puede tener el Cambio Climático en una economía a largo plazo.

Dado estas observaciones sobre la reducción del PIB y la reducción de las importaciones, se acepta la Hipótesis 2: los efectos del Cambio Climático, como una disminución de la productividad de ciertos factores de producción, tiene impactos significativos en el rendimiento de la economía mexicana en el 2050.

En el Modelo 2 se pudo observar que al aplicar una política ambiental en un escenario mexicano proyectado al 2050 con efectos del Cambio Climático, tanto el PIB real como el Bienestar Social aumentarán.

El aumento de estos impuestos provocará un incremento en los precios al productor, e indirectamente a los precios del consumidor. En referencia a los precios del productor esto se traduce en una reducción en la producción del sector energético y en las importaciones.

Por parte del consumidor, este aumento reduce su capacidad de compra y a su vez, reduce la demanda de productos energéticos producidos en México, al mismo tiempo que

aumenta la demanda de productos extranjeros. A partir de estas observaciones se puede inferir que aplicar la política ambiental sí cumple con la función de modificar el comportamiento de los consumidores, reduciendo la demanda de productos contaminantes.

Respecto al comercio internacional, las exportaciones en MEX se disminuirán sustanciosamente, mientras que las importaciones aumentarán de manera significativa. El porcentaje de importaciones en el consumo energético se incrementará mucho, mientras que la producción energética destinada a exportaciones también aumentará.

Esta modificación tan grande en el comercio internacional puede deberse a la reducción tan significativa en el consumo privado de bienes domésticos. A pesar de que existe un aumento en los impuestos de producción e importaciones en productos del sector energético, podemos observar que los consumidores dejan de comprar las variedades domésticas y aumentan, de manera considerable, su consumo en las variedades importadas.

Finalmente, aunque el PIB real y el Bienestar Social aumentan en el escenario con política ambiental, existe evidencia de que el cambio climático y la política ambiental tienen efectos negativos en el Bienestar Social. Por lo tanto, se acepta parcialmente la Hipótesis 3.

La razón por la que se rechaza parcialmente esta hipótesis es debido a que no se encontró evidencia de efectos negativos en el PIB real. Una de las razones por las cuales sucedió esto puede ser porque el modelo estándar GTAP simula una economía *ideal*, donde los ingresos del gobierno son destinados exclusivamente a gasto público, como

proyectos sociales o infraestructura que aumenten el Bienestar Social de su población. Sin embargo, la corrupción es una condición del gobierno mexicano que no se está considerado y que puede afectar directamente la eficiencia del mercado y las condiciones de bienestar social. Por lo tanto, sería interesante profundizar en futuras investigaciones cómo se pueden incluir el efecto de la corrupción en un modelo de Equilibrio General Computado.

Retomando el Modelo 2, los resultados nos indica que el miedo a aumentar los impuestos ambientales por afectar la economía puede estar subestimado. Además, se pudo comprobar la eficacia de este instrumento económico, el cual tiene el fin de modificar el comportamiento de los agentes económicos. Tal vez los niveles de impuestos que se están utilizando en este ejercicio no sean los ideales para aplicarlo a todo el sector energético mexicano, o de manera progresiva como se hizo. No obstante, estos resultados pueden apoyar en la discusión de por qué aumentar los impuestos ambientales en México es una decisión acertada.

En definitiva, estos dos ejercicios son un excelente ejemplo para demostrar cómo se puede analizar la problemática del Cambio Climático bajo la metodología del Equilibrio General Computado. En este estudio se revisaron las herramientas básicas del software como la proyección de escenarios, cambios en el *Closure*, modificación en las tasas de impuestos, análisis del Bienestar Social, entre otros.

El programa GTAP fue capaz de captar los múltiples choques que se utilizaron para modelar los escenarios, al mismo tiempo que permitió un análisis minucioso sobre la estructura tributaria de nuestro país. Aunque los modelos son sumamente sencillos, estos

muestran evidencia del comportamiento de la economía en el futuro bajo condiciones de Cambio Climático y cambios en las políticas tributarias.

Se puede concluir que perfeccionar el uso de esta herramienta para modelar escenarios más complejos y mucho más acercados a la realidad puede ser de gran utilidad para avanzar en estudios ambientales, y para proponer soluciones realistas y concretas de políticas públicas para el contexto mexicano.

REFERENCIAS

- Akin, C. (201) the impact of Foreign Trade, Energy Consumption and Income in CO² emissions. *International Journal on Energy Economics and Policy*, 4 (3) pp. 466-475.
- Albarrán, E. & Langer, A. (2016) Senadores ratifican liberar precios de gasolina en 2017. *El Economista*. Publicado el 27 de octubre de 2016. Obtenido el 23 de marzo de 2017 de, <http://eleconomista.com.mx/finanzas-publicas/2016/10/27/senadores-ratifican-liberar-precios-gasolina-2017>
- Albarrán, E. (2016) En el 2017nb, IEPS a gasolina dejará más de 280,000 mdp. *El Economista*. Publicado el 20 de diciembre de 2016. Obtenido el 23 de marzo de 2017 de, <http://eleconomista.com.mx/finanzas-publicas/2016/12/20/2017-ieps-gasolina-dejara-mas-280000-mdp>
- André, Cardenete y Romero, (2010) *Designing Public Policies. An Approach Based on Multi-Criteria Analysis and Computable General Equilibrium Modeling*. Berlin: Springer.
- Angelo, A. (2013) The Implication of Economic Partnership Agreement for Africa, Caribbean and Pacific groups: A General Equilibrium Analysis. *Swedish University of Agricultural Sciences*. Department of Economics.
- Antón-Sarabia, A. & Hernández-Trillo, F. (2014) optimal gasoline tax in developing, oil-producing countries: The case of Mexico. *Energy Policy*. 67 (54). pp. 564-571.
- Arrow, K., B et al. (1996) Economic Growth, Carring Capacity, and the Environment. *Ecological Applications*. 6(1), pp. 13-15.
- Asafu-Adjaye, J (2003) Biodiversity Loss and Economic Growth: a Corss-Country Analysis. *Western Economic Association International*. 21 (2). Pp. 173-185

- Bajo, O. y Monés, M. (2000) Curso de Macroeconomía. (2da Ed.) Barcelona: Anthony Bosch Editor.
- Barker, C. (2009) ¿Sostenibilidad o sustentabilidad? *CNN Expansión*. Publicado el 24 de mayo de 2009. Obtenido el 27 de septiembre de 2016 de, <http://expansion.mx/actualidad/2009/05/22/sostenibilidad-o-sustentabilidad>
- Bastola, U. y Sapkota (2015). Relationships among energy consumption, pollution emission, and economic growth in Nepal. *Energy*, 80(10), pp. 254–262.
- Baumol, (1972) On Taxation and the Control of Externalities. *American Economic Review*, 62(3) pp. 307-322.
- Behrens, W., et al. (1972) the limits of Growth, Abstract. Obtenido el 27 de junio de 2016 de, <https://ratical.org/corporations/limit2growth.html>
- British Broadcasting Corporation. (2011) the carbon and nitrogen cycles. Bitesites BBC. Obtenido el 01 de julio de 2016 de, http://www.bbc.co.uk/schools/gcsebitesize/science/add_gateway_pre_2011/greenworld/recyclingrev1.shtml
- Brock, W. A y Taylor, M.S (2004) Economic Growth and the Environment: A Review of Theory and Empirics. *National Bureau of Economic Research*. United Kingdom: Cambridge Editorial.
- Bruinsma, J. (2011) The Resources Outlook: By How Much do Land, Water and Crop Yields Need to Increase by 2050? Looking Ahead in World Food and Agriculture: Perspectives to 2050. *Food and Agriculture Organization*. Roma: In Piero Conforti, Ed

- Buchanan, J.M. (1969) External diseconomies, Corrective Taxes and Market Structure. *American Economic Review*. 59(1), pp. 1-44.
- Buflisher, M. (2016) Introduction to Computable General Equilibrium Models. (Second edition) Second Edition. London: Cambridge University Press.
- Burniaux, J. & Truong, T. (2002) GTAP-E: An Energy-Environmental Version of the GTAP Model.
- Caballero, M. Lozano, S y Ortega, B. (2007) Efecto Invernadero, Calentamiento Global y Cambio Climático: Una Perspectiva desde las Ciencias de la Tierra. Instituto de Geofísica, Instituto de Geología y Universidad Nacional Autónoma de México. *Revista Digital Universitaria*. 10(8) pp. 2-12
- Carmona, et al., (2005) El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. 18(1). s/p
- Centro de Estudios de las Fianzas Públicas (CEFP) (2016) México: Tipo de Cambio, 1998-2015 (Pesos por dólar). CEFP Banco de Información, indicadores macroeconómicos. Obtenido el 21 de noviembre de 2017 de, https://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0ahUKEwiFgY71w9DXAhUI_IMKHd19BA4QFggsMAE&url=http%3A%2F%2Fwww.cefp.gob.mx%2Fintr%2Fbancosdeinformacion%2Fcortoplazo%2Findicadores%2Fmacroeconomicos%2Fim014.xls&usg=AOvVaw0gZkrXKKE96yietRtyHQEY
- Center for Global Trade Analysis (2017) Other GTAP Models. Obtenido el 2 de septiembre de 2017 de, https://www.gtap.agecon.purdue.edu/about/data_models.asp

Chidiak, (2002) Instrumentos de Política Ambiental. El control de las emisiones industriales y la promoción de la producción limpia. *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la República de Argentina*.

Chasari, et al. (2012) Manual sobre Modelos de Equilibrio General Computado para Economías de LAC con Énfasis en el Análisis Económico del Cambio Climático. *Banco Interamericano de Desarrollo. Departamento de Investigación y Economista*.

Obtenido el 9 de septiembre de 2016 de,

[https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/5542/Manual%20sobre%20Modelos%20de%20Equilibrio%20General%20Computado%20para%20Econom%C3%ADas%20de%20LAC%20con%20%C3%89nfasis%20en%20el%20An%C3%A1lisis%20Econ%C3%B3mico%20del%20Cambio%20Clim%C3%A1tico.pdf?sequence=](https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/5542/Manual%20sobre%20Modelos%20de%20Equilibrio%20General%20Computado%20para%20Econom%C3%ADas%20de%20LAC%20con%20%C3%89nfasis%20en%20el%20An%C3%A1lisis%20Econ%C3%B3mico%20del%20Cambio%20Clim%C3%A1tico.pdf?sequence=1)

[1](#)

Cicowicz y Di Gresia, (2004) Equilibrio General Computado: Descripción de la Metodología. Trabajo docente no. 7. Facultad de Ciencias Económicas, Universidad Nacional de la Plata.

Clark, Duncan (2011) Which nations are most responsible for climate change? *The Guardian*.

Obtenido el 09 de septiembre de 2016 de,

<https://www.theguardian.com/environment/2011/apr/21/countries-responsible-climate-change>

Coase, R. (1960) The problem of social cost. *Journal of Law and Economics*. The Chicago University Press. 3 (1). Pp.1-44.

Comisión Económica para América Latina y El Caribe. (CEPAL) (1999) La dinámica del desarrollo sustentable y sostenible. *Repositorio CEPAL*. Publicado el 30 de julio de 1999. Obtenido el 15 de septiembre de 2016 de,

http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/19862/S9970510_es.pdf?sequence

Comisión Mundial para el medio Ambiente y el Desarrollo (PNMA) (1987) Our Common Future. *PNMA, UN Documents*. Obtenido el 26 de septiembre de 2016 de, <http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf>

Convención Macro de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. CMNUCC (2016) Clean Development Mechanism Bases estandarizadas. *Convención Macro de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Obtenido el 10 de septiembre de 2016 de, http://cdm.unfccc.int/methodologies/standard_base/index.html

Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático. CMNUCC. (2014) Un poco de historia- De la ratificación al cumplimiento. *Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático. CMNUCC*. Obtenido el 10 de septiembre de 2016 de, http://unfccc.int/portal_espanol/informacion_basica/protocolo_de_kyoto/historia/itms/6216.php

Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático. CMNUCC. (2007) Unidos por el Clima. Guía de la Convención sobre el Cambio Climático y el protocolo de Kioto. *Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático. CMNUCC*. Obtenido el 07 de marzo de 2017 de, http://unfccc.int/resource/docs/publications/unitingonclimate_spa.pdf

Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático. Joint Implementation (2016) Parties Involved in JI Projects. *Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático. CMNUCC*. Obtenido el 10 de septiembre de 2016 de, http://ji.unfccc.int/JI_Parties/index.html

- Czech, B, Mills Busa, J. & Brown, R., (2012) Effects of economic growth on biodiversity in the United States. *United Nation Sustainable Development Journal*.36(3) pp. 160-166
- Davis y Whinston, (1962) Externalities, Welfare and the Theory of Games. *Journal of Political Economy*. 70(3), pp. 241-262
- De Miguel, C. y Manzano, B. (2011) Gradual Green Tax Reforms. *Energy Economics* 33(1), pp.550 -558.
- Dowel, G., Hart, S., and B. Yeung, (2000) Do Corporate Global Environmental Standards in Emerging Markets Create or Destroy Market Value. *Management Science*. 64(1) Pp. 1059 - 1074
- Echarri, (2007) Tema 7: Contaminación de la atmósfera. Asignatura: Población, Ecología y Ambienta. Universidad de Navarra. Obtenido el 13 de febrero de 2017 de, <file:///C:/Users/Hp/Downloads/Tema%207%20Contaminacion%20atmosferica%2007.pdf>
- Elena, J., Rodríguez, F. y Sánchez, M., (2002) Impuestos piguviano vs. Suplementos ambientales. Análisis teórico y simulación para el sector eléctrico español. Universidad de Salamanca, España.
- Ezcurra, E., y J. Sarukhán. 1990. Costos ecológicos del mantenimiento y del crecimiento de la Ciudad de México, en J. Kumate y M. Mazari (coords.), *Problemas de la Cuenca de México*. El Colegio Nacional, 16(2) pp. 215-246
- Farzin, Y.H. (1996) Optimal pricing of environmental and natural resource use with stock externalities. *Journal of Public Economics* 62 (11), pp. 31-57
- Fernández, E., Perez, R. y Ruiz, J. (2011) Optimal Green tax reforms yielding double dividend. Elsevier. *Journal of Energy Policy* 39(8) pp. 4253-4263

- Fouré, J., Bénassy-Quéré, A. & Fontagné, L. (2012) The Great Shift: Macroeconomic Projections for the World Economy at the 2050 Horizon. *Paris: Centre d'Etudes Prospectives et d'Informations Internationales*. Working paper No. 2012-03.
- García, J. (2014) Impact of a carbon tax on the Chilean economy: A computable general equilibrium analysis. *Energy Economics Journal* 57(13) pp. 106-127.
- Georgescu-Roegen, N. (1972) La ley de la Entropía y el Proceso Económico (Resumen). Obtenido el 26 de septiembre de 2016 de, http://www.elsarbrsdefahrenheit.net/documentos/obras/2401/ficheros/La_ley_de_la_Entropia_y_el_proceso_economico_red.pdf
- Greenpeace (s/f) La destrucción de México: la realidad ambiental del país y el Cambio Climático. *Greenpeace*. Obtenido el 15 de septiembre de 2016 de, http://www.greenpeace.org/mexico/global/mexico/report/2009/6/destruccion_mexico.pdf
- Gupta, S., Clements, B., Fletcher, K. & Inchauste, G. (2002) Issues in Domestic Petroleum Pricing in Oil-Producing Countries. *International Monetary Fund Working Paper*. Fiscal Affairs Department. Obtenido el 18 de septiembre de 2016 de, <https://www.imf.org/external/pubs/ft/wp/2002/wp02140.pdf>
- Hernández, J., Lara, J. Gaxiola, G. (2015) La acidificación del océano: Situación en aguas mexicanas. "Programa Mexicano del Carbono. *Elementos para Políticas Públicas. Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México*. 1(1)
- Hinojosa y Mallet-Guy, (2000) La Teoría Económica Neoclásica y los Instrumentos de Política Ambiental. *Interciencia*, 25(2), pp. 102-110.
- Horridge, M (2015) GTAPAgg Demo Version. GTAP Resouce No.807. *Center for Global Trade Analysis West Lafayette*. Indiana: Purdue University.

- Horridge, M. (2001) Run GTAP- Demo Version. GTAP Resource. *Center for Global Trade Analysis* 411(2) West Lafayette. Indiana: Purdue University.
- Hosoe, N., Gasaa, K & Hashimoto, H. (2015) *Textbook of Computable General Equilibrium Modeling*. Programming and Simulations. Palgrave Macmillan Editions.
- Hossain, S. (2011). Panel Estimation for CO2 Emissions, Energy Consumption, Economic Growth, Trade Openness and urbanization of Newly Industrialized Countries. *Energy Policy*. 39 (11). pp 6991-6999
- Huber, J. (2000). Towards Industrial Ecology: Sustainable Development as a Concept of Ecological Modernization. *Journal of Environmental Policy and Planning*. 2(4). pp. 269-285.
- Huesca, L y López, A. (2016) Impuestos ambientales al Carbono en México y su progresividad: una revisión analítica. *Economía Informa UNAM*. 398. pp. 23-39.
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, INECC (2015) Fondo de Adaptación. Obtenido el 11 de marzo de 2017 de, http://www.inecc.gob.mx/descargas/con_eco/2015_ficha_fondo_adap.pdf
- Jacob, D. (1999). *Introduction to Atmospheric Chemistry*. (5ta. Ed.) Princeton: Princeton University Press.
- Joo, Y.J., Kim, C.S., Yoo, S.H., 2015. Energy consumption, CO₂ emission, and economic growth: evidence from Chile. *Int. J. Green Energy* 12(6), pp. 543–550.
- Lamla, M. (2006) Long-run Determinants of Pollution: A Robustness Analysis. *Ecological Economics*. 69(1) pp. 135-144.

- Landa, G., Reynés, F., Islas, I., Bellock, F. & Grazi, F. (2016) Towards a low carbon forth in Mexico: Is a double dividend possible? A dynamic general equilibrium assessment. *Energy Policy Journal* 96(32), pp. 315-327.
- Langer, (2016) México, de los países de AL con más emisiones de CO₂. *EL Economista*. Publicado el 19 de mayo de 2016. Obtenido el 09 de septiembre de, <http://eleconomista.com.mx/sociedad/2016/05/19/mexico-paises-mas-emisiones-co2>
- Lindley, A., & McCulloch, A. (2005) Regulating to reduce emissions of fluorinated greenhouse gases. *Journal of Fluorine Chemistry*. 126 (12). p. 1457-1462
- Lynch, S. (2016), Climate trends continue to break records. NASA's Goddard Space Flight Center (GISS). July 19, 2016. Obtenido el 17 de Agosto de 2016 de, <http://climate.nasa.gov/news/2465/2016-climate-trends-continue-to-break-records/>
- Macho-Stadler, I. y Pérez-Castrillo, J. (2009) *An Introduction to the Economics of Information. Incentives and Contracts*. (2da. Edición) Oxford: Oxford University Press.
- Managi, S. (2008) Does Trade Liberalization Reduce Pollution Emissions? *Social Environmental Systems Division. National Institute for Environmental Studies*. RIETI Discussion Paper Series 08-E-013. Obtenido el 22 de noviembre de 2016 de, <https://www.rieti.go.jp/jp/publications/dp/08e013.pdf>
- Marchal, V. et al., (2011) OECD Environmental Outlook to 2050. Climate Change Chapter. *OCDE*. Obtenido del 20 de septiembre de 2016 de, <https://www.oecd.org/env/cc/49082173.pdf>
- Mendez, E. (2012) En cinco años de Calderón la gasolina Mafna subió 43,93% y el diésel 76,09. *La Jornada*. Publicado el 20 de marzo de 2012, p.26. Obtenido el 21 de noviembre de 2017 de, <http://www.jornada.unam.mx/2012/03/20/economia/026n1eco>

- Mullhall M (2007) Saving Rainforest of the Sea: An analysis of international efforts to conserve coral reefs. *Duke Environmental Law and Policy Forum* 19.
- Naranpanawa, A (2011) Does Trade Openness Promote Carbon Emissions? Empirical Evidence from Sri Lanka. *The Empirical Economics Letters*. 10(10) pp. 973-986.
- Nelson, G., et al., (2014) Climate Change Effects on Agriculture: Economic Responses to Biophysical Shocks. *Proceeding of the National Academy of Sciences (PNAS)* 111 (9). Pp. 3274-3279
- Nieto, P. (2015) Impuestos Ambientales en México y el mundo. Cámara de Diputados LXII Legislatura. Centro de Estudios de Finanzas Públicas. Publicado el 29 de enero de 2015. Obtenido el 23 de marzo de 2017 de, <http://www.cefp.gob.mx/publicaciones/nota/2015/enero/notacefp0022015.pdf>
- Oltra, C. (2005) Modernización ecológica y sociedad del riesgo. Universitat de Barcelona. Departament de Sociologia i Anàlisi de les Organitzacions.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico OCDE (2012a) Environmental Performance Review, Mexico Assessment and Recommendations. Obtenido el 4 de agosto de 2017 de, <https://www.oecd.org/env/country-reviews/10%20FINAL.%20Room%20Document%201%20EPR%20Mexico%20Revised%20Assessment%20and%20Recommendations%20FINAL%20body.pdf>
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico OCDE (2012b) Perspectivas Ambientales de la OCDE hacia el 2050. OCDE Environmental Outlook to 2050: The Consequences of Inaction. OCDE. ISBN: 98792641222161
- Oxford Committee for Famine Relief, OXFAM. (2015) La desigualdad extrema de las emisiones de carbono. Nota Informativa. Publicado 2 de diciembre de 2015. Obtenido el 01 de marzo de 2017 de,

https://www.oxfam.org/sites/www.oxfam.org/files/file_attachments/mb-extreme-carbon-inequality-021215-es.pdf

Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático IPCC (2007) *Climate Change 2007, Synthesis Report. Summary for Policy Makers. Environmental Intergovernmental Panel on Climate Change*. Obtenido el 12 de octubre de 2016 de, https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_full_report.pdf

Pigou, A. (1932) *The Economics of Welfare*. (4ta. Ed.) New York: Macmillan.

Pisanty, I., M. Mazari, E. Ezcurra *et al.* (2009) El reto de la conservación de la biodiversidad en zonas urbanas y periurbanas. CONABIO. *Capital natural de México*, vol. II: *Estado de conservación y tendencias de cambio*. pp. 719-759.

Rudas, G. *et al.* (2007) *Biodiversidad y Actividad Humana: Relaciones en Ecosistemas de Bosque Subandino en Colombia*. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

Rueda (2009) Debilidades de la Teoría de Equilibrio General. *Revista EAN*. 65 (7). pp.107-123

Sadorsky, P., (2014). The effect of urbanization on CO2 emissions in emerging economies. *Energy Economics*. 41 (9). pp. 147-153

Sánchez, M. (2005) Modelos de Equilibrio General Aplicado: Un Enfoque Microeconómico para Hogares Rurales. *Revista Reflexiones Económicas*. Instituto de Investigaciones Económicas y Sociales, Universidad Tafeal Landivar. 4 (1). Pp. 1-43

Secretaría de Energía (2012) Atlas de Almacenamiento Geológico de CO2 México. Comisión Federal de Electricidad. Obtenido el 13 de febrero de 2017 de, <https://www.gob.mx/sener/articulos/atlas-de-almacenamiento-geologico-de-co2-mexico>

- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, SEMARNAT. (2017). Medidas, Compromisos o Acciones tomadas de México. Obtenido el 14 de febrero de 2017 de, <https://datos.gob.mx/busca/dataset?theme=Desarrollo+Sostenible&tags=energia-y-medio-ambiente>
- Shagdar, E & Nyamdaa, O. (2017) Impacts of Import Tariff Reforms on Mongolia's Economy: CGE Analysis with the GTAP 8.1 Data Base. *The Northeast Asian Economic Review* 5(1) pp.1-32.
- Sharma, S.S., (2011). Determinants of carbon dioxide emissions: empirical evidence from 69 countries. *Appl. Energy* 88, 376–382. Colegio 199
- SSP Database v.0.9.3 (2012) SSP2. Obtenido el 16 de junio de 2017 de, <https://tntcat.iiasa.ac.at/SspDb/dsd?Action=htmlpage&page=sectors>
- Stephen (2011) Carbon Footprint of Electricity Generation Houses of Parliament. *Parliamentary Office of Science & Technology*. 383, pp. 1-4
- Steven, A y Lin, Y. (2014) *Theory and Measurement of Economic Externalities*. New York: Academic Press, Inc.
- Tapia, P. (2014) Duplican “gasolinazos” precio de la Magna en siete años. Milenio. Publicado el 12 de octubre de 2014. Obtenido el 21 de noviembre de 2017 de, http://www.milenio.com/politica/Duplican-gasolinazos-precio-Magna-anos-Reforma-energetica-gasolina-costos_0_389361075.html
- Thomas y Maurice, (2016) *Managerial Economics*. Foundation of business analysis and strategy. (9na. Ed.) New York: Mc Graw Hill

- Truong, T., (2007) GTAP-E: An Energy Version of the GTAP Model with Emission Trading: Users Guide. Obtenido el 15 de abril de 2017 de, <https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/download/3552.pdf>
- United Nations Development Program (UNDP) (2016) *Climate Change and Labour: Impacts of Heat in the Workplace*. New York: UNPD
- Wang, S. (2016) Co2, Economic Growth and Energy Consumption in China's provinces: Investigating the spatiotemporal and econometric characteristics of China's CO2 emissions. *Ecological Indications*. 69(5) pp. 184-195
- Watson, et al. (1990) Greenhouse gases and aerosols. *Climate change: the IPCC scientific assessment*, 1 (17) (p. 1-40).
- Xu, Y & Masui, T. (2008) Local air pollutant emission reduction and ancillary carbon benefits of SO2 control policies: Application of AIM/CGE model to China. *European Journal of Operational Research*. 198(1). Pp. 315-325
- Yang, Z. y Zhao. (2014). Energy consumption, carbon emissions, and economic growth in India: evidence from directed acyclic graphs. *Economic Modeling*. 38, pp. 533–540.

APÉNDICES

APENDICE A

VARIABLES DEL MODELO ESTÁNDAR GTAP

Tabla a.1

Variables del modelo estándar GTAP

Af	TRAD_COMM*PROD_COMM*REG	Composite intermed. input i augmenting tech change by j of r
Afall	TRAD_COMM*PROD_COMM*REG	intermediate input i augmenting tech change by j in r
Afcom	TRAD_COMM	intermediate tech change of input i, worldwide
Afe	ENDW_COMM*PROD_COMM*REG	primary factor i augmenting tech change by j of r
Afeall	ENDW_COMM*PROD_COMM*REG	primary factor i augmenting tech change sector j in r
Afecom	ENDW_COMM	factor input tech change of input i, worldwide
Afereg	REG	factor input tech change in region r
Afesecc	PROD_COMM	factor input tech change of sector j, worldwide
Afereg	REG	intermediate tech change in region r
Afesecc	PROD_COMM	intermediate tech change of sector j, worldwide
Ams	TRAD_COMM*REG*REG	import i from region r augmenting tech change in region s
Ao	PROD_COMM*REG	output augmenting technical change in sector j of r
Aoall	PROD_COMM*REG	output augmenting technical change in sector j of r
Aoreg	REG	output tech change in region r
Aosecc	PROD_COMM	output tech change of sector j, worldwide
Atall	MARG_COMM*TRAD_COMM*REG*REG	tech change in ms shipping of i from region r to s
Atd	REG	tech change shipping to s
Atf	TRAD_COMM	tech change shipping of i, worldwide
Atm	TRAD_COMM	tech change in mode m, worldwide
Atmfsd	MARG_COMM*TRAD_COMM*REG*REG	tech change in ms shipping of i from region r to s

Atpd	TRAD_COMM*REG	power of tax on domestic i purchased by private hhld in r
Atpm	TRAD_COMM*REG	power of tax on imported i purchased by private hhld in r
Ats	REG	tech change shipping from region r
Au	REG	input-neutral shift in utility function
Ava	PROD_COMM*REG	value added augmenting tech change in sector i of r
Avaall	PROD_COMM*REG	value added augmenting technical change in sector j of r
Avareg	REG	value added tech change in region r
Avasec	PROD_COMM	value added tech change of sector j, worldwide
c1_ir	TRAD_COMM*REG	contribution of world price, px_i , to ToT
c1_r	REG	contribution of world prices for all goods to ToT
c2_ir	TRAD_COMM*REG	contribution of regional export price, px_{ir} , to ToT
c2_r	REG	contribution of regional export prices to ToT
c3_ir	TRAD_COMM*REG	contribution of regional import price, pm_{ir} , to ToT
c3_r	REG	contribution of regional import prices to ToT
Cgdslack	REG	slack variable for $qcgds(r)$
CNTalleffir	DEMD_COMM*REG	total contribution to regional EV of allocative effects
CNTalleffr	REG	total contribution to regional EV of allocative effects
CNTcgdsr	REG	contribution to regional EV of changes in the price of cgds
CNTdpar	REG	contribution to EV of change in distribution parameters
CNTendwir	ENDW_COMM*REG	contribution to regional EV of changes in $ENDW_COMM\ i$
CNTendwr	REG	contribution to regional EV of changes in all $ENDW_COMM$
CNTkbr	REG	cont. to EV of changes to beg. period capital stock and depreciation
CNTpopr	REG	contribution to EV in region r of change in population
CNTqfdijr	TRAD_COMM*PROD_COMM*REG	cont. to EV of changes in use of domestic int. i in ind. j of reg. r

CNTqfdir	TRAD_COMM*REG	contribution to EV of changes in use of domestic i in all ind. in r
CNTqfdr	REG	cont. to EV of changes in use of domestic int. in all ind. in reg. r
CNTqfeijr	ENDW_COMM*PROD_COMM*REG	cont. to EV of changes in use of ENDW_COMM i in ind. j of reg. r
CNTqfeir	ENDW_COMM*REG	contribution to EV of changes in use of ENDW_COMM i in all ind. in r
CNTqfer	REG	cont. to EV of changes in use of all ENDW_COMM in all ind. in reg. r
CNTqfmijr	TRAD_COMM*PROD_COMM*REG	cont. to EV of changes in use of imported int. i in ind. j of reg. r
CNTqfmir	TRAD_COMM*REG	cont. to EV of changes in use of imported int. i in all ind. in r
CNTqfmr	REG	cont. to EV of changes in use of imported int. in all ind. in reg. r
CNTqgdir	TRAD_COMM*REG	cont. to EV of changes in govt consumption of domestic i in reg. r
CNTqgdr	REG	cont. to EV of changes in govt consumption of domestics in reg. r
CNTqgmir	TRAD_COMM*REG	cont. to EV of changes in govt consumption of import i in reg. r
CNTqgmr	REG	cont. to EV of changes in govt consumption of imports in reg. r
CNTqimisir	TRAD_COMM*REG*REG	cont. to EV of changes in imports of i from SRCE s to DEST r
CNTqimr	REG	cont. to EV of changes in imports of all goods from all SRCE to DEST r
CNTqoir	NSAV_COMM*REG	contribution to EV of changes in output of NSAV_COMM i in reg. r
CNTqor	REG	contribution to EV in region r of output changes
CNTqpdir	TRAD_COMM*REG	cont. to EV of changes in consumption of domestic good i in reg. r
CNTqpdr	REG	contribution to EV of changes in consumption of domestic goods in r
CNTqpmir	TRAD_COMM*REG	cont. to EV of changes in consumption of imported good i in reg. r

CNTqpmr	REG	contribution to EV of changes in consumption of imported goods in r
CNTqxsirs	TRAD_COMM*REG*REG	cont. to EV of changes in exports of i from SRCE r to DEST s
CNTqxsr	REG	cont. to EV of changes in exports of all goods from SRCE r to all DEST
CNTtech_afeijr	ENDW_COMM*PROD_COMM*REG	cont. to EV of primary factor i augmenting tech change in sector j
CNTtech_affer	REG	contribution to regional EV of primary factor augmenting tech change
CNTtech_afijr	TRAD_COMM*PROD_COMM*REG	cont. to EV of composite i input augmenting tech change in sector j
CNTtech_afmfdsd	MARG_COMM*TRAD_COMM*REG*REG	cont. to EV of tech change in transportation efficiency
CNTtech_afir	REG	cont. to regional EV of comp. int. input augmenting tech change
CNTtech_amsirs	TRAD_COMM*REG*REG	cont. to EV of bilateral import augmenting tech change for TRAD_COMM i
CNTtech_amsr	REG	cont. to EV of bilateral import-augmenting tech change
CNTtech_aoir	PROD_COMM*REG	cont. to regional EV of output augmenting tech change in TRAD_COMM i
CNTtech_aor	REG	contribution to regional EV of output augmenting technical change
CNTtech_atrr	REG	contribution to regional EV of technical change in transportation
CNTtech_avajr	PROD_COMM*REG	cont. to EV of value added augmenting tech change in sector j
CNTtech_avar	REG	contribution to regional EV of value added augmenting tech change
CNTtechr	REG	contribution to regional EV of all technical change
CNTtotr	REG	contribution to regional EV of changes in its terms of trade
compvalad	PROD_COMM*REG	composition of value added for good i and region r
del_indtaxr	REG	change in ratio of indirect taxes to INCOME in r
del_taxexp	REG	change in ratio of export tax to INCOME

del_taxrfu	REG	change in ratio of tax on primary factor usage to INCOME
del_taxrgc	REG	change in ratio of government consumption tax to INCOME
del_taxrimp	REG	change in ratio of import tax to INCOME
del_taxrinc	REG	change in ratio of income tax to INCOME
del_taxriu	REG	change in ratio of tax on intermediate usage to INCOME
del_taxrout	REG	change in ratio of output tax to INCOME
del_taxrpc	REG	change in ratio of private consumption tax to INCOME
del_ttaxr	REG	change in ratio of taxes to INCOME in r
Dpav	REG	average distribution parameter shift, for EV calc.
Dpavev	REG	average distribution parameter shift, for EV calc.
Dpgov	REG	government consumption distribution parameter
Dppriv	REG	private consumption distribution parameter
Dpsave	REG	saving distribution parameter
Dpsum	REG	sum of the distribution parameters
DTBAL	REG	change in trade balance X - M, \$ US million
DTBALi	TRAD_COMM*REG	change in trade balance by i and by r, \$ US million
DTBALR	REG	change in ratio of trade balance to regional income
Endwslack	ENDW_COMM*REG	slack variable in endowment market clearing condition
EV	REG	equivalent variation, \$ US million
EV_ALT	REG	regional EV computed in alternative way
EXPAND	ENDWC_COMM*REG	change in investment levels relative to endowment stock
Fincome	REG	factor income at market prices net of depreciation
globalcgds		global supply of capital goods for NET investment
Incomeslack	REG	slack variable in the expression for regional income
Kb	REG	beginning-of-period capital stock in r
Ke	REG	end-of-period capital stock in r

Ksvces	REG	capital services = $qo(\text{"capital"},r)$
P	REG	price index for disposition of income by regional household
Pcgds	REG	price of investment goods = $ps(\text{"cgds"},r)$
Pcgdswld		world average price of capital goods (net investment weights)
Pcif	TRAD_COMM*REG*REG	CIF world price of commodity i supplied from r to s
Pdw	REG	index of prices paid for tradeables used in region r
Pf	TRAD_COMM*PROD_COMM*REG	firms price for commodity i for use by j in r
Pfactor	REG	market price index of primary factors, by region
Pfactreal	ENDW_COMM*REG	ratio of return to primary factor i to CPI in r
Pfactwld		world price index of primary factors
Pfd	TRAD_COMM*PROD_COMM*REG	price index for domestic purchases of i by j in region s
Pfe	ENDW_COMM*PROD_COMM*REG	firms price for endowment commodity i in ind. j, region r
Pfm	TRAD_COMM*PROD_COMM*REG	price index for imports of i by j in region s
Pfob	TRAD_COMM*REG*REG	FOB world price of commodity i supplied from r to s
Pg	TRAD_COMM*REG	government consumption price for commodity i in region r
Pgd	TRAD_COMM*REG	price of domestic i in government consumption in s
Pgdp	REG	GDP price index
Pgm	TRAD_COMM*REG	price of imports of i in government consumption in s
Pgov	REG	price index for govt hhld expenditure in region r
Pim	TRAD_COMM*REG	market price of composite import i in region r
Piw	TRAD_COMM*REG	world price of composite import i in region r
Piwcom	TRAD_COMM	price index of global merchandise imports by commodity
Piwreg	REG	price index of merchandise imports, by region
Pm	NSAV_COMM*REG	market price of commodity i in region r
pm_ir	TRAD_COMM*REG	imports price index for good i and region r

Pmes	ENDWS_COMM*PROD_COMM*REG	market price of sluggish endowment i used by j in r
Pms	TRAD_COMM*REG*REG	domestic price for good i supplied from r to region s
Pop	REG	regional population
Pp	TRAD_COMM*REG	private consumption price for commodity i in region r
Ppd	TRAD_COMM*REG	price of domestic i to private households in s
Ppm	TRAD_COMM*REG	price of imports of i by private households in s
Ppriv	REG	price index for private consumption expenditure in region r
Pr	TRAD_COMM*REG	ratio of domestic to imported prices in r
profitslack	PROD_COMM*REG	slack variable in the zero profit equation
Ps	NSAV_COMM*REG	supply price of commodity i in region r
Psave	REG	price of savings in region r
psaveslack	REG	slack variable for the savings price equation
Psw	REG	index of prices received for tradeables produced in r
Pt	MARG_COMM	price of composite margins services, type
Ptrans	TRAD_COMM*REG*REG	cost index for international transport of i from r to s
Pva	PROD_COMM*REG	firms price of value added in industry j of region r
Pw	TRAD_COMM	world price index for total good i supplies
Pwu	TRAD_COMM	world price index for total good i supplies at user prices
px_		world export price index for all commodities
px_i	TRAD_COMM	world export price index for commodity i
px_ir	TRAD_COMM*REG	export price index for good i and region r
Pxw	TRAD_COMM*REG	aggregate exports price index of i from region r
Pxwcom	TRAD_COMM	price index of global merchandise exports by commodity
Pxwreg	REG	price index of merchandise exports, by region
Pxwwld		price index of world trade
Qcgds	REG	output of capital goods sector = qo("cgds",r)
Qds	TRAD_COMM*REG	domestic sales of commodity i in r

Qf	TRAD_COMM*PROD_COMM*REG	demand for commodity i for use by j in region r
Qfd	TRAD_COMM*PROD_COMM*REG	domestic good i demanded by industry j in region s
Qfe	ENDW_COMM*PROD_COMM*REG	demand for endowment i for use in ind. j in region r
Qfm	TRAD_COMM*PROD_COMM*REG	demand for i by industry j in region s
Qg	TRAD_COMM*REG	government hhld demand for commodity i in region r
Qgd	TRAD_COMM*REG	government hhld demand for domestic i in region s
Qgdp	REG	GDP quantity index
Qgm	TRAD_COMM*REG	government hhld demand for imports of i in region s
Qim	TRAD_COMM*REG	aggregate imports of i in region s, market price weights
Qiw	TRAD_COMM*REG	aggregate imports of i into region s, CIF weights
Qiwcom	TRAD_COMM	volume of global merchandise imports by commodity
Qiwreg	REG	volume of merchandise imports, by region
Qo	NSAV_COMM*REG	industry output of commodity i in region r
Qoes	ENDWS_COMM*PROD_COMM*REG	supply of sluggish endowment i used by j in r
Qow	TRAD_COMM	quantity index for world supply of good i
Qowu	TRAD_COMM	quantity index for world supply of good i at user prices
Qp	TRAD_COMM*REG	private hhld demand for commodity i in region r
Qpd	TRAD_COMM*REG	private hhld demand for domestic i in region s
Qpev	TRAD_COMM*REG	private hhld demand for commodity i in region r, for EV calc.
Qpm	TRAD_COMM*REG	private hhld demand for imports of i in region s
Qsave	REG	regional demand for NET savings
Qsaveev	REG	total quantity of savings demanded, for EV calc.
Qst	MARG_COMM*REG	sales of m from r to international transport
Qtm	MARG_COMM	global margin usage
Qtmfsd	MARG_COMM*TRAD_COMM*REG*REG	international usage margin m on i from r to s

Qva	PROD_COMM*REG	value added in industry j of region r
Qxs	TRAD_COMM*REG*REG	export sales of commodity i from r to region s
Qxw	TRAD_COMM*REG	aggregate exports of i from region r, FOB weights
Qxwcom	TRAD_COMM	volume of global merchandise exports by commodity
Qxwreg	REG	volume of merchandise exports, by region
Qxwwld		volume of world trade
Rental	REG	rental rate on capital = ps("capital",r)
Rorc	REG	current net rate of return on capital stock in r
Rore	REG	expected net rate of return on capital stock in r
Rorg		global net rate of return on capital stock
Tf	ENDW_COMM*PROD_COMM*REG	tax on primary factor i used by j in region r
Tfd	TRAD_COMM*PROD_COMM*REG	tax on domestic i purchased by j in r
Tfm	TRAD_COMM*PROD_COMM*REG	tax on imported i purchased by j in r
Tgd	TRAD_COMM*REG	tax on domestic i purchased by government hhld in r
Tgm	TRAD_COMM*REG	tax on imported i purchased by govt hhld in r
Tm	TRAD_COMM*REG	source-gen. change in tax on imports of i into s
Tms	TRAD_COMM*REG*REG	source-spec. change in tax on imports of i from r into s
To	NSAV_COMM*REG	output (or income) tax in region r
Tot	REG	terms of trade for region r: tot(r) = psw(r) - pdw(r)
tot2	REG	trade terms for region r, computed from components
Tp	REG	comm.-, source-gen. shift in tax on private cons.
Tpd	TRAD_COMM*REG	comm.-, source-spec. shift in tax on private cons. of dom.
Tpm	TRAD_COMM*REG	comm.-, source-spec. shift in tax on private cons. of imp.
Tradslack	TRAD_COMM*REG	slack variable in tradeables market clearing condition
Tx	TRAD_COMM*REG	dest.-gen. change in subsidy on exports of i from r
Txs	TRAD_COMM*REG*REG	dest.-spec. change in subsidy on exports of i from r to s

U	REG	per capita utility from aggregate hhld expend. in region r
Uelas	REG	elasticity of cost of utility wrt utility
Uelasev	REG	elasticity of cost of utility wrt utility, for EV calc.
Uepriv	REG	elasticity of cost wrt utility from private consumption
Ueprivev	REG	utility elasticity of private consn expenditure, for EV calc.
Ug	REG	per capita utility from govt expend. in region r
Ugev	REG	per capita utility from govt expend., for EV calc.
Up	REG	Per capita utility from private expend. in region r
Upev	REG	per capita utility from private expend., for EV calc.
Valuew	TRAD_COMM	value of world supply of good i
Valuewu	TRAD_COMM	value of world supply of good i at user prices
Vgdp	REG	change in value of GDP
Viwcif	TRAD_COMM*REG	value of merchandise regional imports, by commodity, CIF
Viwcom	TRAD_COMM	value of global merchandise imports i, at world prices
Viwreg	REG	value of merchandise imports, by region, at world prices
Vxwcom	TRAD_COMM	value of global merchandise exports by commodity
Vxwfob	TRAD_COMM*REG	value of merchandise regional exports, by commodity, FOB
Vxwreg	REG	value of merchandise exports, by region
Vxwwld		value of world trade
walras_dem		demand in the omitted market--global demand for savings
walras_sup		supply in omitted market--global supply of cgds composite
walraslack		slack variable in the omitted market
WEV		equivalent variation for the world
WEV_ALT		expression for WEV computed in alternative way
Y	REG	regional household income in region r

Yev	REG	regional household income in region r, for EV calc.
Yg	REG	regional government consumption expenditure in region r
Ygev	REG	government consumption expenditure in region r, for EV calc.
Yp	REG	regional private consumption expenditure in region r
Ypev	REG	private consumption expenditure in region r, for EV calc.
Ysaveev	REG	NET savings expenditure, for EV calc.

APÉNDICE B

PAÍSES MIEMBRO DEL PROTRÓLO DE KIOTO

De acuerdo con los compromisos adquiridos, CMUNUCC divide a los países en tres grupos principales: las partes incluidas en el Anexo I del Protocolo son los países industrializados que formaban parte de la Organización de Cooperación y Desarrollo

Tabla b.1

Países incluidos en el anexo I

Países incluidos en el anexo I		
Alemania	Estonia*	Luxemburgo
Australia	Federación Rusa	Mónaco
Austria	Finlandia	Noruega
Belarús*	Francia	Nueva Zelandia
Bélgica	Grecia	Países Bajos
Bulgaria*	Hungría*	Polonia*
Canadá	Irlanda	Portugal
Comunidad Europea	Islandia	Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte
Croacia*	Italia	Rumania*
Dinamarca	Japón	Suecia
Eslovaquia*	Letonia*	Suiza
Eslovenia*	Liechtenstein	Turquía
España	Lituania*	Ucrania
Estados Unidos de América		i

ⁱ * Países con economías en transición (PET)

Fuente: Elaboración propia a partir de CMNUCC, 2007

Económico (OCDE) en 1992 los países más los países con economías en transición (PET), en los que se encuentra Rusia, los Estados Bálticos y algunos Estados del centro y este de Europa. En la Tabla b.1 se pueden observar los países incluidos en el anexo I. (CMNUCC, 2007)

Por otro lado, los países incluidos en el Anexo II del Protocolo son únicamente los miembros de la OCDE, en este anexo no se incluyen los PET. La diferencia es que estos países deben ofrecer recursos financieros para permitir que los países en desarrollo puedan

emprender actividades para reducir las emisiones de acuerdo a lo estipulado en la Convención y así, ayudarles a adaptarse mejor a los efectos negativos del Cambio Climático (CMNUCC, 2007).

Algunos países en desarrollo son reconocidos por la Convención como especialmente vulnerables a los efectos negativos del Cambio Climático, en especial los países en zonas costeras bajas o propensas a las sequías o desertificación. Los países que dependen particularmente de la producción y exportación de combustibles fósiles también son considerados vulnerables ya podrían verse afectados por los efectos adversos de las medidas implementadas para combatir el Cambio Climático (CMNUCC, 2007).

Por último, las Naciones Unidas clasifican a 48 países como menos adelantados (PMA), los cuales reciben especial consideración de la Convención debido a su limitada capacidad de responder a esta problemática y adaptarse a sus efectos negativos (CMNUCC, 2007).

Se hace especial hincapié en que los países desarrollados promuevan el desarrollo y la transferencia de tecnologías ambientales tanto a los países PET como a los que se consideran con algún tipo de vulnerabilidad (CMNUCC, 2007).

APÉNDICE C

ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

MODELO 1

Esta herramienta es muy útil debido a que el análisis de sensibilidad controla la solidez de los resultados del modelo con valores alternativos de parámetros de elasticidad o tamaños en los choques.

Como primer paso se hará el análisis de sensibilidad del parámetro de elasticidad de sustitución de factores, ESUVBA, para la producción en el sector agricultura con una variación de 100%. En la tabla c.1 se muestran los resultados.

Tabla c.1

Intervalos de confianza para el resultado de análisis de sensibilidad ESUBVA

Intervalo de confianza	Media (X)	Desviación Estándar	Multiplicador de desviación estándar (K)	Límite superior (X+sdK)	Límite inferior (X-sdK)
0.75	279.88	5.07	2	290.02	269.74
0.889	279.88	5.07	3	295.09	264.67
0.95	279.88	5.07	4.47	302.54	257.21
0.99	279.88	5.07	10	330.58	229.18

Fuente: Elaboración propia a partir de resultados del modelo GTAP v.8.1 base de datos MEX 3x3

De acuerdo con la igualdad de los signos en los límites superiores e inferiores, en la Tabla c.1, indica que un cambio positivo en la producción es un resultado robusto del modelo, a un nivel de confianza del 99% aplicando un cambio del 100% en la elasticidad de sustitución de factores. Esta interpretación se basa en Angelo, A. (2013); Bufisher, M., (2016) y Shagdar, E. y Nyamdaa (2017)

El siguiente paso es enfocarse en el análisis de los resultados del comercio exterior. Se realizará la prueba al parámetro ESUBD de sustitución de importaciones tanto para las importaciones (qiw) como para las exportaciones (qxw) en el sector agrícola. En las Tablas c.2 se puede visualizar los resultados de las pruebas respecto a las importaciones. Finalmente, en las Tablas c.3 se muestran los resultados de las exportaciones.

Tabla c.2

Intervalos de confianza para el resultado de análisis de sensibilidad de importaciones

Intervalo de confianza	Media (X)	Desviación Estándar	Multiplicador de desviación estándar (K)	Límite superior	Límite inferior (X-
75%	279,88	5,07	2	290,02	269,74
88,90%	279,88	5,07	3	295,09	264,67
95%	279,88	5,07	4,47	302,5429	257,2171
99%	279,88	5,07	10	330,58	229,18

Fuente: Elaboración propia a partir de resultados del modelo GTAP v.8.1 base de datos MEX 3x3.

Al igual que el análisis anterior, la igualdad de los signos nos indica la *robustez* de un signo positivo en los resultados a un 99% de confianza en las importaciones de México procedentes de ROW. Esto también indica que las importaciones sí funcionan como mecanismos de adaptación para el 2050.

Tabla c.3

Intervalos de confianza para el resultado de análisis de sensibilidad ESUBD

Intervalo de confianza	Media (X)	Desviación Estándar	Multiplicador de desviación estándar (K)	Límite superior (X+sdK)	Límite inferior (X-sdK)
75%	68.85	7.3	2	83.45	54.25
88,90%	68.85	7.3	3	90.75	46.95
95%	68.85	7.3	4.47	101.48	36.22
99%	68.85	7.3	10	141.85	-4.15

Elaboración propia a partir de resultados del modelo GTAP v.8.1 base de datos MEX 3x3.

Por último, en la Tabla c.3 se puede determinar, a un nivel de confianza del 95% que el signo positivo de las exportaciones es robusto, con un rango de variación del 100% en el parámetro de elasticidad de sustitución de importaciones.

Gracias a estos resultados se puede concluir que tanto los signos de la producción como las importaciones son resultados sólidos del modelo y sí funcionan como mecanismos de ajuste en la economía mexicana del 2050.

En resumen, los resultados de los escenarios con efectos del Cambio Climático muestran una reducción en el crecimiento de las economías de México y del Resto del Mundo a largo plazo. Por lo tanto, se acepta la Hipótesis 2: los efectos del Cambio Climático, como una disminución de la productividad de ciertos factores de producción, tienen impactos significativos en el rendimiento de la economía mexicana en el 2050.

MODELO 2**ANÁLISIS DE BIENESTAR SOCIAL**

Tabla c.4

Efectos de bienestar escenario TAX2050

	México
Efecto de Asignación de Recursos (1 alloc_A1)	189421.6
Endowment Effect (2 endw_B1)	637554
Cambio Técnico (2 tech_C1)	1439820.5
Crecimiento de la Población (4)	716097.8
Términos del comercio (5 tot_E1)	-28495.8
Términos del intercambio Inversiones y Ahorro (6 IS_F1)	-210965
Cambio en las preferencias (7 pref_G1)	0
Total	2743434.1
Cambio en los ingresos del Gobierno	9389.7
Costo de bienestar por dólar de ingresos	292.17

Fuente: Elaboración propia a partir de resultados GTAPv.8 base de datos MEX3x3-E.

Podemos observar efectos positivos en el bienestar social y en la asignación de recursos, esto parece deberse principalmente por el cambio técnico. Por otro lado, los términos del comercio disminuyen, esto quiere decir que la capacidad de compra de las exportaciones en adquirir importaciones disminuye Bufisher, M. (2016).

En otro orden de ideas, los ingresos del gobierno aumentaron en poco más de 9 mil millones de dólares. El costo de bienestar por dólar adicional de ingresos fiscales es una pérdida de casi \$3 dólares (292.17 centavos), esto significa que el costo marginal es tres veces mayor que los recursos públicos adquiridos. En otras palabras, existe una pérdida de

eficiencia en la economía es de 292 centavos al aplicar esta política pública (Bufisher, M, 2016).

Esta cifra muestra la factibilidad de que una propuesta como esta sea aceptada considerando el retorno que deberían tener los proyectos sociales del gobierno. En este caso, el gobierno debe generar proyectos sociales que regresen 392.17% más que su costo total o el Bienestar Social se reducirá.

Tabla c.5

Descomposición del bienestar social en el efecto de eficiencia de asignación

Tipo de impuesto	Costo de Bienestar
Impuesto a los Factores	2622.9
Impuesto de producción	81234.1
Impuesto a productos intermedios	-515.2
Impuesto al consumo privado	103340
Impuesto al gobierno	0
Impuesto a las exportaciones	-32.4
Impuesto a las importaciones	2771.2
Total	189421.5

Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de GTAPv.8 base de datos MEX3x3-E.

Al descomponer el Bienestar Social que se deriva del Efecto de Eficiencia de Asignación podemos notar que la mayoría de los impuestos tienen un efecto positivo en el Bienestar. El efecto mayor lo tienen los impuestos al consumo privado y el impuesto a

la producción. Mientras que los impuestos a los insumos intermedios y a las exportaciones reducen ligeramente el bienestar.

Tabla c.6

Efectos de bienestar del Cambio Climático y la reforma energética por región

	Cambio Climático	Reforma Energética
México	-719781	-16417.81
ROW	-83468.72	112.76

Fuente: Elaboración Propia a partir de resultados de GTAPv.8 base de datos MEX3x3-E.

En definitiva, una ventaja de utilizar el modelo GTAP es que este tiene una utilidad para desagregar los efectos en la economía. En la Tabla c.6 se pueden observar los efectos que el Cambio Climático y la Reforma Energética tienen en el escenario de 2050. Ambos choques tienen un efecto negativo en el Bienestar Social en México, son obstante, la Reforma Energética tiene un mayor impacto que el Cambio Climático. Esta reducción será aproximadamente de -16,417 millones de dólares. Sin embargo, en general, de acuerdo a los resultados, el Bienestar Social en 2050 aumentará.

ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

En esta sección se analizan los resultados de los análisis de sensibilidad de las variables seleccionadas del Modelo 2.

Tabla c.7

Intervalos de confianza para el resultado de variación equivalente (EV)

Intervalo de confianza	Media (X)	Desviación Estándar	Multiplicador de desviación estándar (K)	Límite superior (X+sdK)	Límite inferior (X-sdK)
75%	2887646	44146.13	2	2975938.3	2799353.74
88,90%	2887646	44146.13	3	3020084.39	2755207.61
95%	2887646	44146.13	4.47	3084979.2	2690312.8
99%	2887646	44146.13	10	3329107.3	2446184.7

Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de GTAPv.8 base de datos MEX3x3-E.

Finalmente, y para probar la parte del bienestar en la hipótesis 3, se deberá hacer una prueba de sensibilidad a los resultados de Bienestar Social. Los resultados de esta prueba se pueden ver en la Tabla c.7, los cuales indican que el aumento en la Variación Equivalente (la unidad en la que se mide el Bienestar en GTAP) es un resultado robusto al 99%. Esto nos indica que no existe información suficiente para asegurar que el Bienestar Social disminuya significativamente al aplicar la reforma ambiental en este escenario.

En conclusión, los resultados del Modelo 2 muestran un aumento en el PIB real y en el Bienestar Social en un escenario con Cambio Climático e Impuestos Ambientales. La prueba de sensibilidad indica que el signo positivo es un resultado robusto, por lo tanto, se rechaza la Hipótesis 3.