



**El Colegio
de la Frontera
Norte**

INSTRUMENTOS ECONÓMICOS COMO ESTRATEGIA DE MITIGACIÓN ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO EN MÉXICO

Tesis presentada por

Jaime Enrique Salgado Sánchez

para obtener el grado de

MAESTRO EN ECONOMÍA APLICADA

Tijuana, B. C., México
2012

El presente trabajo de investigación contribuyó a los proyectos:

"Scenario-Building for CDM and AB 32 Carbon Trading in the California-Baja Region/Construcción de escenarios bajo los esquemas de los mercados de carbono MDL y AB 32 para la región California – Baja California" con fondos de 2008 subvenciones UCMexus-Conacyt para investigación sobre Cambio Climático (Conv. 682); y "Perfil Energético 2010-2020 para Baja California: Propuesta y Análisis de Indicadores Energéticos para el Desarrollo de Prospectivas Estatales" con fondos USAid (Conv. 838) ambos bajo la dirección de la Dra. Gabriela Muñoz Meléndez

CONSTANCIA DE APROBACIÓN

Directora de Tesis:

Dra. Gabriela Muñoz Meléndez

Aprobada por el Jurado Examinador:

1. _____

2. _____

3. _____

A la vida por la nueva oportunidad que recibí.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología el apoyo económico recibido a lo largo de estos dos años y el apoyo institucional por parte de El Colegio de la Frontera Norte.

Mi más sincera gratitud para la Dra. Gabriela Muñoz Meléndez, mi directora de tesis y tutora, por su compromiso, apoyo y ejemplo a lo largo de estos dos años que culminan con la presentación de este trabajo de investigación. Sin usted nada de esto hubiera sido posible.

Asimismo agradezco el apoyo por parte del Mtro. Carlos Bazdresch y Dr. Mauricio Reyes por la oportunidad de continuar mis estudios en el COLEF y por el tiempo que trabajé con ellos en el Centro de Investigación y Docencia Económicas (CIDE) en la Ciudad de México.

Agradezco los conocimientos que recibí por parte de mis profesores a lo largo de la maestría en el COLEF. Especialmente extendiendo mi reconocimiento al Dr. Alejandro Brugués, Mtro. Manuel Lecuanda, Dr. Eduardo Mendoza, Dr. Noe Arón Fuentes, Dra. Sarah Martínez Pellegrini, Dr. Nestor Ruiz y Dr. Gabriel González König.

Además agradezco el apoyo recibido por parte del Dr. Mark Jacobsen en la realización de mi periodo de movilidad estudiantil llevado a cabo en la Universidad de California en San Diego (UCSD) y haber participado en mi comité de tesis. Agradezco al Dr. Theodore Grooves, Dr. Gordon Dahl, Dra. Kate Antonovics y al Dr. Eli Berman por haber hecho posible mi estancia en UCSD y por los valiosos conocimientos y experiencias que viví durante este periodo.

A mi mamá, María Lourdes Sánchez por su apoyo incondicional, amor y los numerosos sacrificios que implicaron dejar mi casa para emprender esta aventura. A mi tía Zurith, Muraly y a mis primos Zurith y Alexander por ser mi familia y por su apoyo en este periodo y en toda mi vida.

A mi compañera Susana le agradezco por haber tenido la oportunidad de conocer a una persona tan maravillosa como ella y por haberme permitido formar parte de su vida. Mi vida es mejor en todos los sentidos gracias a ella.

Finalmente agradezco haber tenido la oportunidad de compartir estos dos años con mis compañeros de la maestría en Economía Aplicada, el resto de las maestrías del COLEF y mis amigos a ambos lados de la frontera. Especialmente a Jaime Arredondo, Aurelio Meza, Alejandro Romero, Felipe Jaramillo, y Antonio Aguilar.

Índice General

INTRODUCCIÓN.....	1
1 MARCO CONTEXTUAL.....	6
1.1 ¿Qué es el Cambio Climático?.....	6
1.1.1 Incremento en las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI).....	7
1.1.2 Incremento en la temperatura.....	7
1.1.3 Posibles efectos del Cambio Climático.....	8
1.2 Marco Institucional para hacer frente al Cambio Climático.....	10
1.2.1 Protocolo de Kioto.....	12
1.3 Situación en México.....	14
1.3.1 Ley General de Cambio Climático (LGCC).....	15
1.3.1.1 Instrumentos Económicos en la LGCC.....	16
1.3.1.2 Sanciones en la LGCC.....	17
1.3.1.3 Objetivos o Metas Aspiracionales en la LGCC.....	18
2 MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL.....	20
2.1 El Exceso de Emisiones de GEI como una Externalidad Negativa.....	20
2.1 Definición de Externalidad.....	22
2.2 Los Impuestos Pigouvianos.....	23
2.3 La Crítica de Coase.....	27
2.4 Precios vs Cantidades.....	29
2.4.1 La Equivalencia del Sistema de Permisos de Emisión Comerciables con los Impuestos de Emisión bajo un Escenario de Certidumbre.....	30
2.4.2 Presencia de Incertidumbre con respecto a la Función de Costos.....	32
2.4.3 Efecto de la Pendiente de la Función de Beneficios Marginales.....	35
2.4.4 Efecto de la Pendiente de la Función de Costos Marginales.....	36
2.4.5 Presencia de Incertidumbre con respecto a la Función de Beneficios.....	38
2.4.5 Presencia de Incertidumbre con respecto a la Función de Beneficios.....	38
2.4.6 Pendientes Relativas y el Caso Lineal.....	41
2.4.7 Pendientes Relativas y los Excedentes del Consumidor y Productor.....	43
2.4.8 Elección entre un Sistema de Permisos Comerciables y un Sistema de Impuestos a las Emisiones en la Práctica.....	45
2.5 Equilibrio Parcial vs Equilibrio General.....	46
2.6 Teoría de Equilibrio General.....	48
2.7 Conclusiones.....	52
3 REVISIÓN DE BIBLIOGRAFÍA.....	54
3.1 El origen del modelo de Equilibrio General Computable (EGC).....	54
3.2 Ventajas del Modelo de EGC.....	55
3.3 Desventajas de los modelos de EGC.....	57
3.4 Primeros Modelos de EGC.....	58
3.4.1 Johansen (1960).....	59
3.4.2 Habberger (1962).....	61
3.4.3 Adelman - Robinson (1978).....	62
3.5 Modelos de EGC Especializados en el Análisis de Políticas Públicas Ambientales.....	63
3.5.1 Modelos de EGC Internacionales.....	63
3.5.2 Modelos de EGC Nacionales.....	65

3.5.3 Modelos de EGC para México.....	67
4 UN MODELO DE EQUILIBRIO GENERAL COMPUTABLE PARA MÉXICO.....	70
4.1 Matriz de Contabilidad Social (MCS).....	71
4.1.1 Base de Datos GTAP versión 6.....	72
4.1.2 Agregación Regional.....	72
4.1.3 Agregación Sectorial.....	73
4.1.4 Agregación Factorial.....	82
4.2 Estructura del Modelo GTAP Estándar.....	83
4.2.1 Relaciones Contables.....	84
4.2.2 Ecuaciones de Comportamiento.....	88
4.2.2.1 Comportamiento de las Empresas.....	89
4.2.2.2 Comportamiento de los Hogares.....	89
4.3 Regla de Cerradura.....	90
4.4 Regla de Cerradura Macro.....	92
4.5 Modelaje de Políticas Públicas Ambientales.....	94
5 SIMULACIONES DEL MODELO.....	98
CONCLUSIONES.....	116
BIBLIOGRAFÍA.....	119
ANEXOS.....	1
Anexo 1.....	1
Anexo 2.....	2

Índice de Gráficas

Gráfica 2.1 Precios vs Cantidades en Ausencia de Incertidumbre.....	31
Gráfica 2.2 Precios vs Cantidades con Incertidumbre con respecto a la Curva de Costos.....	34
Gráfica 2.3 Efecto de la Pendiente de la Función de Costos.....	38
Gráfica 2.4 Precios vs Cantidades con Incertidumbre con respecto a la Curva de Beneficios.....	40
Gráfica 2.5 Curva de Costos y Beneficios Lineales.....	42
Gráfica 2.6 Pérdida del Excedente del Consumidor y Productor.....	44
Gráfica 2.7 El Flujo Circular de la Economía.....	50
Gráfica 4.1 Hogar Regional y Componentes de la Demanda Final.....	85
Gráfica 4.2 Economía Cerrada de una Región sin Intervención Gubernamental.....	86
Gráfica 5.1 Resumen de los Cambios en Emisiones Totales.....	108

Índice de Cuadros

Cuadro 4.1 Matriz de Contabilidad Social Típica.....	71
Cuadro 4.2 Emisiones de GEI por Rama Económica en México, 2008.....	74
Cuadro 4.3 Impactos de los Encadenamientos hacia atrás y hacia adelante por el método de extracción para 23 ramas de la matriz de I-P, 2008.....	76
Cuadro 4.4 Coeficientes de Intensidad de Emisiones por Ramas, 2008.....	78
Cuadro 4.5 Estimación de los Costos de las Externalidades, 2008.....	80
Cuadro 4.6 Agregación Sectorial Seleccionada para el Modelo de EGC.....	81
Cuadro 4.7 Agregación Factorial de la MCS.....	83
Cuadro 4.8 Variables Exógenas del Modelo de EGC.....	92
Cuadro 5.1 Tabla Resumen Modelo.....	99
Cuadro 5.2 Cuadro Resumen con $\beta=3.7$ para el Experimento 1.....	101
Cuadro 5.3 Cuadro Resumen con $\beta=3.7$ para el Experimento 2.....	103
Cuadro 5.4 Cuadro Resumen con $\beta=4.8$ para el Experimento 1.....	105
Cuadro 5.5 Cuadro Resumen con $\beta=4.8$ para el Experimento 2.....	107
Cuadro 5.6 Cambio porcentual en el PIB resultado de los choques del Experimento 1 ($\beta=3.7$).	110
Cuadro 5.7 Cambio porcentual en el PIB resultado de los choques del Experimento 2 ($\beta=3.7$).	111
Cuadro 5.8 Cambio porcentual en el PIB resultado de los choques del Experimento 1 ($\beta=4.8$).	112
Cuadro 5.9 Cambio porcentual en el PIB resultado de los choques del Experimento 2 ($\beta=4.8$).	113

Índice de Mapas

Mapa 1.1 Países que cuentan con Sistemas de Comercio de Emisiones Regionales, Nacionales y Estatales en Operación en el año 2012.....	14
--	----

RESUMEN

El nivel actual de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) resultado de la utilización de combustibles fósiles como fuente de energía primaria principal en el mundo, ha sido relacionado de manera inequívoca con el cambio climático y su aceleración (IPCC, 2007). El exceso de emisiones de GEI puede ser caracterizado como una asignación ineficiente entre los agentes económicos debido a la presencia de una externalidad negativa; el sistema de precios presente es incapaz de transmitir la información sobre los costos externos de las emisiones que caen sobre las generaciones futuras y otros individuos. Para hacer frente a este desafío es necesario diseñar e implementar medidas de mitigación y adaptación para reducir las emisiones y disminuir las consecuencias económicas y de salud relacionadas con el cambio climático. Debemos llevar a cabo estas medidas para transformar los sistemas de producción, distribución y de consumo. En esta tesis proponemos el uso de un modelo de equilibrio general computable (EGC) para evaluar la implementación de un impuesto a las emisiones en México como parte de su estrategia para hacer frente al desafío del cambio climático.

Palabras clave: impuesto a las emisiones, equilibrio general, simulación micro, cambio climático, mitigación, adaptación.

ABSTRACT

Greenhouse gas (GHG) emissions, resulting from the use of fossil fuels as the main source of primary energy in the world, have been unequivocally related to climate change and its acceleration (IPCC, 2007). The excess of GHG emissions can be characterized as an inefficient allocation among economic agents due to the presence of a negative externality; the current price system is incapable of transmitting information concerning the external costs of emissions that fall on future generations and other individuals. To face this challenge it is necessary to design and implement mitigation and adaptation measures to reduce GHG emissions and diminish the economic and health related consequences of climate change. We must to transform systems of production, distribution and consumption. In this thesis we propose the use of a computable general equilibrium (CGE) model to assess the implementation of an emissions tax in Mexico as part of its strategy to face climate change.

Keywords: carbon tax, general equilibrium, micro-simulation, climate change, mitigation, adaptation

1INTRODUCCIÓN

El Presidente de México, Felipe Calderón Hinojosa, firmó el decreto de la Ley General de Cambio Climático (LGCC) en junio de 2012 que establece la estrategia gubernamental para enfrentar al cambio climático. La LGCC consta de dos ejes rectores: mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y medidas de adaptación. En cuanto a mitigación se establecen *instrumentos regulatorios* (el Inventario Nacional de Emisiones y el Registro Nacional de Emisiones) y *económicos* (sistema voluntario de comercio de permisos de emisiones, es decir, mercado de bonos de carbono; así como el Fondo para el Cambio Climático, entre otros) para el cumplimiento de metas de reducción de emisiones.

El artículo 91 de la LGCC señala que se consideran instrumentos económicos los mecanismos normativos y administrativos de carácter fiscal, financiero o de mercado, mediante los cuales las personas asumen los beneficios y costos relacionados con la mitigación y adaptación del cambio climático, incentivándolas a realizar acciones que favorezcan el cumplimiento de los objetivos de la política nacional en la materia.

Las metas establecidas en la LGCC son las siguientes¹:

- Reducir al año 2020 un treinta por ciento de emisiones con respecto a la línea base; así como un cincuenta por ciento de reducción de emisiones al 2050 en relación a las emitidas en el año 2000. Las metas mencionadas podrán alcanzarse si se establece un régimen internacional que disponga de mecanismos de apoyo financiero y tecnológico por parte de países desarrollados hacia países en desarrollo entre los que se incluye los Estados Unidos Mexicanos. Estas metas se revisarán cuando se publique la siguiente estrategia Nacional.
- La Secretaría de Energía (SENER) en coordinación con la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y la Comisión Reguladora de Energía (CRE), promoverán que la generación eléctrica proveniente de energías limpias alcance por lo menos 35 por ciento para el año 2024.

1 La LGCC fue publicada el 6 de junio en el Diario Oficial de la Federación.

La LGCC establece como principio la corresponsabilidad entre el Estado y la sociedad en general en la realización de acciones para la mitigación y adaptación a los efectos adversos del cambio climático. También, establece como principio la participación ciudadana en la formulación, ejecución, monitoreo y evaluación de la estrategia nacional, planes y programas de mitigación y adaptación a los efectos del cambio climático. En concordancia con los principios anteriores, las acciones de mitigación y adaptación deberán ser coordinadas tanto en su planeación y ejecución entre la sociedad en general.

La LGCC armoniza la normatividad del país con los avances en las negociaciones y acuerdos internacionales. Además, la LGCC identifica y reglamenta los siguientes elementos como parte de la política de cambio climático:

- Una estrategia de desarrollo de bajas emisiones (LEDS),
- Un inventario de Emisiones de GEI,
- Acciones de Mitigación Apropriadas Nacionalmente (NAMAs)

La formación de un marco legal consistente y armónico contribuye a la certidumbre que necesitan los inversionistas para llevar a cabo inversiones en acciones de mitigación y adaptación al cambio climático.

México, un país que ratificó pero no está incluido en el anexo I del Protocolo de Kioto, tiene experiencia en la implementación de los mecanismos de mercado introducidos por el protocolo. Estos mecanismos son:

- Comercio de Emisiones (mercados de carbono).
- Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL).
- Implementación Conjunta.

La experiencia de México se ha enfocado en proyectos MDL, haciendo del país un jugador mundial importante -entre los primeros 5- en este tipo de mecanismo de mercado. En febrero de 2009 México contaba con 189 proyectos de MDL, lo que representa el 6.54% de los proyectos y 2.82% de los créditos de reducción de emisiones (CRE) del total mundial. México cuenta con un potencial estimado de generación de 30,000 CRE al año. Del total de proyectos, 55.3% ya están suscritos. Esto demuestra madurez en este mecanismo de mercado, dado que el porcentaje mundial es de 30.4%. Esto se debe principalmente a dos factores. El primero es el involucramiento de organizaciones experimentadas, un número pequeño de promotores como Ecosecurities y AGCert, en la implementación de proyectos MDL. Segundo, el firme apoyo de la autoridad nacional designada, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), que ha tomado la iniciativa de atraer el número más alto de inversionistas y contribuye para minimizar el costo de los proyectos con respecto al cumplimiento de la regulación para implementar un proyecto MDL. El alto y creciente número de proyectos MDL implementados en México se espera que cumplan con el objetivo dual establecido por el artículo 12 del Protocolo de Kioto, reducir las emisiones globales de GEI y contribuir con el desarrollo nacional sustentable (Lejano y Muñoz-Meléndez, 2012). Sin embargo, los proyectos MDL no han alcanzado este último objetivo, ya que las consideraciones socioeconómicas regionales no han sido adecuadamente incorporadas, esto pone de manifiesto la necesidad de transitar más allá del régimen de mercado simplista e idealizado de transacciones granulares entre compradores y vendedores (Lejano et al., 2010).

Como una contribución a la formulación y evaluación de los instrumentos económicos establecidos en la LGCC y considerando la experiencia de México en los mecanismos de mercados de carbono, esta disertación examina el efecto de la implementación impuestos a las emisiones de GEI en la reducción de emisiones y en el producto interno bruto (PIB) en México. Para modelar el efecto utilizamos el modelo Global Trade Analysis Project (GTAP) estándar de equilibrio general computable (EGC) implementando las recomendaciones de Perroni y Wigle (1997) con respecto al modelaje de políticas ambientales. El resultado es el presente documento que consta de cinco capítulos.

El capítulo 1 define lo que entendemos por cambio climático. Se establece el vínculo entre el incremento en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), debido al uso de combustibles fósiles como fuente principal de energía primaria en las economías actuales, y el incremento en el promedio de temperatura global y su variabilidad. En este capítulo se enlistan posibles consecuencias del cambio climático en México. En la sección 1.2 se relata el desarrollo de las instituciones internacionales diseñadas para hacer frente al cambio climático. Se pone especial atención al Protocolo de Kioto. La sección 1.3 destaca aspectos de la Ley General de Cambio Climático (LGCC) como los instrumentos económicos introducidos en la ley, las sanciones contempladas y los objetivos o metas aspiracionales declaradas en el documento.

El capítulo 2 introduce el marco teórico-conceptual de este trabajo de investigación. En él se define al exceso de emisiones de GEI como una externalidad negativa. En la sub-sección 2.1.1 presentamos dos definiciones complementarias de externalidad que nos ayudan a clarificar nuestro objetivo. En la sección 2.2 se presentan los impuestos pigouvianos y la lógica que está detrás de su concepción. En 2.3 revisamos la crítica de Coase con respecto a los impuestos pigouvianos. En 2.4 se discute las circunstancias que determinan la elección del instrumento de política ambiental. La elección se limita a los instrumentos de cantidad, sistemas de permisos de emisión comerciables, y a los instrumentos de precio, impuestos a las emisiones de GEI. En la sección 2.5 se discute sobre la elección del marco teórico más pertinente para realizar el análisis cuantitativo. Se destacan las características del análisis de equilibrio parcial y de equilibrio general. En 2.6 se presenta un breve recuento de la teoría de equilibrio general.

En el capítulo 3 se presenta una breve revisión de bibliografía que tiene la intención de introducir al lector a la literatura que utiliza los modelos de EGC como herramienta de análisis cuantitativo. En la sección 3.1 se refiere al origen teórico del modelo. Se enumeran las ventajas y desventajas de este enfoque metodológico. En la sección 3.4 se identifican tres grandes líneas de investigación definidas por los trabajos pioneros de Johansen (1960),

Harberger (1962) y Adelman y Robinson (1978). La sección 3.5 se enfoca en los modelos de EGC que han sido utilizados para la evaluación de políticas ambientales.

En el capítulo 4 se describen las características del modelo de EGC que sirve como herramienta de análisis cuantitativo en este trabajo de investigación. La sección 4.1 se enfoca en una de las partes del modelo: la matriz de contabilidad social (MCS). En 4.1.1 presentamos la base de datos GTAP versión 6 que fue elegida como fuente de información del modelo. En el resto de esta sección se define la agregación regional, sectorial y factorial de la MCS. En 4.2 se presenta la estructura del modelo estándar GTAP. Se describen las relaciones y las ecuaciones de comportamiento que conforman el modelo. Se detallan las ecuaciones que gobiernan el comportamiento de las empresas y de los consumidores. En 4.3 y 4.4 se definen las cerraduras del modelo. Terminamos este capítulo con una propuesta metodológica realizada por Perroni y Wigle (1997) para utilizar el modelo GTAP para modelar la implementación de un impuesto a las emisiones de GEI.

En el capítulo 5 se reportan los resultados obtenidos al implementar la propuesta de Perroni y Wigle (1997). Se detallan los dos experimentos realizados con valores de parámetros distintos (diga cuántos y cuáles fueron éstos) para obtener una idea sobre la consistencia en los resultados de las simulaciones. Se reportan los resultados de dos casos extremos: el caso Leontief y el caso Cobb-Douglas. En el primero no se permite la sustitución de insumos para reducir las emisiones. Una reducción de las emisiones solo se presentará solo por medio de una reconfiguración de la producción. En el segundo caso permitimos la sustitución de insumos.

Esta tesis termina con una discusión de las conclusiones, recomendaciones y agenda de investigación futura.

CAPÍTULO 1: MARCO CONTEXTUAL

Este capítulo presenta el marco contextual que servirá como base del análisis cuantitativo a desarrollarse en el capítulo 4. En la sección 1.1 se define lo que entendemos como el fenómeno del Cambio Climático. Se describe el proceso que va del incremento en las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), al incremento en la temperatura promedio global y sus posibles efectos en el sistema climático que acarrearán consecuencias naturales y socioeconómicas. En la sección 1.2 se relata el surgimiento de las instituciones y acciones internacionales y nacionales para enfrentar al cambio climático. En la sección 1.3 se presenta el caso mexicano. Se resaltan las características especiales de la recién aprobada Ley General de Cambio Climático con especial atención a los instrumentos económicos y las metas declaradas por la misma.

1.1 ¿Qué es el Cambio Climático?

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) refiere al Cambio Climático como una variación estadísticamente significativa ya sea en el estado medio del clima o en su variabilidad que persiste por un periodo extendido (típicamente décadas o más tiempo). El cambio climático puede ser debido a procesos naturales internos o forzamientos externos, o a cambios antropogénicos persistentes en la composición de la atmósfera o el uso de la tierra (Baede, 2001: 788).

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC por sus siglas en inglés) en el artículo 1.2 define al cambio climático como un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables.

Por lo tanto, la UNFCCC va un paso más adelante al declarar que el cambio climático es un fenómeno asociado directa o indirectamente a la actividad humana. A continuación se detalla el fenómeno del cambio climático.

1.1.1. Incremento en las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI)

Las emisiones globales de GEI debido a actividades humanas se han incrementado desde la época pre-industrial, con un incremento de 70% entre 1970 y 2004. El dióxido de carbono (CO₂) es el más importante GEI. Sus emisiones anuales se han incrementado entre 1970 y 2004 por alrededor de 80%, de 21 a 38 gigatoneladas (Gt) y representaban alrededor del 77% del total de las emisiones de GEI producidas por la actividad humana en 2004. En este mismo año el 25.9% de las emisiones de GEI provinieron del suministro de energía (Pachauri, 2007: 36).

El nivel en 2007 de emisiones de GEI en la atmósfera son equivalentes a alrededor de 430 partes por millón (ppm) de CO₂, comparados con solamente 280 ppm antes de la Revolución Industrial. Estas concentraciones ya han causado que el planeta se caliente por más de medio centígrado celsius y llevarán a al menos un incremento de medio centígrado celsius en las siguientes décadas, debido a la inercia en el sistema climático (Stern, 2007:iii).

1.1.2. Incremento en la temperatura

El IPCC ha identificado la cadena que va de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), a las concentraciones atmosféricas de los GEI, a forzante radiativo¹, a respuestas y efectos en el clima. El forzante radiativo del sistema climático está siendo dominado por las emisiones de GEI que perduran en la atmósfera.

Se tiene un alto grado de certeza en que el efecto neto promedio global de las actividades

¹ Forzante radiativo es una medida de la influencia que tiene un factor en alterar el balance de la energía de entrada y de salida en el sistema atmosférico de la Tierra y es un índice de la importancia de un factor como un mecanismo potencial de cambio climático. Definición de Pachauri (2007: 36).

humanas desde 1750 ha sido de incrementar la temperatura, con un forzante radiativo de +1.6 [+0.6 a +2.4] W/m² (Pachauri, 2007: 37). Once de doce años entre 1995 y 2006, están clasificados como los años más calurosos en el registro de temperatura global (desde 1850). La tendencia lineal de calentamiento sobre los años que van de 1956 a 2005 (0.13 [0.10 a 0.16]°C por década) es casi el doble que para los cien años que van de 1906 a 2005 (Pachauri, 2007: 30).

Estamos frente a un fenómeno global que tiene consecuencias locales. A continuación presentamos los que se han reconocido como efectos posibles del cambio climático.

1.1.3. Posibles efectos del Cambio Climático

El informe Stern estima un incremento en los costos asociados con eventos extremos del clima (tormentas, huracanes, tifones, inundaciones, sequías y olas de calor) resultado del cambio climático que contrarrestan los beneficios de corto plazo y se incrementan rápidamente a temperaturas más altas. Extrapolaciones simples de los costos asociados eventos del clima extremo por si mismos podrían llegar a 0.5-1% del Producto Interno Bruto (PIB) mundial por año alrededor de 2050, y continuarán incrementándose a medida que el planeta siga calentándose (Stern, 2007: viii).

Sin embargo el mismo informe reconoce que las estimaciones de incremento en la temperatura realizada por los primeros modelos de predicción meteorológica pueden estar subestimadas. Evidencia reciente indica que el incremento en la temperatura puede ser mayor de 2°C-3°C al final del siglo. Con un incremento de entre 5°C-6°C, que es una posibilidad real en el siglo XXI, los modelos existentes estiman un promedio de pérdidas del 5-10% del PIB global, con los países pobres sufriendo costos que exceden el 10% de su PIB.

Los posibles efectos del cambio climático, en un escenario de incremento de la temperatura de 2°C en México, son impactos de índole ambiental, social y económica estrechamente

vinculados. Algunos de esos efectos son:²

- Alteración de los patrones de lluvia, con incrementos en la zona Noroeste del país y del mar Caribe.
- Incremento en número e intensidad de ciclones tropicales y huracanes.
- Reducción en la precipitación en las regiones hidrológicas de Baja California, Noroeste, Pacífico Norte, Cuencas Centrales del Norte y Valle de México.
- Las actividades agrícolas, particularmente las de temporal pueden experimentar una productividad decreciente en incluso la pérdida de cosechas.
- Las actividades pesqueras experimentarán la reducción de las capturas debido a la migración de especies comerciales hacia zonas oceánicas más favorables.
- La reducción de la superficie para actividades pecuarias como consecuencia de la disminución de la precipitación y la recarga de acuíferos.
- El detrimento paulatino de la capacidad de los ecosistemas para brindar servicios ambientales como reguladores del clima, captura de carbono, mantenimiento de la diversidad biológica y fábrica de agua.
- El incremento en la vulnerabilidad de las especies que actualmente se encuentran sujetas a alguna categoría de riesgo y de las endémicas ante la fragmentación de su hábitat o la competencia con especies exóticas invasoras.
- El aumento de las enfermedades transmitidas por vectores como el dengue, el dengue hemorrágico, el paludismo y la malaria.
- Incremento de la morbilidad y mortalidad por olas de calor, enfermedades gástricas y respiratorias agudas y crónicas, particularmente en los grupos de población más vulnerable.
- La afectación de la infraestructura petrolera, carretera, de transmisión de energía eléctrica y de telefonía.
- El incremento del número de personas en condiciones de pobreza, particularmente alimentarias y de capacidades como consecuencia de la disminución de la producción

² Estos son los impactos que se declaran en los antecedentes del decreto de Ley General de Cambio Climático recién firmada por Ejecutivo Federal en México (fue firmada el 5 de junio de 2012).

de alimentos y por el desplazamiento de poblaciones hacia zonas no afectadas por desastres naturales asociados al cambio climático.

- La constante desviación de recursos presupuestales de los tres órdenes de gobierno para hacer frente a los impactos adversos del cambio climático y para auxiliar a la población afectada.

El informe Galindo estima que en México los costos totales del cambio climático alcanzarían en el año 2100, con una tasa de descuento del 4%, alrededor del 6.2% del PIB, excluyendo actividades pecuarias y eventos extremos, y alza del nivel del mar y los costos fuera del mercado en biodiversidad y vidas humanas (Galindo, 2007:54).

1.2 Marco Institucional para hacer frente al Cambio Climático

La creación del marco institucional desarrollado para hacer frente al cambio climático se originó por la aparición de un movimiento medioambientalista mundial que surgió debido al descubrimiento de un agujero en la capa de ozono y a la publicación del reporte de la Comisión Brundtland, llamado *Nuestro Futuro Común*, en 1987 (Bondasky, 2001:23).

A continuación se presenta una breve descripción del desarrollo del marco institucional internacional y nacional que tiene como objetivo hacer frente al problema del cambio climático.

En 1985 se llevó a cabo la Conferencia de Villach, los organizadores fueron la Organización Meteorológica Mundial (WMO por sus siglas en inglés) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP por sus siglas en inglés). Las conclusiones de esta conferencia se centró en reconocer la alta probabilidad de un cambio significativo en el clima. La recomendación principal fue que los Estados deberían iniciar a considerar una convención global sobre el clima.

Toronto, Canadá en 1988 fue la sede de la “Conferencia sobre la Atmósfera Cambiante”. Las conclusiones fueron que las emisiones globales de CO₂ deben reducirse en 20% para el año

2005 y que los Estados deberían desarrollar una convención marco exhaustiva sobre una Ley para la Atmósfera. En este mismo año, la Asamblea General de las Naciones Unidas reconoció por primera vez que el cambio climático era una “preocupación común para la humanidad”.

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés), fue establecido en 1988, a iniciativa de la Organización Meteorológica Mundial y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Actualmente 195 países pertenecen a esta organización. El IPCC es la institución internacional líder en la evaluación del cambio climático. Su misión es proveer al mundo una visión científica clara sobre el estado actual del conocimiento sobre el cambio climático y sus efectos ambientales y socio-económicos potenciales (IPCC, 2012a).

El IPCC es una organización científica. Su principal labor es analizar y evaluar la información científica, técnica y socioeconómica relevante producida mundialmente más reciente con el fin de entender el fenómeno del cambio climático. El IPCC no lleva a cabo investigación ni monitorea información sobre la atmósfera o sus parámetros.

Los documentos más influyentes generados por el IPCC son los reportes de evaluación conocidos comúnmente por las siglas AR. Hasta el momento se han presentado cuatro reportes de evaluación. El proceso de elaboración del quinto reporte se está llevando a cabo en la actualidad y está planeada su presentación final en octubre de 2014 (IPCC, 2012b). En 1990, el IPCC presentó su primer reporte de evaluación (AR1), en donde se reconoce que el promedio global de temperatura probablemente se incrementará por alrededor de 0.3°C por década bajo el escenario inercial (Bondasky, 2001:26). En 1995 se presentó el AR2 por parte del IPCC y este concluye que el balance de la evidencia sugiere una influencia humana discernible en el clima global. Es decir, en ese momento era posible observar los primeros efectos del cambio climático.

Como una estrategia internacional para enfrentar el problema del cambio climático, en 1991

se creó el tratado internacional conocido como la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC por sus siglas en inglés). El objetivo del tratado es considerar cooperativamente los cursos de acción posibles para limitar el incremento del promedio de temperatura global y el cambio climático resultante, y para elaborar e implementar estrategias de mitigación. Como un primer paso, los países industrializados acordaron reducir sus emisiones de CO₂ a sus niveles de 1990 en el año 2000. Desafortunadamente, los compromisos de reducción de emisiones no fueron legalmente vinculantes. El UNFCC fue abierto para firmarse por los Estados en la Cumbre de la Tierra de Río. Para el 20 de julio de 1998, la UNFCC había sido ratificada por 175 países y la Unión Europea.

Cinco años después de la Cumbre de la Tierra de Río líderes mundiales se reúnen en la Asamblea General de las Naciones Unidas para revisar el progreso en la implementación de los compromisos realizados en 1992. En diciembre de 1997, en Kioto, Japón, las negociaciones del Protocolo concluyen con la adopción de metas legalmente vinculantes de reducción para todos los países industrializados. El Protocolo incluye provisiones para el comercio de permisos de emisión entre países industrializados.

1.2.1. Protocolo de Kioto

El Protocolo de Kioto es un acuerdo internacional vinculado con el UNFCC. La característica más sobresaliente del protocolo es que establece metas vinculantes para 37 países industrializados y la Comunidad Europea para reducir las emisiones de GEI. El efecto nominal total del protocolo es una reducción de 5.2% en las emisiones comparado con los niveles de emisiones de 1990. La mayor diferencia con respecto al UNFCC es que en la convención los países industrializados son alentados a estabilizar sus emisiones de GEI, el protocolo los compromete a estabilizar las emisiones.

Bajo el Protocolo de Kioto los países deben cumplir con sus metas principalmente por medidas nacionales. Sin embargo, el protocolo también establece mecanismos para

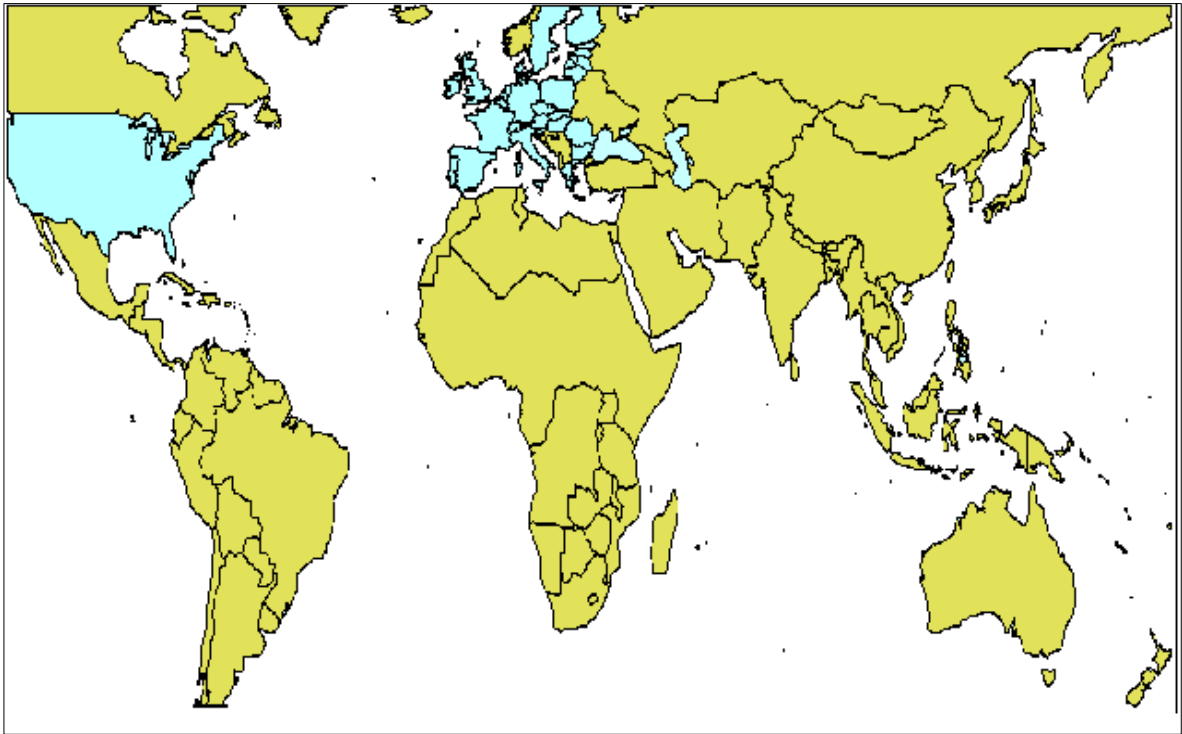
coordinar los esfuerzos de mitigación de los GEI entre los países. Estos se dividen en tres:

- Comercio de Permisos de Emisión (conocido como “mercados de carbono”).
- Mecanismos de Desarrollo Limpio.
- Implementación Conjunta.

Los mecanismos ayudan a estimular la inversión verde y ayuda a las partes a cumplir sus metas de emisiones de una manera costo-efectiva.

En el mapa 1.1 se señalan los países, regiones o estados que en la actualidad tienen en operación algún tipo de sistema de comercio de emisiones.

Mapa 1.1 Países que cuentan con Sistemas de Comercio de Emisiones Regionales, Nacionales y Estatales en Operación en el año 2012.



Fuente: Elaboración propia con ShadeMap con información del Departamento de Cambio Climático y Eficiencia Energética del Gobierno Australiano, ver <http://www.climatechange.gov.au/government/international/global-action-facts-and-fiction/ets-by-country.aspx> accesado el 8/6/2012.

Descripción: Los países en verde claro son los que para el año 2012 tienen operando un sistema de comercio de emisiones ya sea regional, nacional o estatal. Los países en verde oscuro son aquellos que para el año 2012 no tenían en operación un sistema de comercio de emisiones.

1.3 Situación en México

México se ha presentado como un líder global en la necesidad de alcanzar una respuesta coordinada en la adopción de medidas para enfrentar al cambio climático. Los esfuerzos de la administración del Presidente Calderón fueron plasmados en la nueva Ley General de Cambio Climático. A continuación se detallan algunos aspectos para los fines que persigue este trabajo de investigación contenidos en la LGCC.

1.3.1. Ley General de Cambio Climático (LGCC)

El pleno del Senado de la República aprobó el 6 de diciembre de 2011 por 72 votos a favor, 12 votos en contra y 1 abstención el proyecto de Ley General de Cambio Climático. En sesión celebrada el 12 de abril de 2012 el pleno de la Cámara de Diputados aprobó con 280 votos a favor, 10 en contra y 1 abstención la minuta con proyecto de decreto por la que se expide la Ley General de Cambio Climático (LGCC). Finalmente, el 5 de junio de 2012 el Presidente de México, Felipe Calderón Hinojosa firmó el decreto de la LGCC.

En la sección de antecedentes de la LGCC se señala que las Comisiones Unidas dictaminadoras observan que la política nacional en materia de cambio climático adolece de disposiciones normativas concretas que coadyuven a enfrentar las múltiples amenazas que este tema impone a nuestro país y al mundo. Por ello se considera que las disposiciones jurídicas que contiene la Minuta que se dictamina constituyen una de las aportaciones más significativas que pueden subsanar esa ausencia.

El artículo 1o. de la LGCC señala que el objetivo de esta ley es establecer un conjunto de disposiciones para enfrentar los efectos adversos del cambio climático. El artículo 2o. de la LGCC señala que tiene por objeto garantizar el derecho a un medio ambiente sano y establecer la concurrencia de facultades de los tres ordenes de gobierno: federación, estados y municipios. Además, regular las emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero para lograr la estabilización de sus concentraciones en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenicas peligrosas en el sistema climático. Regular las acciones para la mitigación y adaptación al cambio climático.

El artículo 7o. inciso I. de la LGCC atribuye a la federación la facultad de formular y conducir la política nacional en materia de cambio climático. El inciso IX de este artículo le otorga a la federación la facultad de crear, autorizar y regular el comercio de emisiones. En el inciso XXVII se otorga la atribución de expedir las disposiciones reglamentarias y normas oficiales mexicanas en las materias previstas por esta ley, así como vigilar su cumplimiento.

El artículo 13o. de la LGCC crea el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). El artículo 15 inciso VI de la LGCC señala que el INECC tiene por objeto evaluar el cumplimiento de los objetivos de adaptación y mitigación previstos en esta Ley, así como las metas y acciones contenidas en la Estrategia Nacional, el Programa y los programas de las entidades federativas a que se refiere este ordenamiento.

El artículo 22 inciso III de la LGCC otorga la atribución al INECC de participar en el diseño de instrumentos económicos, fiscales, financieros y de mercado, vinculados a la política nacional en materia de medio ambiente y cambio climático. El capítulo IX de la LGCC trata sobre los instrumentos económicos. El artículo 91 establece que la Federación, los Estados y el Distrito Federal, en el ámbito de sus respectivas competencias, diseñarán, desarrollarán y aplicarán instrumentos económicos que incentiven el cumplimiento de los objetivos de la política nacional en materias de cambio climático.

1.3.1.1 Instrumentos Económicos en la LGCC

El artículo 91 señala que se consideran instrumentos económicos los mecanismos normativos y administrativos de carácter fiscal, financiero o de mercado, mediante los cuales las personas asumen los beneficios y costos relacionados con la mitigación y adaptación del cambio climático, incentivándolas a realizar acciones que favorezcan el cumplimiento de los objetivos de la política nacional en la materia.

El artículo 92 define que se consideran instrumentos económicos de carácter fiscal, los estímulos fiscales que incentiven el cumplimiento de los objetivos de la política nacional sobre el cambio climático. En ningún caso, estos instrumentos se establecerán con fines exclusivamente recaudatorios.

El artículo 92 define a los instrumentos financieros como los créditos, las fianzas, los seguros de responsabilidad civil, los fondos, fideicomisos, cuando sus objetivos estén dirigidos a la

mitigación y adaptación al cambio climático; el financiamiento de programas, proyectos, estudios e investigación científica y tecnológica o para el desarrollo y tecnología de bajas emisiones en carbono.

El artículo 92 define a los instrumentos de mercado como las concesiones, autorizaciones, licencias y permisos que corresponden a los volúmenes preestablecidos de emisiones, o bien, que incentiven la realización de acciones de reducción de emisiones proporcionando alternativas que mejoren la relación costo-eficiencia de las mismas. Las prerrogativas derivadas de los instrumentos económicos de mercado serán transferibles, no gravables y quedarán sujetos al interés público.

El artículo 94 declara que la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), con la participación de la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático y el Consejo de Cambio Climático podrá establecer un sistema voluntario de comercio de emisiones con el objetivo de promover reducciones de emisiones que puedan llevarse a cabo con el menor costo posible, de forma medible, reportable y verificable. Adicionalmente, el artículo 95 establece que los interesados en participar de manera voluntaria en el comercio de emisiones podrán llevar a cabo operaciones y transacciones que se vinculen con el comercio de emisiones de otros países, o que puedan ser utilizadas en mercados de carbono internacionales en los términos previstos por las disposiciones jurídicas que resulten aplicables.

1.3.1.2 Sanciones en la LGCC

Las únicas sanciones económicas que forman parte de la LGCC están relacionadas con la presentación de información por parte de las partes requeridas. La ley no va más allá en desarrollar un marco legal para enfrentar al cambio climático. Deja la puerta abierta para la creación de leyes sobre la materia en el futuro.

El artículo 114 de la LGCC declara que en caso de que las personas físicas o morales

responsables de las fuentes emisoras sujetas a reporte no entreguen la información, datos o documentos requeridos por la SEMARNAT en el plazo señalado, la Procuraduría Federal de Protección al Medio Ambiente (PROFEPA) podrá imponer una multa de quinientos a tres mil días de salario mínimo general vigente en el Distrito Federal, sin menoscabo del cumplimiento inmediato de dicha obligación. Se establece en el artículo 115, que en caso de encontrarse falsedad en la información proporcionada, así como incumplir con los plazos y términos para su entrega, la PROFEPA aplicará una multa de tres mil hasta diez mil días de salario mínimo general vigente en el Distrito Federal. La multa será independiente de cualquier otra responsabilidad de los órdenes civil y penal que pudieran derivarse. En caso de reincidencia, el monto de la multa podrá ser hasta por tres veces del monto originalmente impuesto.

1.3.1.3 Objetivos o Metas Aspiracionales en la LGCC

La LGCC establece en el artículo segundo transitorio el objetivo indicativo o meta aspiracional de reducir al año 2020 un treinta por ciento de emisiones con respecto a la línea base; así como un cincuenta por ciento de reducción de emisiones al 2050 en relación con las emitidas en el año 2000.

En el apartado II del artículo tercero transitorio inciso d se declara que para el año 2020, acorde con la meta-país en materia de reducción de emisiones, la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) en coordinación con la Secretaría de Energía (SENER) y la Comisión Reguladora de Energía (CRE), deberán tener constituido un sistema de incentivos que promueva y permita hacer rentable la generación de electricidad a través de energías renovables, como la eólica, la solar y la minihidráulica por parte de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), y en el inciso e se establece que la SENER en coordinación con la CFE y la CRE, promoverán que la generación eléctrica proveniente de energías limpias alcance por lo menos 35 por ciento para el año 2024.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL

Este capítulo presenta el enfoque teórico conceptual que servirá como base a este trabajo de investigación. En la sección 2.1 se define al exceso de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) como una externalidad negativa. En 2.1.1 se presentan dos definiciones de externalidad. Esto es con el fin de introducir un enfoque preciso sobre nuestro problema. En 2.2 se expone, por medio de un sencillo modelo analítico, la conveniencia de la implementación de los impuestos pigouvianos. En 2.3 se muestran los argumentos de Coase (1960) con respecto a la definición de la situación y su respuesta apropiada. En 2.4 se presenta una breve exposición sobre la importancia de la selección del instrumento de control sobre la variable relevante. En 2.5 se delinea una discusión sobre la pertinencia de emplear un marco de equilibrio general con respecto a un marco de equilibrio parcial. En 2.6 se plantea un esbozo de la Teoría de Equilibrio General. Recapitulando, la sección 2.7. expone de manera resumida los fundamentos teóricos presentados en detalle a lo largo de este capítulo.

2.1 El Exceso de Emisiones de GEI como una Externalidad Negativa

El nivel actual de las emisiones GEI resultado de la utilización de combustibles fósiles como fuente de energía primaria principal en todas las economías de nuestro planeta¹, ha sido relacionado de manera inequívoca como contribución mayoritariamente responsable del cambio climático y de la aceleración del mismo (IPCC, 2007); si bien es importante reconocer que el fenómeno climático tiene un componente natural, la contribución principal proviene del elemento antropogénico.

El cambio climático antropogénico se ha convertido en una seria causa de preocupación para las políticas públicas, tanto desde una perspectiva global como desde el punto de vista de las

¹ En el 2010, el 87% de la energía primaria consumida tenía como fuente el petróleo, gas natural y carbón (BP, 2012).

afectaciones de carácter local que el ser humano ha provocado en el clima, que, a su vez, conllevan serios riesgos para la viabilidad del progreso económico, del bienestar y de la salud (Galindo, 2009).

Ante esta problemática es necesario diseñar y poner en marcha políticas públicas diseñadas deliberadamente para reducir el nivel actual de emisiones de GEI, mitigar y adaptarse a los efectos al cambio climático que permitan disminuir los daños económicos y de salud asociados al mismo, así como transformar los sistemas de producción, distribución y consumo para reducir la vulnerabilidad económica y social ante estos fenómenos.

El enfoque teórico de este trabajo de investigación se inscribe en la teoría económica neoclásica. En particular, se emplea la teoría de la economía del bienestar que utiliza técnicas microeconómicas para evaluar el bienestar económico.

El exceso de emisiones de GEI es analizado como una situación en la cual los agentes económicos exhiben este resultado ineficiente debido a que están en presencia de un fenómeno conocido en la teoría microeconómica como una externalidad negativa.

Muchas externalidades se caracterizan por la naturaleza de los bienes públicos. La fuente básica del problema es la naturaleza inagotable de los bienes o males públicos. El hecho que el incremento en el consumo de un individuo no reduzca su disponibilidad para otros. En este fenómeno no existe rivalidad en su consumo. Ni posible exclusión de sus efectos. La situación empeora para todos los habitantes del planeta. Estamos en presencia de un mal público (Baumol y Oates, 1988: 18).

La presencia de una externalidad negativa en una economía de mercado resulta en una asignación de consumo y producción ineficientes. Esto se debe a que el sistema de precios es incapaz de transmitir fielmente la información de los costos externos derivados de la presencia de la externalidad negativa.

Para que el sistema de precios incorpore la información requiere un vector de precios que presente una asimetría fundamental: requiere un nivel de precios para los consumidores (víctimas) de la externalidad y un nivel de precios diferente para su productor o fuente. No existe un precio de mercado normal que pueda satisfacer este requisito de asimetría. Esto se debe a que el comprador de un producto paga p pesos por este, y el vendedor debe, por la naturaleza recíproca de una transacción de mercado, recibir p pesos por el mismo. Lo que se necesita no es un precio ordinario sino un instrumento fiscal con la propiedad de asimetría que posee un impuesto pigouviano (Baumol y Oates, 1988: 15).

Por la relevancia teórica que tiene el concepto de externalidad en este trabajo de investigación, en la siguiente sección se presentan distintas definiciones de externalidad relevantes para los fines que persigue este trabajo.

2.1.1 Definición de Externalidad

A.C. Pigou propuso la siguiente definición de externalidad, sin llamarla con este nombre:

La esencia de la cuestión es que una persona A, en el proceso de proveer un servicio, por el cual recibe un pago, a una segunda persona B, también provee un servicio positivo o negativo a otras personas (no a los productores de servicios similares), de tal tipo que no se puede obtener un pago de la parte beneficiada o una compensación para la parte perjudicada (Cita tomada de Ekins, 2000: 25-26 del original Pigou, 1932: 183).

Por ejemplo, un productor de energía eléctrica en el proceso de proveer energía eléctrica a los consumidores también emite emisiones de GEI por las cuales no realiza ningún pago o compensación a los afectados. Es decir, el productor de energía produce una externalidad negativa que resulta en una emisión de GEI subóptima.

Baumol y Oates (1988), definen a una externalidad por medio de dos condiciones a satisfacer:

Condición 1. Una externalidad esta presente cuando las relaciones de utilidad o de producción de algún individuo (llamémosle individuo A) incluyen variables reales (esto es, no-monetarias), cuyos

valores son escogidos por otros (personas, corporativos, gobiernos) sin particular atención a los efectos que producen en el bienestar del individuo A.

Condición 2. El tomador de decisiones, cuya actividad afecta los niveles de utilidad de terceros no se incorpora a sus funciones de producción, no recibe (o paga) compensación por esta actividad una cantidad igual en valor al beneficio (o costo) que resulta para terceros.

La función de utilidad de un individuo incluye la variable real nivel de emisiones de GEI porque afecta su bienestar por medio de los efectos negativos del cambio climático. El valor de este efecto negativo no es determinado por el individuo, es el resultado de las decisiones de los agentes que emiten las emisiones en su conjunto. El nivel de emisiones no se determina con atención a los efectos que producen en el bienestar del individuo. Además, el tomador de decisiones que contribuye al exceso de emisiones no paga una compensación a los afectados, todos los individuos, por esta actividad.

Estas externalidades pueden ser positivas y negativas. Un ejemplo de externalidad positiva es el efecto que tiene una casa bien pintada y conservada en el bienestar de la gente que vive o pasa por ahí. En el caso contrario, una externalidad negativa serían las emisiones de GEI que produce un automóvil al transportar a un individuo a su destino que no están reflejadas en el costo que tiene el viaje para el individuo al realizarlo. En ambos casos, las decisiones económicas de los agentes no toman en cuenta los efectos positivos o negativos que produce su acción en terceros interesados sino a su propia maximización de utilidad sujeta a su restricción presupuestal individual.

Para corregir esta ineficiencia de mercado, en la siguiente sección se presenta un análisis formal que nos dirigirá en el sentido de encontrar el sistema de precios que incorpore las externalidades. Este sistema introduce los impuestos pigouvianos. Un impuesto pigouviano sirve para internalizar los costos externos del exceso de emisiones de GEI que imponen los productores en el conjunto de la sociedad.

2.2 Los Impuestos Pigouvianos

La implementación de impuestos pigouvianos se fundamenta en que este tipo de impuesto debe transmitir de manera completa al productor o consumidor el costo de la externalidad para modificar su comportamiento para alcanzar el máximo social de utilidad posible. De esta manera, este enfoque presupone que la intervención gubernamental es fundamental para corregir la imperfección de mercado que se presenta por la presencia de las externalidades.

En esta sección se presenta una adaptación, apropiada para nuestros objetivos, de la formulación planteada en Cropper y Oates (1992: 678-680). Se caracteriza al exceso de emisiones de GEI como un mal público (Q) que resulta de la generación de descargas ambientales/atmosféricas (E) asociadas con la producción de bienes privados. Las relaciones básicas pueden expresarse de una forma abreviada de la siguiente manera:

$$U=U(X,Q) \quad (1)$$

$$X=(L,E,Q) \quad (2)$$

$$Q=Q(E) \quad (3)$$

La ecuación (1) representa la función de utilidad del agente representativo que es una función de un vector de bienes consumidos (X) y del mal público (Q). La ecuación (2) es la función de producción de la economía que es una función que depende de un vector de insumos tradicionales como trabajo y capital (L), del mal público (Q) y del nivel de las descargas ambientales/atmosféricas (E). La ecuación (3) es una función que representa el nivel del mal público que es una función que depende del nivel de descargas ambientales/atmosféricas.

Las funciones (1)-(3) pueden tomar cualquier forma funcional en tanto cumplan con el siguiente conjunto de supuestos con respecto al signo de sus primeras derivadas parciales:

$$\frac{\partial U}{\partial X} > 0, \frac{\partial U}{\partial Q} < 0, \frac{\partial X}{\partial L} > 0, \frac{\partial X}{\partial E} > 0, \frac{\partial X}{\partial Q} < 0, \text{ y } \frac{\partial Q}{\partial E} > 0.$$

Las primeras derivadas parciales de (1) nos indican dos cosas: el nivel de utilidad se incrementa si alguno de los bienes en el vector X se incrementa. También nos dice que si el

nivel de mal público se incrementa, el nivel de utilidad disminuye. De la manera análoga se interpretan el resto de las primeras derivadas parciales de las ecuaciones (2) y (3).

Es importante notar que la función de producción (2) incluye un vector de insumos convencionales (L), como trabajo y capital, la cantidad de descargas ambientales/atmosféricas (E) y el nivel del exceso de emisiones (Q). En esta configuración, las descargas ambientales/atmosféricas son tratadas como otro factor de producción. Esto es razonable, porque intentos de reducir el nivel de descargas ambientales/atmosféricas involucrarán la reasignación de otros insumos para las actividades de mitigación, y de esta manera reducirán su disponibilidad de estos insumos en la producción del bien privado. Reducciones en (E) resultan en una disminución de producción.

La función de producción también incluye como argumento el nivel de emisiones (Q), ya que este nivel puede tener efectos negativos sobre la producción. El nivel del exceso de emisiones de GEI, (Q), es alguna función del vector de descargas ambientales/atmosféricas (E). En el caso más simple, (Q) puede ser tomado como igual a la suma de las descargas ambientales/atmosféricas de todos los productores.

Con esta formulación es directo realizar el ejercicio de maximizar la utilidad del consumidor representativo (o grupo de individuos) sujetos a las restricciones (2) y (3) junto con una restricción adicional que refiera a la disponibilidad de los recursos naturales. Este ejercicio produce un conjunto de condiciones de primer orden necesarias para obtener un resultado Pareto-óptimo.

Una asignación de bienes es Pareto-óptima si utiliza los recursos iniciales y posibilidades tecnológicas de la economía eficientemente, en el sentido que no existe una forma alternativa para organizar la producción y distribución de bienes de manera que al menos un consumidor este mejor sin que otro consumidor este en una situación peor (Mas-Colell et al., 1995 :313).

En particular, es de nuestro interés la condición de primer orden que toma la forma:

$$\frac{\partial X}{\partial E} = - \left[\sum \left(\frac{\partial U}{\partial Q} \frac{\partial Q}{\partial E} \right) / \left(\frac{\partial U}{\partial X} \right) + \sum \left(\frac{\partial X}{\partial Q} \frac{\partial Q}{\partial E} \right) \right] \quad (5)$$

La ecuación (5) nos indica que las empresas que producen las emisiones de GEI deben producir sus descargas ambientales/atmosféricas hasta el punto en el que el producto marginal de estas emisiones sea igual a la suma de los daños marginales que imponen sobre los consumidores y sobre los productores. En la ecuación (5) la suma del daño marginal a los consumidores es la primera de las sumatorias y la segunda es la suma de los daños marginales a los productores.

Entendido de otra manera, las medidas de control del exceso de emisiones deben ser perseguidas por cada agente contaminante hasta el punto en el que los beneficios marginales de la disminución de emisiones sea igual a costo marginal de mitigación.

El siguiente paso en este ejercicio es derivar las condiciones de primer orden que caracterizan un equilibrio en un mercado competitivo. Aquí encontramos que las empresas competitivas con libre acceso a los recursos ambientales continuarán participando en actividades contaminantes hasta que el beneficio marginal sea cero, esto es cuando $\frac{\partial X}{\partial E} = 0$. De esta manera obtenemos el resultado conocido debido a la incapacidad de los productores de internalizar las externalidades que imponen sobre los demás lo que resultará en niveles socialmente excesivos de emisiones de GEI.

La recomendación de política pública que se deriva de este resultado es que los agentes contaminadores deben ser confrontados con un precio que sea igual al costo marginal de la externalidad que los obligue a internalizar el costo social completo de sus actividades. Este impuesto es lo que conocemos como “impuesto pigouviano”. Este es una sobretasa que se impone al agente contaminador igual a daño social marginal que produce. En la formulación que se presenta este impuesto pigouviano es igual a la expresión en la ecuación (5).

Es importante notar que el impuesto unitario debe ser cobrado directamente a la actividad contaminadora, no a un insumo o producto relacionado. Al asumir cierto grado de sustitución entre los insumos de la producción, el impuesto pigouviano tomará la forma de un impuesto por unidad de emisiones de GEI, no un impuesto a las unidades de producto o insumo (Cropper y Oates, 1992:680).

Además, la introducción de impuestos pigouvianos sugiere que no es necesaria una compensación para la parte afectada. El impuesto pigouviano en si mismo corregirá el exceso de emisiones sin la necesidad de involucrar a los terceros perjudicados.

2.3 La Crítica de Coase

La solución al problema de las externalidades provista por los impuestos pigouvianos ha encontrado una crítica fundamental que no es posible pasar por alto. Coase (1960) argumenta que un mundo sin costos de negociación, derechos de propiedad bien definidos y costos de transacción bajos, las partes involucradas negociarán hasta llegar a una optimización conjunta. La implementación de impuestos pigouvianos no es necesaria o deseable en este contexto.

En otras palabras, en presencia de costos de transacción bajos y ausencia de comportamiento estratégico, las distorsiones asociadas con las externalidades serán resueltas por medio de negociaciones voluntarias entre las partes interesadas. Esta proposición es conocida como el Teorema de Coase.

El Teorema de Coase refiere que en la situación en que no existan costos en la negociación entre el generador y la víctima de la externalidad, el resultado óptimo se alcanzará en tanto cualquiera de las dos partes posea el derecho de propiedad pertinente.

Esta crítica encuentra que la existencia de externalidades ambientales se debe a que los

derechos de propiedad para el uso de los recursos naturales no existen o están mal definidos. Por lo tanto, una definición clara de los derechos de propiedad daría lugar a la solución de las externalidades ambientales por medio de la negociación privada sin la necesidad de la intervención gubernamental.

En principio, una clara definición legal de todos los derechos de propiedad, que incluyan los recursos naturales de uso común, y de esta manera los conflictos ambientales pueden ser resueltos por medio de una negociación privada entre el agente que produce la externalidad y el agente que es perjudicado/beneficiado por la externalidad. Es decir, por medio de una negociación privada, en ausencia de costos de transacción, los agentes económicos llegarán a la mejor solución sin la intervención de un agente externo como el gobierno (Coase, 1960).

Sin embargo, es probable que no sea posible definir claramente los derechos de propiedad de los recursos naturales ya sea por razones políticas u técnicas. Por ejemplo, no es claro como definir el derecho de propiedad del agua o del aire. En el caso del exceso de emisiones GEI, los derechos de propiedad son particularmente difíciles de definir; ya que si bien es posible identificar las muy variantes y diversas fuentes y volúmenes de emisiones en las diferentes regiones; las emisiones no son específicas a las áreas originales, ya que los gases liberados una vez en la atmósfera se mezclan rápidamente y se distribuyen homogéneamente en el globo terrestre; es más, una gran mayoría de GEI permanecerá por periodos de tiempo largo en la atmósfera. Este hecho imposibilita la negociación privada y claramente los costos de negociación en dado caso serían enormes. En suma, la crítica de Coase es de relevancia limitada para el caso del exceso de las emisiones de GEI.

2.4 Precios vs Cantidades

El instrumento de control sobre la variable relevante para nuestro análisis, el nivel de emisiones de GEI, es de fundamental importancia. Es decir, para una variable económica aislada que necesita ser regulada, ¿cuál es la mejor manera de implementar el control para el beneficio del sistema en general? ¿Es mejor administrar de manera directa la actividad de

nuestro interés o fijar los precios de transferencia y confiar en la maximización de la utilidad o búsqueda del propio beneficio para alcanzar el mismo fin de manera descentralizada? (Weitzman, 1974: 477).

Es importante clarificar el carácter preciso de los instrumentos alternativos de política ambiental que se discutirán en este trabajo de investigación. Como vimos en la sección 2.2, los impuestos pigouvianos son implementados por unidad de emisiones y están igualados al daño social marginal de las emisiones. En contraste, un sistema de permisos de emisión comerciables es un sistema en el cual la autoridad determina efectivamente el nivel agregado de emisiones pero delega al mercado la asignación de las emisiones entre las distintas fuentes. Para implementar este tipo de sistema, la autoridad ambiental emitirá permisos comerciables de emisiones tales que, en el agregado, las emisiones totales estarían en un nivel en el cual se igualaría el costo marginal de mitigación con el daño social marginal. En este sistema, el libre intercambio de estos permisos entre las fuentes emisoras establecería su precio de equilibrio de mercado.

El gobierno puede imponer un precio o un límite cuantitativo a las emisiones. Por un lado, una política de precio típicamente es formulada como un impuesto a las emisiones. Por el otro lado, una política de cantidades usualmente toma la forma de un sistema de permisos de emisiones comerciables.

Es importante señalar que tal sistema de permisos comerciables es fundamentalmente diferente de los instrumentos de “comando y control” para los permisos o licencias. Esto es, bajo un sistema de comando y control, la autoridad ambiental especifica para cada fuente emisora un nivel permitido de emisiones. El nivel de emisiones permitido para cada fuente no es comerciable, por lo cual no existe un mercado de permisos de emisiones bajo este sistema (Baumol y Oates, 1988:58).

Para entender y analizar sistemáticamente la disyuntiva entre controles de precios y controles de cantidad, se presenta una versión modificada de la discusión presentada en Baumol y

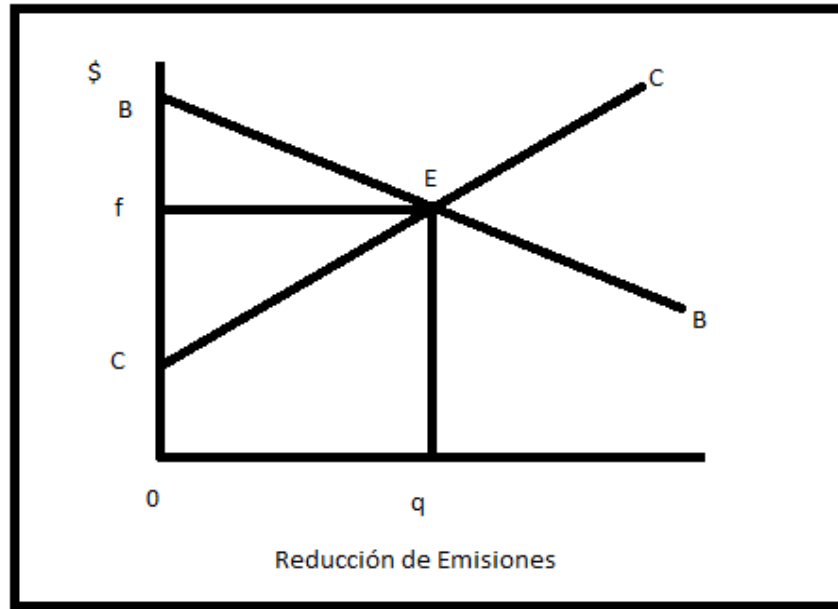
Oates (1988: 59-77). En esta disgresión se emplean los diagramas presentados originalmente en Adar y Griffin (1976) para facilitar la exposición. Asimismo, se utiliza una notación consistente en las gráficas a lo largo de las subsecciones que siguen.

2.4.1 La Equivalencia del Sistema de Permisos de Emisión Comerciables con los Impuestos de Emisión bajo un Escenario de Certidumbre

En un contexto de información completa y ausencia de incertidumbre existe una identidad formal entre el uso de precios y cantidades como instrumentos de planeación. Si existe alguna ventaja al emplear como instrumentos de planeación ya sea a los precios o a las cantidades esta se debe a que estamos en un contexto de información incompleta e incertidumbre (Weitzman, 1974: 480).

Es un resultado conocido que cuando el regulador, que busca maximizar el bienestar social, conoce con certeza las funciones de costos relevantes, daños marginales y mitigación marginal, se obtendrá el mismo resultado mediante un sistema de permisos de emisión comerciables que con un sistema de impuestos a las emisiones. Si el número óptimo de permisos es emitido por el regulador, su precio será subastado en un mercado libre hasta alcanzar precisamente el nivel del impuesto pigouviano. En ese punto, no existirá diferencia para el emisor si paga t pesos en impuestos por unidad de emisiones y lo paga directamente a las autoridades o si paga los mismos t pesos por unidad de emisiones comprando un permiso en el mercado libre de permisos de emisión (Baumol y Oates, 1988:58). Para visualizar claramente este resultado se presenta la gráfica 2.1. En este diagrama el eje horizontal indica la cantidad en la cual el total de emisiones se reducen de su nivel en ausencia de regulación. Por lo tanto, el origen representa una reducción de cero emisiones que ocurrirían en ausencia de una política de control de emisiones.

Gráfica 2.1 Precios vs Cantidades en Ausencia de Incertidumbre



Fuente: Baumol y Oates (1988: 59).

La curva BB representa el beneficio social marginal de la reducción de las emisiones como una función de las emisiones que ya han sido eliminadas. Su pendiente negativa nos indica que a una mayor reducción de las emisiones, el beneficio marginal de una unidad adicional de reducción de emisiones será menor. La curva CC representa el costo marginal de reducción de las emisiones como una función de la cantidad de emisiones que ya han sido eliminadas. Esta curva tiene una pendiente positiva porque el costo de mitigación de las emisiones se incrementa conforme nos acercamos al punto en el cual se eliminan la totalidad de las emisiones.

En la gráfica 2.1 se observa que el punto óptimo es E . En este punto se igualan el beneficio marginal y el costo marginal. El punto E puede ser alcanzado al imponer un impuesto igual a f sobre cada unidad de emisiones. Los emisores encontrarían más costoso pagar el impuesto que adoptar medidas que redujeran sus emisiones hasta el punto en el cual se eliminarían q

unidades de emisiones.

Por otro el otro lado, la solución óptima E puede también ser alcanzada si el regulador ambiental emitiera una cantidad de permisos de emisión suficientes para alcanzar una reducción de q unidades de emisión. Si R es la cantidad de emisiones que se emitiría en ausencia de una política de mitigación gubernamental, los permisos comerciables deberán permitir en total $R-q$ unidades de emisión. Si asumimos que el mercado de los permisos es competitivo, el precio de un permiso (que permite una unidad de emisiones) llegará exactamente a f , que corresponde al costo marginal de mitigación.

Por lo tanto, en un contexto de ausencia de incertidumbre con respecto a las formas de las funciones relevantes, la implementación de un impuesto pigouviano o un sistema de permisos de emisión comerciables tendrán el mismo resultado, que es reducir el nivel de emisiones hasta el nivel óptimo a un costo mínimo para este nivel de control.

2.4.2 Presencia de Incertidumbre con respecto a la Función de Costos

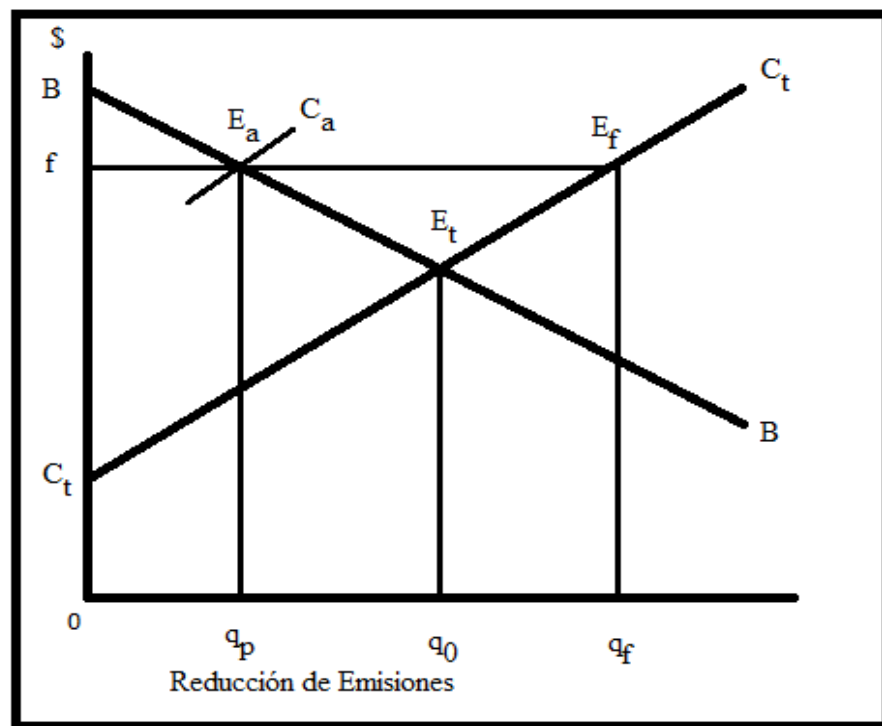
En esta sección se demostrará que cuando el regulador desconoce la posición verdadera de la curva de costos, una intervención gubernamental, en general, no resultará en el punto óptimo. En contraste con el caso anteriormente expuesto, en este contexto si se observarán diferencias en los resultados cuando se implementa un sistema de impuestos pigouvianos y cuando se implementa un sistema de permisos de emisión comerciables. Es decir, en este caso específico no son equivalentes los sistemas. La gráfica 2.2 nos ayuda a ilustrar este caso.

En la gráfica 2.2 se supone que se conoce con certeza la forma de la curva de beneficios marginales, BB , En contraste, la curva de costos marginales, CC , es la que se supone exhibe incertidumbre con respecto a su forma y posición. C_a representa la curva de costos anticipada, y E_a representa el punto óptimo asociado a la misma, y q_p representa la reducción de emisiones resultado de la implementación de un sistema de permisos de emisiones comerciables. Como un ejemplo, C_t representa la curva de costos verdadera, y E_t el punto

óptimo que le corresponde, también q_0 es el punto óptimo correspondiente. f indica el nivel del impuesto pigouviano a las emisiones. E_f está asociado con el punto de equilibrio que se obtiene bajo un impuesto a las emisiones, asimismo, q_f es la reducción de emisiones asociada a la implementación del impuesto.

Si asumimos que el regulador selecciona el impuesto f , o el volumen apropiado de permisos de emisión que resulta en una reducción de las emisiones, q_p , ahora podemos apreciar las consecuencias de la implementación de estos instrumentos regulatorios si la verdadera curva de costos, C_t , se encuentra por debajo de C_a .

Gráfica 2.2 Precios vs Cantidades con Incertidumbre con respecto a la Curva de Costos



Fuente: Baumol y Oates, 1988: 63.

Se observa que si la curva de beneficios marginales tiene pendiente negativa, el punto óptimo

verdadero, el punto E_t , se debe encontrar por debajo y la derecha de óptimo anticipado, E_a , como se observa en la gráfica 2.2. La reducción óptima de emisiones, q_0 , será siempre mayor a q_p . Además, q_f , será mayor que q_p y q_0 . Por lo que se tenemos que $q_p < q_0 < q_f$. Este resultado se presenta si la curva BB tiene pendiente negativa y la curva CC tiene pendiente positiva.

En general, cuando la posición de la curva de costos marginales es más baja a lo anticipado, la reducción de emisiones, generalmente, será inadecuada bajo un sistema de permisos comerciables y excesiva bajo un impuesto pigouviano si ambas políticas son establecidas en sus niveles óptimos *ex ante*; lo contrario será cierto si la verdadera curva de costos marginales es más elevada que la esperada (Baumol y Oates, 1988: 62).

Bajo las condiciones expuestas, el sistema de permisos de emisión comerciable no ofrece flexibilidad para adaptarse al hecho que reducciones adicionales de emisiones son menos costosas de lo que se pensaba al momento de formular la política. Por el otro lado, la implementación de un impuesto pigouviano f , deriva en una reducción de emisiones q_f , que incurre en los mismos costos marginales que inicialmente se pensaban como óptimos. Sin embargo, este impuesto no se adapta al hecho que a un nivel de reducción de emisiones q_f , el beneficio marginal será menor con respecto a su nivel en q_0 , resultado de la disminución de los beneficios marginales al incremento en la reducción de emisiones.

A pesar de que el verdadero valor óptimo, q_0 , se encuentra entre q_f y q_p , las reducciones de emisiones conseguidas por un impuesto a las emisiones o por un sistema de permisos comerciables, respectivamente, no nos brindan ninguna presunción con respecto a si existirá la igualdad en cualquiera de las dos distorsiones cuantitativas respectivas, $|q_f - q_0|$ y $|q_p - q_0|$, o en las pérdidas del excedente del consumidor y productor que resultan de su implementación. En ambos casos, las magnitudes relativas de las distorsiones dependerán de la forma de las curvas de costo y beneficio marginal.

2.4.3 Efecto de la Pendiente de la Función de Beneficios Marginales

En esta sección analizamos el efecto de la pendiente de la función de beneficios marginales en la elección del instrumento de política ambiental.

Si la curva de beneficios marginales cae abruptamente, tiene una pendiente negativa pronunciada, hasta una caída considerable en los costos marginales de mitigación sólo justificarían un incremento pequeño en la reducción de emisiones porque la reducción adicional en las emisiones serían de poco valor para la sociedad. Es decir, el caso en el que la cantidad que el regulador seleccionó como punto óptimo basado en su estimación *ex ante*, resultará ser muy cercana a la correcta, por lo que un sistema de permisos de emisión comerciables alcanzará en resultado muy cercano al verdadero punto óptimo.

Cuando los beneficios marginales se reducen poco a medida que se incrementa q , entonces a pesar del error en la estimación de la función de costos, el valor óptimo del verdadero costo de mitigación resultará ser muy cercano a su valor estimado *ex ante*, y el impuesto a las emisiones correspondiente se acercará a producir el resultado deseado.

Si los beneficios marginales se mantienen relativamente constantes sobre las reducciones de emisiones relevantes, la pendiente de la curva es plana, entonces el impuesto a las emisiones, a pesar de haber sido calculado en base a la función anticipada, producirá una señal cercana a la correcta al mercado sobre la externalidad.

Por lo tanto, con todo lo demás constante, a mayor pendiente de la función de beneficios

marginales, $MB(q)$ (i.e., a mayor valor absoluto de $\frac{dMB}{dq}$), menor será la distorsión $|q_p - q_o|$ que resulta de un error regulatorio con respecto a la función de costos bajo un sistema de permisos de emisión comerciables, y mayor será la distorsión $|q_f - q_o|$ resultante de un impuesto pigouviano. El caso contrario también es verdadero (Baumol y Oates 1988:64).

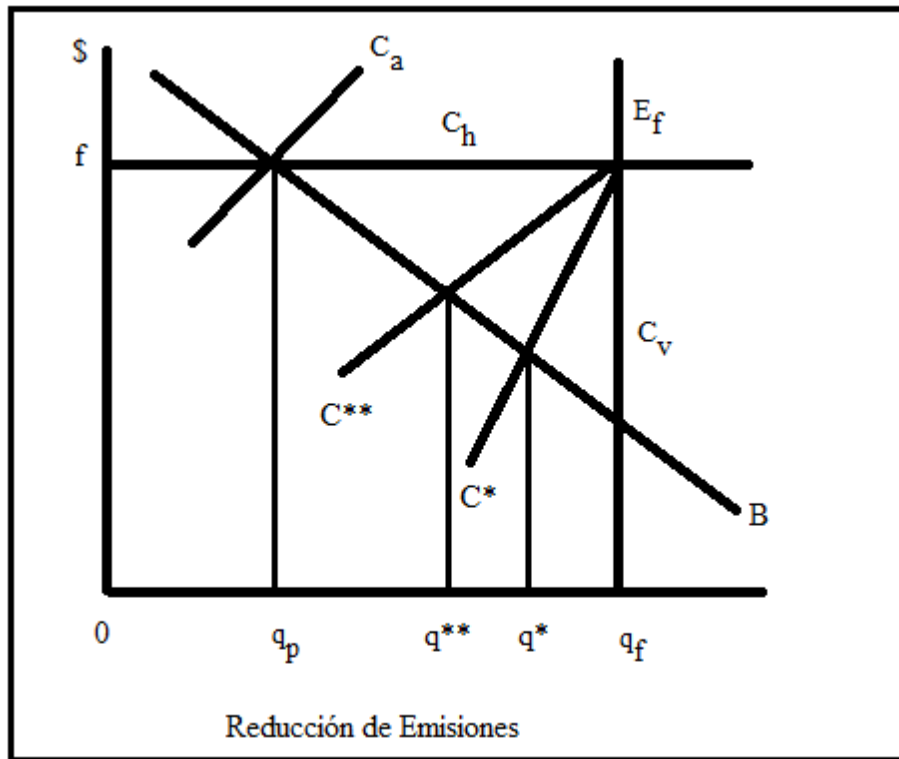
2.4.4 Efecto de la Pendiente de la Función de Costos Marginales

En esta sección analizamos el efecto de la pendiente de la función de costos marginales en la elección del instrumento de política ambiental.

Con todo lo demás constante, a mayor pendiente en la curva de costos marginales de mitigación de la familia de tales curvas que se encuentran en q_f (el valor de equilibrio de la reducción de emisiones bajo un sistema de impuestos a las emisiones basado en una estimación errónea sobre la curva de costos), mayor será la distorsión $|q_p - q_0|$ producida por un sistema de permisos comerciables y menor será la distorsión asociada a un impuesto a las emisiones (Baumol y Oates, 1988: 66).

Este argumento se desarrolla en la gráfica 2.3. En ella se muestran cuatro curvas de costos que se intersectan en el punto E_f , que corresponde al equilibrio obtenido bajo un el impuesto a las emisiones f , con la reducción asociada de emisiones q_f . Estas cuatro curvas de costos representan distintas pendientes posibles de la curva de costos. A medida que la verdadera curva de costos se desplaza desde C_h a C^{**} a C^* a C_v (a medida que se incrementa la pendiente sucesivamente), el valor óptimo de q se mueve desde q_p a q^{**} a q^* hasta llegar a q_f . Esto es, se mueve sucesivamente a la derecha desde la cantidad que sería el resultado de un sistema de permisos comerciables hasta el resultado al que se llegaría bajo un sistema de impuestos a las emisiones.

Gráfica 2.3 Efecto de la Pendiente de la Función de Costos



Fuente: Baumol y Oates (1988: 66).

Por lo tanto, se observa que a medida que la pendiente de la curva de costos se incrementa, el tamaño de la distorsión bajo un sistema de permisos se incrementa, en tanto bajo un sistema de impuestos a las emisiones disminuye. El efecto de la implementación de un sistema de permisos de emisión comerciables es distinto al de la implementación a un impuesto a las emisiones en este caso.

2.4.5 Presencia de Incertidumbre con respecto a la Función de Beneficios

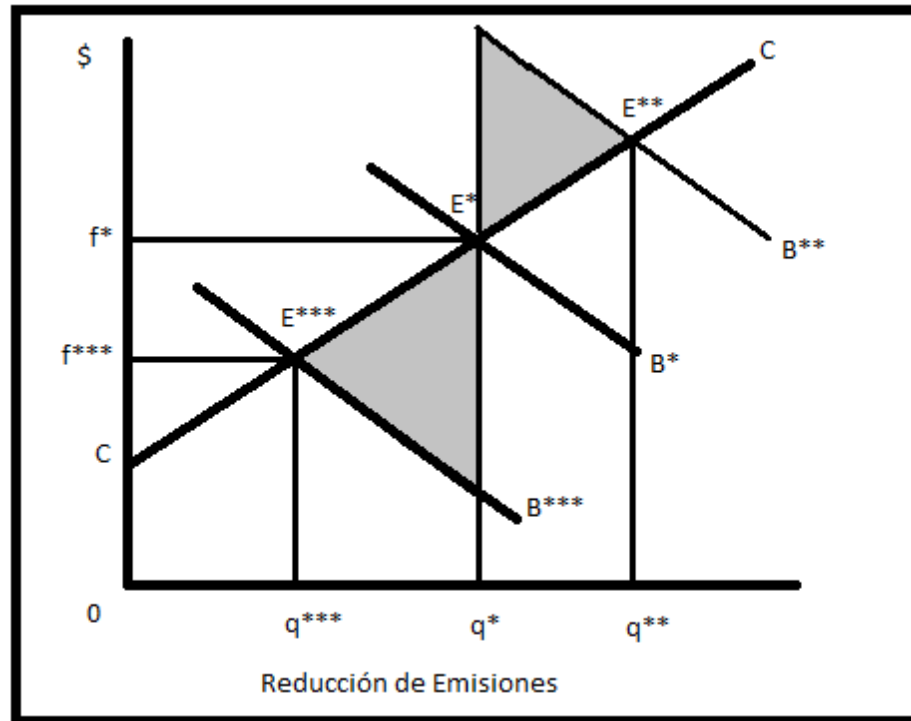
En esta sección se demostrará que cuando el regulador no conoce la ubicación verdadera de la curva de beneficios, una intervención gubernamental, en general, no resultará en el punto óptimo. Sin embargo, el error que resulte y el costo social correspondiente será el mismo bajo

un impuesto pigouviano que bajo un sistema de permisos de emisión comerciables. La gráfica 2.4 nos ilustra este caso.

En la gráfica 2.4 el regulador tiene información precisa y correcta sobre la curva de costos, CC . Sin embargo, el regulador tiene una creencia no fundamentada con respecto a la curva de beneficios, B^* , que le lleva a seleccionar a E^* como el punto óptimo a alcanzar. Para lograr este objetivo, la autoridad ambiental selecciona un impuesto f^* por unidad de emisiones o alternatively crea una cantidad de permisos de emisiones comerciables correspondientes a q^* . Bajo cualquiera de los dos esquemas, el resultado será el mismo si el mercado de los permisos es competitivo. El nivel de emisiones se reducirá en q^* unidades y, si se emiten los permisos, su precio se incrementará hasta llegar a f^* .

No obstante, si la curva de beneficios verdadera es B^{**} , por lo cual los beneficios marginales de mitigación son mayores a los que el regulador tenía contemplado, la reducción de q^* unidades de emisión serán menores a lo que es socialmente óptimo. Bajo este escenario, el punto óptimo será E^{**} que corresponde a una reducción de emisiones al nivel q^{**} . La pérdida irreversible de bienestar social asociado a la mala estimación de la verdadera curva de beneficios será el rectángulo sombreado a la derecha y arriba del punto E^* .

Gráfica 2.4 Precios vs Cantidades con Incertidumbre con respecto a la Curva de Beneficios



Fuente: Baumol y Oates, 1988: 60.

De manera análoga, si la verdadera curva de beneficios es B^{***} , la selección de q^* resultaría en un exceso en la disminución del nivel de emisiones de lo que es socialmente óptimo. En este caso la pérdida irreversible de bienestar social se observa en el triángulo sombreado a la izquierda y por debajo de E^* .

En suma, un error al estimar la curva de beneficios necesariamente tiene consecuencias inesperadas, pero esas consecuencias y su indeseabilidad serán exactamente las mismas bajo un sistema de impuestos a las emisiones que bajo un sistema de permisos de emisiones comerciables. Se concluye que la incertidumbre con respecto a la posición de la curva de beneficios por sí misma no nos ofrece una guía para la elección entre los dos tipos de política.

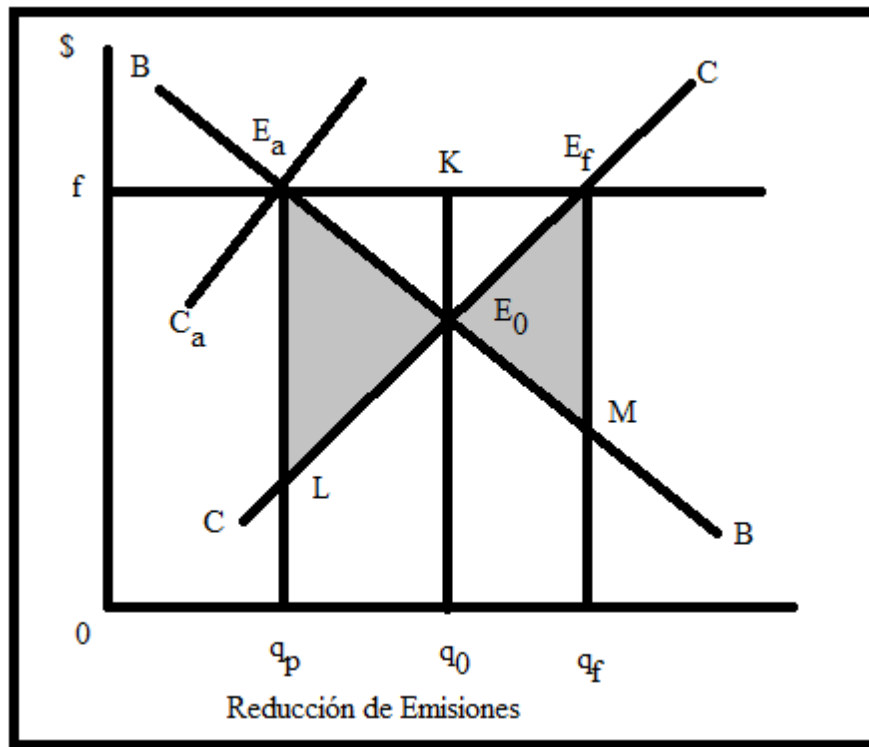
¿Por qué los dos enfoques tienen el mismo resultado cuando se conoce con certeza la curva de costos? Dada cualquier función de costo marginal de control $MC(q)$, entonces el regulador puede estar seguro que en un mercado competitivo la reducción de emisiones q^* surgirá si el precio imputado a las emisiones se establece en donde $p^*=MC(q^*)$, y p^* surgirá como el precio de equilibrio de un permiso para una unidad de emisiones si la cantidad de los permisos emitidos por la entidad reguladora es suficiente para alcanzar una reducción de emisiones de q^* . Estos precios y cantidades dependen exclusivamente de la función de costos y son completamente independientes de la forma y posición de la función de beneficios (Baumol y Oates, 1988: 61).

2.4.6 Pendientes Relativas y el Caso Lineal

Cuando las curvas de costo y beneficio marginal son lineales, un sistema de permisos comerciables y un impuesto a las emisiones producirán el mismo valor absoluto en la distorsión cuando el regulador no calcula correctamente los costos marginales si los valores absolutos de las pendientes de las dos curvas son iguales. Si el valor absoluto de la pendiente de la curva de costos marginales es mayor que la de la beneficios marginales, impuestos a las emisiones resultarán en una menor distorsión, y *vice versa* Baumol y Oates (1988: 67).

Este argumento se representa en la gráfica 2.5, que presenta el caso especial en el cual las pendientes de las curvas son iguales en valor absoluto. En la gráfica se asume *ex ante* que la curva de costos corresponde con C_a y su forma verdadera es C .

Gráfica 2.5 Curva de Costos y Beneficios Lineales



Fuente: Baumol y Oates (1988: 67).

En la gráfica 2.5 observamos que E_a es la estimación (erronea) *ex ante* del punto de equilibrio óptimo con la cual el regulador escoge un impuesto a las emisiones f o impone un sistema de permisos comerciables que resulta en la reducción de emisiones por la cantidad q_p . Como se observa en la gráfica, la reducción de emisiones socialmente óptima es q_0 , que corresponde con la intersección de las curvas de costos y beneficio verdaderas, pero la reducción de emisiones bajo un impuesto f es q_f , excesiva con respecto al óptimo. Para desarrollar el argumento, extendemos el segmento de la línea vertical q_0E_0 hasta el punto K , en donde su altura es igual al valor del impuesto a las emisiones. Entonces los triángulos E_aKE_0 y E_fKE_0 son congruentes. Esto es dado que son triángulos rectángulos, comparten el lado E_0K y tienen otro ángulo en común porque se asume la igualdad en las pendientes de E_aE_0 y E_fE_0 . Por lo tanto, E_aK , la distorsión absoluta bajo un sistema de permisos es igual a

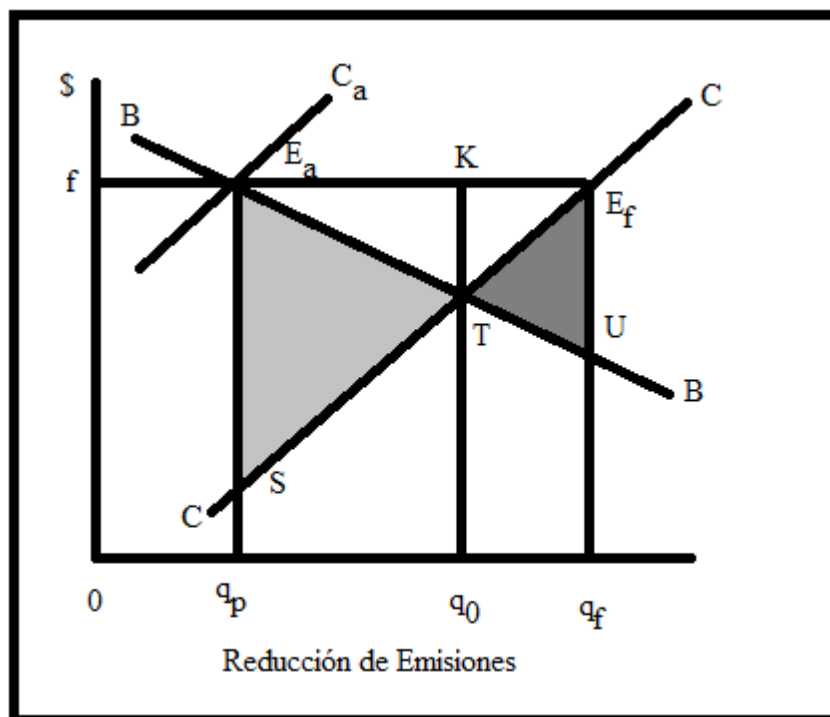
Ke_f , la distorsión absoluta bajo un sistema de impuestos a las emisiones. Esto completa la demostración para el caso de pendientes iguales.

Se concluye que en el caso en que las funciones de costo y beneficio marginal sean lineales, el regulador no conozca su posición y forma exacta, y las pendientes de las curvas de costo y beneficio marginal sean iguales en valor absoluto, un impuesto a las emisiones y un sistema de permisos de emisión comerciables serán equivalentes en sus efectos socialmente perniciosos.

2.4.7 Pendientes Relativas y los Excedentes del Consumidor y Productor

El verdadero daño social derivado de la incertidumbre con respecto a la forma de las curvas de costo y beneficio marginal está representado por la pérdida de excedente del consumidor y productor, no por las distorsiones en las reducciones de emisiones. Sin embargo, como veremos en esta sección, el análisis de las distorsiones está íntimamente ligado al análisis de la pérdida del excedente del consumidor y productor. En la gráfica 2.6 se ilustra claramente esta conexión.

Gráfica 2.6 Pérdida del Excedente del Consumidor y Productor.



Fuente: Baumol y Oates (1988: 69).

En la gráfica 2.6 q_p , q_0 y q_f indican la reducción de emisiones alcanzada bajo un sistema de permisos comerciables, la reducción de emisiones óptima y la reducción de emisiones alcanzada bajo un sistema de impuestos a las emisiones, respectivamente. Las áreas sombreadas representan las pérdidas de excedente del productor y consumidor asociadas. STE_a indica la pérdida de bienestar social bajo un sistema de permisos y TUE_f indica la pérdida de bienestar social bajo un impuesto a las emisiones. Ambas están medidas en comparación con el óptimo social, q_0 .

En el diagrama, la primera es mayor a la segunda, lo que nos muestra claramente que las dos no necesariamente son iguales. Una vez más, su magnitud relativa depende directamente de las pendientes de las curvas de beneficio y costo marginal. Para concluir la disgresión, a continuación se presenta el teorema fundamental obtenido originalmente por Weitzman

(1974)²

Cuando las curvas de beneficio marginal y costo marginal son lineales, se conoce con certidumbre la forma de la curva de beneficio marginal, y se agrega un error aditivo con valor esperado cero a la curva de costos, entonces un sistema de permisos de emisión comerciables producirá el mismo valor esperado en la pérdida de bienestar que un impuesto a las emisiones si la pendiente de las dos curvas marginales es la misma. En cualquier otro caso, un impuesto a las emisiones será el instrumento de mitigación deseable para un regulador neutral al riesgo cuyo objetivo sea la maximización del bienestar social, si la curva de costos marginales de control tiene una pendiente más empinada que la curva de beneficios marginales, y *vice versa*. La elección es independiente de las propiedades del elemento aleatorio.

Por lo tanto, como se ilustra en la gráfica 2.6, el tamaño de la distorsión se relaciona con la magnitud de la pérdida de bienestar de la manera siguiente:

$$\frac{(E_a K)^2}{(K E_f)^2} = \frac{(Area E_a ST)}{(Area TUE_f)}$$

2.4.8 Elección entre un Sistema de Permisos Comerciables y un Sistema de Impuestos a las Emisiones en la Práctica

El teorema de Weitzman por sí mismo no establece ninguna superioridad con respecto a la elección entre los instrumentos de política discutidos en esta sección. Cuando el regulador tiene información precisa sobre la forma de las curvas de costo marginal y beneficio marginal el teorema sí provee una guía para el regulador para escoger entre los dos instrumentos. No obstante, para la economía en su conjunto, no es sorprendente descubrir que cada instrumento probará ser la mejor elección en un número considerable de casos (Baumol y Oates, 1988: 73).

² En la forma de la proposición seis presentado en Baumol y Oates (1988:69-70).

Sin embargo, no todos los resultados sobre esta cuestión han presentado una conclusión sin compromisos, que no asuma la superioridad de un instrumento sobre otro. Wetizman (1974: 487) concluye que los instrumentos de control cuantitativo (i.e. sistema de permisos de emisión comerciables) serán frecuentemente preferidos. A continuación presentamos su razonamiento.

Me parece que existe una razón fundamental para creer que las señales de cantidad son mejores para las situaciones en las que se demanda un alto nivel de coordinación. Un ejemplo clásico sería la planeación de producción de corto plazo de materiales industriales intermedios. Dentro de una organización de producción grande, ya sea General Motors o el sector industrial soviético en su conjunto, la necesidad de balancear la producción de cualquier insumo intermedio cuya elaboración sea relativamente especializada para esta organización y que no puede ser importada sin esfuerzo e instantáneamente o exportada a un mundo exterior perfectamente competitivo, le impone un pico en la función de beneficios. Si resulta que la producción de baleros de un tipo especializado (más las reservas) cae por debajo del consumo interno anticipado, mucho más que el valor de los baleros es lo que se puede perder. Los factores de producción y los materiales que estaban destinados a ser combinados con los baleros y los productos que los contenían en las etapas superiores de la producción deberán permanecer desocupados y eso evita que agreguen valor a la cadena. Por el otro lado, si más baleros son producidos de lo que los que se había contemplado consumir, la sobreproducción no podrá ser utilizada inmediatamente y solo será almacenada y perderá la tasa de interés implícita a lo largo del tiempo. Tal rigidez de corto plazo es esencial debido a la sustituidad limitada, la naturaleza de coeficientes fijos de la tecnología basada en maquinaria. Todo lo demás constante, la asimetría entre los efectos de la sobreproducción y los efectos subproducción son más pronunciados a medida que el insumo este más alejado uso final y sea más difícil sustituir recursos ociosos o reponer rápidamente los suministros por medio de importaciones de emergencia. La fuerte curvatura en la función de beneficios que esta asimetría implica alrededor de los niveles estimados de consumo de los materiales intermedios tiende a crear una ventaja comparativa alta para los instrumentos de cantidad. Si esto se combina con una función de costos que es casi lineal en el rango relevante, la ventaja del instrumento cuantitativo se duplica.

Para alcanzar los objetivos de este trabajo de investigación se decidió que era más apropiado experimentar con un impuesto a las emisiones dadas las características del modelo cuantitativo introducido en el capítulo 4.

2.5 Equilibrio Parcial vs Equilibrio General

Nye (2008:34) señala que un impuesto pigouviano estimado en un contexto de equilibrio parcial probablemente será supra-óptimo en un contexto de equilibrio general en el que ya

existen una variedad de impuestos distorsionadores, aún si estos impuestos no fueron diseñados explícitamente para internalizar las externalidades. Estos impuestos distorsionadores pueden ser impuestos al trabajo, impuestos al consumo, impuestos a las ganancias del capital, entre otros.

Tomando en consideración el argumento de Nye (2008), es de vital importancia la selección de la herramienta de análisis para cumplir los objetivos trazados por este trabajo de investigación. Por esta razón, en esta sección se presentan una serie de argumentos que exponen los contrastes entre los tipos de análisis.

En el análisis de equilibrio parcial se considera un equilibrio competitivo en un solo mercado manteniendo todos demás factores constantes. Es decir, se supone que un cambio en la pendiente o posición de la curva de demanda u oferta en el mercado analizado tendrá un efecto insignificante en el resto de los mercados que conforman el resto de la economía.

En el análisis de equilibrio parcial la determinación del precio de un bien es simplificado al solamente considerar el precio de un solo bien y al asumir que los precios de otros bienes permanecen constantes. La teoría marshalliana de la oferta y la demanda es un ejemplo de análisis de equilibrio parcial.

El análisis de equilibrio parcial, por construcción, considera un solo mercado a la vez. Si el mercado en cuestión es pequeño, este tipo de análisis puede ser suficiente (Gilbert, 2010). No obstante, en el caso de bienes como el aire, el agua, y los combustibles fósiles, que son insumos de muchos procesos de producción esta simplificación no es apropiada desde el punto de vista teórico. Es incorrecto asumir que al cambiar los precios de los insumos de los procesos productivos el resto de la economía permanecerá sin cambios. En este caso, ignorar los efectos de los cambios en un mercado sobre el resto puede ser seriamente sesgar el análisis. Es por esta razón, que teóricamente lo pertinente sería incorporar el resto de los mercados en el análisis. Es por esto que nos remitimos a la Teoría del Equilibrio General que es un marco teórico más adecuado para analizar nuestro problema.

Por ejemplo, en equilibrio general un incremento en la demanda de servicios de fletes en camión no solo afecta a ese mercado en particular, sino también al mercado de fletes en ferrocarril y por avión, así como los mercados de factores como capital, combustibles, y trabajo.

El análisis de sistemas económicos completos es el dominio del análisis de equilibrio general. Los efectos del cambio en alguna de las partes del sistema afectan al conjunto en su totalidad. En general, el análisis de equilibrio general nos enseña a considerar los efectos de las políticas públicas más allá del mercado particular afectado por la política.

2.6 Teoría de Equilibrio General

El origen histórico de la Teoría de Equilibrio General se encuentra en la Escuela Marginalista, también llamada Neoclásica. León Walras es considerado el padre esta teoría. En su obra *Elements of Pure Economics*, este autor presenta un sistema de ecuaciones que utiliza para demostrar que un vector de precios podía igualar la oferta con la demanda para vaciar los mercados.

En esta descripción de una economía, la restricción presupuestal de un consumidor está determinada por su dotación inicial de recursos y de un vector de precios. La función de demanda individual es la respuesta óptima del consumidor individual para el sistema de precios dado. Agregar las funciones de demanda individuales resulta en la función de demanda de mercado. El equilibrio de mercado se presenta cuando encontramos un vector de precios para el cual la suma de las demandas netas suma cero.

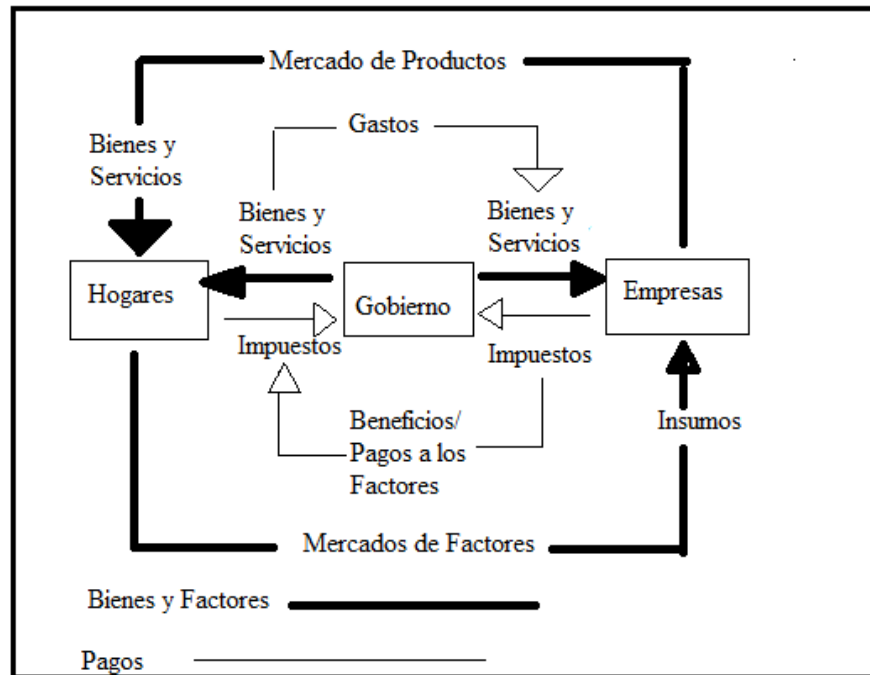
El uso del cálculo diferencial, análisis topológico y la teoría de la convexidad le permitió a autores como Arrow y Debreu, y a otros demostrar la existencia del equilibrio en modelos muy generales. La teoría del equilibrio general es un análisis que toma en cuenta el impacto que tiene un cambio en un mercado en el resto de los mercados. Es decir, analiza a la

totalidad de la economía en un mismo análisis.

El punto de partida conceptual de la teoría de equilibrio general se encuentra en el flujo circular de la actividad económica en una economía cerrada, que se muestra en la gráfica 2.7. Los principales protagonistas en el diagrama son los hogares, que son dueños de los factores de producción y son los consumidores finales de las mercancías producidas, y las empresas, que rentan los factores de producción de los hogares con el propósito de producir bienes y servicios que los hogares consumen. Frecuentemente, el papel del gobierno en el flujo circular es pasivo: cobra impuestos y distribuye estas rentas entre las empresas y los hogares como subsidios o transferencias de suma fija, sujeto a las reglas de equilibrio presupuestal que especifica el analista (Sue Wing, 2004:4).

Al seguir el flujo circular se puede comenzar con la oferta de factores de insumos, por ejemplo los servicios de capital y trabajo, hacia las empresas y continuar con la oferta de bienes y servicios de las empresas a los hogares, que de vuelta controlan la oferta de los factores. Similarmente, el analista puede empezar con los pagos, los cuales son recibidos por los hogares por los servicios de capital y trabajo que proveen a las empresas por su dotación inicial de recursos, que entonces son utilizados como ingreso para pagar a los sectores productivos por los bienes y servicios que los hogares consumen.

Gráfica 2.7 El Flujo Circular de la Economía



Fuente: Adaptado de Sue Wing (2004:29).

El equilibrio en los flujos económicos en la gráfica 2.7 resulta en la conservación tanto del producto como del valor. La conservación del producto se sostiene incluso en el caso en que la economía no se encuentre en equilibrio, lo que refleja el principio físico de balance material: la cantidad de un factor que forma parte de la dotación inicial de los hogares o una mercancía que es producida por las empresas debe ser completamente absorbida por las empresas o los hogares, respectivamente, en el resto de la economía.

La conservación del valor refleja el principio de contabilidad de balance presupuestal que afirma que para cada actividad en la economía el valor de los gastos debe estar balanceado por el valor de los ingresos, y que cada unidad de gasto tiene que comprar alguna cantidad de algún tipo de insumo. La implicación es que ningún producto o valor puede aparecer de la

nada. Cada actividad productiva o dotación inicial de recursos debe estar emparejada por el uso de otros, y el ingreso de cada actividad debe estar balanceada por los gastos de otros. El producto y el valor no pueden desaparecer (Sue Wing, 2004:4).

La conservación del producto, al asegurar que los flujos de bienes y factores deben ser absorbidos por las actividades de consumo y producción en la economía es una expresión del principio de no disposición libre. Este principio implica que los productos de las empresas son completamente consumidos por los hogares, y que las dotaciones iniciales de factores de los hogares son completamente empleadas por las empresas. Entonces, para una mercancía dada la cantidad producida debe ser igual a la suma de las cantidades demandadas por otras empresas y los hogares en la economía. Análogamente, para un factor dado, las cantidades demandadas por las empresas deben ser completamente satisfechas por la oferta agregada que proviene de la dotación inicial de los hogares. Esta es la familiar condición de vaciado de mercado.

La conservación del valor implica que la suma total del ingreso que se origina en la producción de bienes debe ser asignado ya sea a los hogares como pago a la utilización de sus factores, a otras industrias como pagos a los insumos intermedios, o al gobierno en la forma de impuestos. Entonces, el valor de cada unidad de cada mercancía en la economía debe ser igual a la suma de los valores de todos los insumos utilizados en su producción. Por lo tanto, el principio de conservación del valor simultáneamente refleja la consistencia de los retornos constantes a escala en la producción, y los mercados perfectamente competitivos para las mercancías producidas. Estas dos condiciones implican que en equilibrio los productores tienen un beneficio neto de cero.

Finalmente, los pagos a las dotaciones iniciales de factores de los hogares que están asociados con el valor de la renta de los factores se acumulan para los hogares en la forma de ingreso que los hogares emplean al comprar bienes y servicios. El hecho que las dotaciones iniciales de factores de los hogares son empleadas completamente, lo que implica que ninguna cantidad de algún factor se deja ociosa, y que los hogares gastan completamente su

ingreso en la compra de bienes, algunos bienes se compran con el fin de ahorrar, refleja el principio de contabilidad de presupuesto balanceado conocido como ingreso balanceado.

Las tres condiciones, vaciado de mercado, beneficios netos cero e ingreso balanceado definen el equilibrio general Walrasiano no por el proceso de intercambio por el cual resulta esta asignación, sino en términos de la asignación en sí misma, que está conformada por los componentes del flujo circular que se muestran en la gráfica 2.7 por la línea gruesa. Por lo tanto, el equilibrio general puede ser modelado en términos de truke en mercancías y factores, sin la necesidad de explícitamente reflejar las transferencias financieras.

Así, en la teoría de equilibrio general no se representa al dinero explícitamente. Sin embargo, para poder registrar los diferentes intercambios que se dan en la economía, necesitamos que las cantidades de diferentes productos sean comparables y eso se logra al denominarlos en alguna unidad de cuenta común. En consecuencia, los flujos económicos se representan en términos de una mercancía, el llamado bien numerario, cuyo precio se toma como fijo. Es por esta razón que en la teoría de equilibrio general los resultados de los modelos se obtienen en precios relativos (Sue Wing, 2004:5).

2.7 Conclusiones

En conclusión, identificamos que teóricamente la externalidad negativa que se deriva del exceso de emisiones de GEI se puede corregir por medio de un impuesto pigouviano. Este impuesto debe reflejar el costo marginal social y debe implementarse sobre la actividad contaminadora; no sobre los insumos de la producción. Se decidió por proponer un instrumento de precio, un impuesto a las emisiones de GEI, dado el modelo de equilibrio general (EGC) que proponemos como herramienta de análisis cuantitativo que se describe en el capítulo cuarto.

Además, el análisis de la implementación de un impuesto pigouviano debe realizarse en un contexto de equilibrio general, no en uno de equilibrio parcial. De esta manera el análisis será

capaz de capturar la interacción entre el impuesto pigouviano y el resto de los impuestos distorsionadores presentes en la economía para estimar de manera precisa su efecto en la economía en su conjunto.

CAPÍTULO 3 : REVISIÓN DE BIBLIOGRAFÍA

En este capítulo presentamos una breve pero concisa revisión de literatura que tiene la intención de introducir al lector en el campo de la literatura económica que emplea como herramienta de análisis principal el modelo de Equilibrio General Computable (EGC). En la sección 3.1 se describe la raíz del modelo de EGC. En 3.2 se enuncian las ventajas que tiene el modelo de EGC. Por el otro lado, 3.3 enuncia las desventajas inherentes al modelo. En 3.4 se hace un breve recuento de los primeros modelos de EGC y sus aplicaciones. En 3.5 se presenta una selección de modelos de EGC aplicados a cuestiones ambientales. En 3.5.1 se presentan modelos que incorporan varios países en su análisis. En 3.5.2 se presentan modelos de un solo país. Para concluir, en 3.5.3 se presentan modelos de EGC que analizan cuestiones ambientales para México.

3.1 El origen del modelo de Equilibrio General Computable (EGC)

Uno de los antecedentes del modelo de EGC se encuentra en el modelo de insumo-producto (I-P) de Leontieff (1936, 1941), el cual es una técnica económica cuantitativa que representa explícitamente las interdependencias entre las diferentes ramas de la economía nacional o entre las ramas de las economías de distintos países (Leontief, 1986).

Sin embargo, el modelo de I-P (MIP) carece de características institucionales. No incorpora explícitamente transferencias institucionales entre el gobierno y los agentes económicos privados, como consumidores y productores; como es el caso de un impuesto o subsidio gubernamental implementado sobre los hogares. Esta carencia afecta de manera significativa la capacidad del modelo de I-P para analizar las intervenciones gubernamentales sobre la economía en su conjunto. No obstante, las transferencias institucionales no tienen participación directa en la solución del MIP.

Como una solución a esta carencia, se desarrolló la Matriz de Contabilidad Social (MCS). La MCS se puede considerar como un MIP extendido, explícitamente incorpora los vínculos institucionales presentes en la economía. Sin embargo, la MCS al igual que la MIP registra información de un solo año. Esta restricción temporal de la información resulta en que el analista tiene en esencia una imagen estática de la economía.

Con todo, la MCS fue creada para identificar todos los flujos monetarios desde su origen hasta su destino dentro de una cuenta nacional desagregada. Esto con el objetivo de captar de manera explícita las interacciones entre los agentes privados y el gobierno.

Así, la MCS es una matriz cuadrada de doble entrada que representa los flujos de todas las transacciones económicas que ocurren a niveles nacional o regional. El número de columnas es igual al número de renglones, lo que representa que todos los agentes institucionales (empresas, hogares, gobierno, y el resto de la economía) son simultáneamente compradores y vendedores. Las columnas representan a los compradores (gastos) y los renglones representan a los vendedores (ingresos).

Mas allá de la abstracción matemática, lo cierto es que la MCS carece de características presentes y relevantes en el mundo real, tales como la endogeneidad de los precios y la no-linearidad en el compartamiento de los agentes económicos. Es en este contexto que en repuesta se crean los modelos de EGC; mismos que integran la MCS dentro de un modelo no-lineal en el comportamiento de los agentes con un sistema de precios endógenos.

3.2 Ventajas del Modelo de EGC

Dixon y Parmenter (1996) señalan dos aspectos que estimulan el interés en la construcción de modelos de EGC. Primero, los modelos de EGC nos permiten intuir los efectos en la economía en general de choques no anteriormente experimentados por los agentes representados en el modelo. Es decir, con una estructura definida por el modelo es posible simular los efectos de una intervención gubernamental en una economía real. Segundo, la capacidad de los modelos de EGC de dar resultados detallados para industrias y diferentes tipos de hogares.

Para ilustrar los efectos en la economía usando un modelo de EGC, Dixon y Rimmer (1998:2) desarrollaron un modelo para la economía australiana que incluye 113 industrias, 56 regiones subnacionales, 282 ocupaciones y numerosos tipos de hogares. Utilizando el modelo MONASH se simula la implementación de una reducción en los aranceles para los vehículos de motor. Se comienza con un arancel de 19.13 por ciento en 1997 para descender gradualmente hasta un 11.69 por ciento en

2001 y posteriormente estabilizarse en este nivel¹. Encontraron que se presentan efectos macroeconómicos negativos. Al nivel industria, hubo algunos ganadores pero también perdedores con la implementación de la política. Sin embargo, los efectos fueron generalmente menores (Dixon y Rimmer, 1998:57-58).

Por otro lado, en el análisis de políticas públicas; Dervis *et al.* (1982) señala que los modelos de EGC pueden ser un punto intermedio entre economistas y los hacedores de políticas públicas. Esto se debe a que los modelos de EGC proveen resultados cuantitativos fundamentados en la teoría de equilibrio general. Además, la transparencia del modelo facilita el rastrear los efectos de una política en particular y posiblemente plantear políticas públicas alternativas. El modelo Global Trade Analysis Project (GTAP) fue uno de los tres modelos utilizados por el Banco Mundial para estimar los beneficios anuales de la ronda de liberalización de Uruguay. El resultado del modelo fue que, el dada la implementación de la liberalización económica propuesta en la Ronda de Uruguay, el Producto Interno Bruto (PIB) del mundo se incrementaría en 89% para el año de 2005 (Hertel et al., 1996).

Finalmente, Mercenier y Srinivasan (1994) señalan dos razones por las cuales un modelo de EGC es una herramienta atractiva para analizar políticas públicas en economías en desarrollo. Primero, es posible simular la implementación de intervenciones gubernamentales simuláneas; ya que un modelo de EGC tiene las características necesarias para analizar el impacto conjunto de estas intervenciones. Segundo, los modelos de EGC son capaces de capturar los efectos distributivos y de bienestar de los agentes económicos de la implementación de políticas públicas. Esta característica es sobresaliente dada la relevancia de los aspectos distributivos de una política pública desde el punto de vista político.

3.3 Desventajas de los modelos de EGC

El modelo de EGC como cualquier método tiene debilidades y limitaciones. Manopiniwes (2005) señala cinco limitaciones presentes en los modelos de EGC. Primera, la construcción de modelos de EGC demanda una gran cantidad de información tanto para conjuntar los parámetros necesarios para la computación del modelo como para conformar la MCS. Si bien, esta limitación bien puede ser atenuada, debido a la aceptación y utilidad de los modelos de EGC en muchos países, que ha

1 Ver tabla 6.1 de Dixon y Rimmer (1998) en donde se muestra la trayectoria del arancel para los vehículos de motor.

repercutido en una mayor recolección información para conformar la MCS cotidianamente. Segunda, el modelo de EGC se construye utilizando información para un solo año. Tercero, aunado a la limitación anterior, el mayor componente de un modelo de EGC es estático; las empresas maximizan sus beneficios para un año en particular. Por ejemplo, no refleja el comportamiento intertemporal de los planes de inversión de las empresas. Además, el modelo no incorpora explícitamente el comportamiento intertemporal de los consumidores y productores. Cuarta, la mayor parte de un modelo de EGC es determinístico; donde adicionalmente no está incorporada la incertidumbre en el modelo. Quinta y última, la mayoría de los modelos de EGC tienen características financieras mínimas que limitan su capacidad de análisis.

Los modelos de EGC utilizados en la literatura tienden a ser un poco como una “caja negra” (Krishna, 2010:3). Esto se debe a que en los modelos de EGC los resultados en algunas ocasiones no pueden ser identificados claramente en alguna de las características particulares de la base de datos, a los parámetros que se utilizan en el modelo, la estructura algebraica, o el método de solución. La falta de claridad generalmente está justificada en el supuesto de que los modelos de EGC contienen un número elevado de variables y parámetros y son estructuralmente complejos. La falta de claridad permite esconder supuestos cuestionables en los modelos de EGC que terminan sesgando los resultados obtenidos (Sue Wing, 2004:2).

Sue Wing (2004) señala que el problema de falta de transparencia en la construcción e implementación en el análisis de los modelos de EGC se debe a que la información que conforma a un modelos de EGC no es comunicada de una manera que sea accesible para la mayoría de los economistas y hacedores de políticas públicas. Descripciones de la estructura subyacente del modelo, calibración y métodos de solución abundan. Sin embargo, estos materiales usualmente se encuentran dispersos en la literatura lo cual dificulta de manera significativa su comprensión.

Por lo tanto, concluimos que un modelo de EGC para ser accesible debe ser claro y específico en su construcción y sus detalles. Haciendo explícitos los supuestos que contiene y presentando claramente todos sus elementos en un mismo documento facilitan la comprensión del lector. A continuación se presenta una revisión no exhaustiva pero fundamental de los primeros modelos de EGC.

3.4 Primeros Modelos de EGC

Tres grandes líneas de investigación han delineado el desarrollo del modelo de EGC. Primera, Johansen (1960) desarrolló un modelo multisectorial de 1960 para Noruega. Segunda, Harberger (1962) fue el primero de una serie de trabajos relacionados que dieron lugar al algoritmo computacional para encontrar una solución numérica presentado en Scarf y Hansen (1973). Tercera, Adelman y Robinson (1978) es el primero de una serie de trabajos de investigación que desarrolla modelos de EGC para países en desarrollo. A continuación se detallan se comentarán los trabajos relacionados con estas tres líneas de investigación.

3.4.1 Johansen (1960)

Johansen (1960) presentó el que se reconoce como el primero modelo de EGC. La contribución de este modelo fue identificar el comportamiento de agentes individuales. En este modelo, los hogares maximizan su utilidad sujeto a su restricción presupuestal. Las industrias escogen sus insumos para minimizar los costos sujeto a las restricciones impuestas por la función de producción y la necesidad de satisfacer las demandas de sus productos. Los inversionistas distribuyen su capital entre las industrias para maximizar sus ganancias. El resultado total para la economía está determinado por las acciones coordinadas de los agentes individuales por medio de los ajustes en los precios que igualan la demanda y la oferta en los mercados de factores y productos.

El modelo distingue 22 industrias, calibrado con una base de datos de I-P de Noruega para el año 1950, con el fin identificar las fuentes del crecimiento económico en Noruega para el periodo 1948-1953.

Johansen (1960) deriva para cada industria ecuaciones de insumo-demanda asumiendo que las empresas son tomadoras de precios y escogen sus insumos para minimizar el costo de producir a cualquier nivel dado de producción sujeto a una función de producción que refleje una sustitución Cobb-Douglas entre capital y trabajo.

El método de Johansen para construir modelos de EGC no fue seguido consistentemente por más de una década después de su publicación en 1960. En 1975 el gobierno australiano patrocinó el proyecto

IMPACT bajo la dirección Alan A. Powell. El objetivo de IMPACT fue generar un marco para analizar políticas modular que conjuntara la macroeconomía, demografía y a las industrias. Powell contrató a Peter Dixon para construir el módulo de la industria con el énfasis en cuantificar los efectos de la política comercial (Dixon y Rimmer, 2010:12).

Dixon et al. (1982) presenta lo que se conoce como el modelo ORANI para la economía australiana. ORANI es un modelo de EGC que fue desarrollado al final de los años 1970's como parte de un proyecto patrocinado por el gobierno conocido como IMPACT. El método de Johansen fue crucial para el desarrollo del modelo ORANI particularmente en la adopción de las estrategias para computar, organizar y entender los resultados (Dixon y Rimmer, 2010:13).

El modelo ORANI ha sido ampliamente utilizado en Australia como una herramienta para el análisis práctico de políticas públicas por académicos, economistas que trabajan en el gobierno, y por el sector privado (ver Parmenter y Meagher 1985, Powell y Lawson 1989, y Vincent 1989).

El modelo ORANI se relaciona con el modelo Global Trade Analysis Project (GTAP) porque su creador, Tom Hertel visitó Australia durante una estancia de investigación entre 1990 y 1991, en la Universidad de Melbourne en donde residía el proyecto IMPACT. El líder del equipo que desarrollaba el modelo de EGC para IMPACT era Peter Dixon. Fue en ese periodo que Hertel se familiarizó con el modelo ORANI lo que posteriormente dio origen al modelo GTAP (Powell, 2007:1).

El marco estándar de GTAP se desarrolla en la recopilación de Hertel (1997). GTAP² es una red global de investigadores y hacedores de políticas públicas que realizan análisis cuantitativo sobre cuestiones de política internacional. El modelo estándar de GTAP es implementado utilizando la versión 5.1 del software GEM-PACK desarrollado en el proyecto IMPACT, en la Universidad Monash bajo la dirección de Kenneth Pearson. GTAP contribuyó con 3 de los 5 análisis cuantitativos utilizados en la Ronda de Uruguay de la Organización Mundial de Comercio.³

2 Ver <https://www.gtap.agecon.purdue.edu/>

3 <https://www.gtap.agecon.purdue.edu/about/project.asp> accesado el 16/5/2012.

3.4.2 Habberger (1962)

Harberger (1959, 1962, 1966, 1974) representa un gran avance con respecto a los modelos de equilibrio parcial. Sin embargo, tiene sus propias deficiencias. En particular, el modelo de Harberger se vuelve intratable cuando involucra más de dos sectores o dos factores. Además, el modelo no es apropiado para analizar cambios significativos en las políticas públicas. La propuesta metodológica de Harberger permitió por primera vez cuantificar los efectos de equilibrio general (Ballard et al., 1985:6).

Harberger (1962) utiliza supuestos neoclásicos estándar. Se supone que las ofertas agregadas de capital y trabajo están fijas, que los factores son perfectamente móviles entre industrias, y que existe competencia perfecta en los mercados de factores y productos. La producción se lleva a cabo bajo retornos constantes a escala. El modelo cuenta con dos sectores productivos, uno corporativo y otro no-corporativo, calibrado con una base de datos de los Estados Unidos de los años cincuentas del siglo pasado, para calcular la incidencia de un impuesto al ingreso corporativo.

El modelo está representado por una serie de ecuaciones diferenciales. Para cambios discretos, el análisis solamente es una aproximación local. El modelo emplea estimaciones de las elasticidades de sustitución basados en la literatura econométrica. Harberger (1962) genera estimaciones de la incidencia de impuestos específicos. El hallazgo sobresaliente de este modelo es que el impuesto corporativo es cargado a todos los propietarios del capital, sin importar si su capital es utilizado en las empresas corporativas. Además, desarrolla un procedimiento para estimar el costo en bienestar de un impuesto distorsionador a un factor.

Como una extensión del modelo de Harberger, Scarf y Hansen (1973) desarrollan un algoritmo para calcular el equilibrio en un modelo multisectorial de EGC. Actualizaciones de este algoritmo son aún utilizados por algunos modeladores. La consecuencia más significativa de esta aportación fue la establecer una relación estrecha entre la investigación con modelos de EGC y la investigación teórica de economistas como Arrow y Debreu.

Siguiendo el marco de los trabajos de Harberger, Shoven y Whalley (1972) desarrollan un modelo de EGC calibrado y multisectorial para analizar el impacto de una política impositiva diferenciada para la renta del capital en la economía de Estados Unidos.

3.4.3 Adelman - Robinson (1978)

La distribución de los beneficios del crecimiento ha sido un importante tema en el debate del desarrollo económico en los años recientes. Durante el principio de los años 1970's el Banco Mundial entró a este debate patrocinando un programa de investigación sobre los determinantes de la distribución del ingreso. Adelman y Robison (1978) representan el producto de una serie de estudios de caso de países en este programa. El libro reporta el desarrollo de un proyecto de 5 años que comenzó en 1972 y fue completado en 1977 que toma a Corea del Sur como caso de estudio. Este trabajo presenta un modelo de EGC calibrado a datos de Corea del Sur y fue utilizado para simular políticas públicas alternativas en un contexto coreano. El objetivo de los autores fue construir un laboratorio para experimentos de política con programas anti-pobreza y estrategias de desarrollo en el corto y mediano plazo.

Adelman y Robinson (1978) incorporan al análisis 29 sectores productivos, 4 tamaños de unidades productivas por sector, 15 categorías de receptores de ingreso, todo lo anterior resumido en aproximadamente 3000 variables. El modelo básico resuelve endógenamente para precios y salarios domésticos. Está basado en la optimización de funciones objetivo separadas para empresas de diferentes tamaños y varios grupos de consumidores. La inflación y el comercio internacional están incluidos. La economía modelo es simulada para 9 años, comenzando en 1968. La relevancia de esta línea de investigación es que modela economías en vías de desarrollo, y sirve para evaluar los efectos de la implementación de políticas particulares relevantes en el contexto.

En las secciones a continuación se presenta una parte de la literatura de modelos de EGC que tiene como objetivo explícito el análisis de políticas ambientales.

3.5 Modelos de EGC Especializados en el Análisis de Políticas Públicas Ambientales

Dentro de la gama de modelos de EGC, existe un subconjunto que se especializa en el análisis de

políticas públicas ambientales. Estos modelos han sido utilizados por el IPCC para evaluar los impactos económicos de la implementación de distintas políticas públicas de mitigación y adaptación ante el cambio climático.

3.5.1 Modelos de EGC Internacionales

En esta sección se presenta una breve revisión de modelos que incorporan varios países o regiones en su análisis. La utilidad de este tipo de modelos se deriva de su capacidad de captar los cambios en los flujos en el comercio internacional y en la interacción de los sectores de las economías nacionales. Además, es fundamental señalar que el problema del cambio climático es global por definición. Si la sociedad pretende solucionar este problema es de vital importancia la cooperación entre países y la implementación conjunta de políticas públicas para la reducción de las emisiones de GEI.

Nordhaus y Yang (1996), presenta el modelo RICE⁴. El modelo RICE es un modelo que incorpora explícitamente diferentes países y regiones. Al desagregar entre países, el modelo analiza diferentes estrategias nacionales en las políticas públicas relacionadas con el cambio climático. Estas son soluciones puras de mercado, resultados cooperativos eficientes, y equilibrios no-cooperativos. Este trabajo encuentra que las políticas cooperativas muestran un nivel mucho mayor en las reducciones de las emisiones de GEI que las estrategias no-cooperativas. También evidencia que existen diferencias sustanciales en los niveles de control en las políticas cooperativas y no-cooperativas entre diferentes países, y que los países de ingreso alto pueden ser los principales perdedores de la cooperación.

El modelo RICE es un modelo de EGC regional y dinámico que integra la actividad económica con sus fuentes, emisiones y consecuencias de las emisiones de GEI y el cambio climático. En este modelo, el mundo está dividido por regiones. Cada una de ellas tiene una dotación inicial de capital, población y tecnología. La población y la tecnología crecen exógenamente, en tanto la acumulación de capital está determinada al optimizar el flujo de consumo a lo largo del tiempo. Se representa la producción por una función de producción Cobb-Douglas en capital, trabajo, y tecnología. En el largo plazo el capital es perfectamente móvil para que el retorno real del capital se iguale entre regiones. La función de preferencias de cada región está representada por una función de utilidad que es igual a la suma de la

4 RICE es un acrónimo para Regional Integrated model of Climate and the Economy.

utilidad descontada de el consumo per capita multiplicada por la población. En donde la tasa pura de preferencia en el tiempo social (la tasa de descuento de la utilidad) es de 3 por ciento en cada región. La función de utilidad es logarítmica con respecto al consumo per capita.

La principal contribución de un marco integrado como el del modelo RICE es integrar los sectores relacionados con el clima al modelo económico. Esta parte del modelo contiene relaciones geofísicas que vinculan los diferentes factores que afectan el cambio climático, generan las emisiones de GEI, y miden los efectos asociados al cambio climático.

Recientemente, Capling (2010) desarrolla un modelo estático de EGC de la economía global y lo utiliza para analizar la política de reducciones de emisiones de GEI. El modelo comprende dos regiones, los Estados Unidos de América (EUA) y el resto del mundo (RDM). Este modelo se emplea para simular los efectos de las políticas del año 2010 a 2050 en intervalos de 10 años. Este estudio se enfoca en analizar los sistemas de permisos de emisión comerciables relevantes al momento de la publicación del estudio.

Capling (2010) encuentra que reducir emisiones de GEI por medio de un sistema de permisos de emisión comerciables tendría costos moderados e impactos negativos pequeños en el PIB de EUA y en el bienestar de los consumidores. También reporta que la asignación basada en la producción de los beneficios fiscales a la industria podría ligeramente incrementar el precio de los permisos de emisión y que vincular el sistema de permisos de EUA con los sistemas internacionales reducirían el precio de los permisos en EUA. En este análisis, la captura y almacenamiento de carbono tiene un papel importante en la mitigación de las emisiones.

3.5.2 Modelos de EGC Nacionales

En esta sección se presentarán modelos que modelan una economía nacional y la implementación de diferentes políticas de mitigación de GEI.

Rausch et al. (2010) analiza los efectos distributivos y de eficiencia de esquemas diferentes de

asignación para un sistema nacional de permisos de emisión comerciables empleando el modelo USREP para la economía de Estados Unidos. El modelo USREP es un modelo de EGC recursivo y dinámico. Se consideran esquemas de asignación de permisos para un límite acumulativo de emisiones de GEI de 203 mil millones de toneladas métricas para el periodo de estudio.

Rausch et al. (2010) encuentra que las todas las asignaciones de permisos consideradas son progresivas sobre la mitad baja de la distribución del ingreso y proporcionales en la mitad alta. También encuentra que el imponer un precio a la emisión de carbono por si mismo es proporcional a modestamente progresivo.

Manopiniwes (2005) desarrolla un modelo de EGC para Tailandia con vínculos financieros y ambientales para analizar distintas políticas públicas. En particular, Manopiniwes (2005) analiza el efecto de simular el continuar el subsidio en el mercado de petróleo al reducir el gasto de gobierno. Este es un contrafactual para la política implementada por el gobierno de Tailandia al cortar el subsidio al petróleo y dejar que su precio doméstico se incrementara a principios de 2005. Esto nos permite observar como afecta el subsidio a la economía, la distribución del ingreso y el ambiente.

Si el subsidio petrolero hubiera continuado en 2005, el precio del petrolero sería menor. La producción en los sectores se expandiría debido al precio menor en los insumos, especialmente el petróleo. Los salarios se reducirían debido al menor nivel de precios y menor demanda de trabajo. Consecuentemente el ingreso de los hogares disminuye también. A pesar del descenso en el ingreso de los hogares, el consumo real se incrementa dado el menor nivel de precios. La inversión real se incrementa por la misma razón. En suma, el PIB se eleva un poco debido al menor nivel de precios, mayor inversión y consumo real.

En términos de calidad del agua, el mayor nivel de producción causa un incremento en las emisiones. Cuando el precio del petróleo permanece bajo, la producción es mayor especialmente en los sectores que usan el petróleo como un insumo intermedio. Estos sectores son principalmente la manufactura, industria pesada y química, que tienden a contaminar más que otros sectores.

Los salarios más bajos causan que el ingreso de los hogares se reduzca. Pero la línea de pobreza

también es menor debido a la baja en el nivel de precios. De hecho, la línea de pobreza se reduce más que lo que se reduce el ingreso de los hogares más pobres. Como consecuencia, el nivel de pobreza mejora con respecto al escenario base. La distribución del ingreso también mejora un poco, debido a que el índice de Gini se reduce comparado con el escenario base. Por lo tanto, Manopiniwes (2005) concluye que la reducción significativa en el subsidio al petróleo por parte del gobierno tailandés afecta negativamente el nivel de pobreza y empeora ligeramente la distribución del ingreso.

Schürch (2011) emplea un modelo desarrollado en la Universidad de Berna (Schneider y Stephan, 2007) para evaluar la implementación de una reducción de emisiones de 20% de CO₂ y calcular el impuesto al CO₂ correspondiente para alcanzar este objetivo de mitigación en Suiza. La economía suiza se modela como una economía pequeña, abierta y estática. Las preferencias de los consumidores son expresadas por medio de una función de utilidad anidada con elasticidad de sustitución constante. Cada uno de los sectores productivos produce insumos para otro sector o bienes de consumo final. Adicionalmente, las funciones de producción son representadas como funciones de producción anidadas con elasticidad de sustitución constante. Schürch (2011) modifica el modelo base simplificándolo para incorporar el European Trading System (EU-ETS). El modelo ajustado consiste de dos conjuntos solamente: un conjunto para los bienes de consumo y un conjunto para los sectores de producción domésticos.

Schürch (2011) incorpora las regulaciones del EU-ETS al sistema suizo. Encuentra que con el EU-ETS como la única política pública de mitigación aplicada en Suiza el objetivo de mitigación es inalcanzable. Por lo cual, las políticas del EU-ETS deben ser modificadas. Un nuevo diseño de política es propuesto para reducir las emisiones suizas de CO₂ en un 20% en el año 2020 con respecto a su nivel en 1990. La propuesta es una política híbrida que consiste en el EU-ETS vinculado con la EU y un impuesto al CO₂ adicional. El análisis resulta que cuando se implementa un EU-ETS, los sectores productivos que no participan en el mismo pagan un impuesto más alto, 200 francos suizos por tonelada de CO₂ cuando se le compara con una política de impuestos al CO₂. En contraste, los sectores que participan en el EU-ETS se benefician por la introducción de un sistema de intercambio. Como consecuencia, los sectores que pagan el impuesto al CO₂ acarrean el costo de una parte de la reducción de los sectores participantes en el EU-ETS. Se concluye que la política híbrida es un poco más eficiente debido a una pérdida de bienestar menor cuando se le compara con una política de impuestos al CO₂.

3.5.3 Modelos de EGC para México

Para la economía mexicana, encontramos tres investigaciones previas que evalúan el impacto de políticas ambientales dentro del enfoque de modelos de EGC; Romero (1994) simula los efectos de la implementación de un impuesto al carbono de 20% al valor agregado, Fernández (1997) analiza el efecto de la introducción de un impuesto ambiental sobre el sector manufacturero y evalúa el resultado de esta política con y sin neutralidad del ingreso del gobierno. Ibarrán y Boyd (2001) utilizan un modelo de EGC para estudiar el efecto de la implementación de un impuesto al carbono en la economía mexicana.

La principal conclusión de Romero (1994) es que un impuesto al carbono de 20% ad valorem disminuye las emisiones totales en un 13%. La inflación se incrementa en 0.3% y el PIB decrece en 0.6% en el caso con el impuesto en relación con el caso sin impuesto.

Fernández (1997), bajo el enfoque de los modelos de EGC, evalúa la incidencia de un impuesto ambiental en el sector manufacturero y su efecto con y sin neutralidad en el ingreso gubernamental. La simulación de la política considera un impuesto máximo de 5% para la más contaminante de las industrias manufactureras, la producción de productos petroquímicos. El resto de las tasas de impuestos están definidas en relación con el nivel de emisiones con respecto a la industria más contaminante. Los resultados de este trabajo indican que la introducción de un impuesto ambiental en el sector manufacturero tendrá el efecto de una reducción significativa en los niveles de contaminación en este sector y la reasignación de recursos hacia el gobierno.

Ibarrán y Boyd (2001) evalúan el efecto de la implementación de un impuesto al carbono en la economía mexicana. El modelo utilizado en este trabajo se divide en nueve sectores productivos, siete bienes de demanda final, cuatro categorías de ingreso de las familias, un sector externo, y el gobierno. Las variables económicas determinadas son la inversión, la acumulación de capital, la producción de cada sector, el consumo del hogar por sector, las importaciones y exportaciones, y los precios relativos, todos calculados para cada año durante un periodo de 20 años. Ibarrán y Boyd (2001) concluyen que el impuesto al carbono disminuye las emisiones de Gases de Efecto Invernadero sin pérdidas

significativas de bienestar. El efecto más significativo se presenta en los sectores energéticos, en los que la producción disminuye y los precios aumentan.

En la siguiente sección se presenta el modelo de EGC que es la parte principal de este trabajo de investigación.

CAPÍTULO 4: UN MODELO DE EQUILIBRIO GENERAL COMPUTABLE PARA MÉXICO

Este capítulo presenta el modelo de Equilibrio General Computable (EGC) con características especiales que permiten realizar una primera aproximación al análisis de la implementación de políticas ambientales que tienen como objetivo la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero al menor costo posible en México. En la sección 4.1 de este capítulo se describe la Matriz de Contabilidad Social (MCS), la fuente de información que utiliza el modelo de EGC, y se presenta la MCS que será utilizada en este trabajo de investigación. Merece atención especial la agregación particular que tienen los sectores porque está seleccionada con la intención de hacer explícitos los efectos de la implementación de los instrumentos económicos en los sectores que aportan la mayoría de las emisiones de GEI. En 4.2 se presenta y describe el modelo de EGC que es la herramienta de análisis que utiliza esta tesis para evaluar la implementación de políticas ambientales. En 4.3 se presenta la regla de cerradura que utiliza el modelo de EGC.

Se decidió por conveniencia utilizar el marco provisto por el Global Trade Analysis Project (GTAP) que nos proporciona un modelo de EGC de libre acceso, con documentación completa fácilmente accesible en línea y consistente con la teoría microeconómica. GTAP fue establecido en 1992 con el objetivo de bajar el costo de entrada para aquellos interesados en realizar análisis cuantitativos sobre cuestiones de economía internacional en un marco para toda la economía en su conjunto (Hertel y Walmsley, 2008:1-1). La dificultad para un investigador aislado para realizar análisis de este tipo es considerable. GTAP tiene la intención de establecer la cooperación como un principio que permita que más interesados empleen este tipo de metodología para realizar análisis cuantitativos.

Un modelo estándar de EGC está conformado por tres componentes principales: la matriz de contabilidad social (MCS), el modelo (ecuaciones de comportamiento de los agentes económicos), y la regla de cerradura. En las secciones siguientes se presentan los componentes que conforman el modelo de EGC que utiliza este trabajo de investigación como herramienta de análisis cuantitativo.

4.1 Matriz de Contabilidad Social (MCS)

Una MCS es un registro de las transacciones entre los agentes económicos como los consumidores, empresas y el gobierno. En el cuadro 4.1 se presenta una MCS típica.

Cuadro 4.1 Matriz de Contabilidad Social Típica

Ingresos	Gastos						
	Actividades	Materias Primas	Factores	Hogares	Gobierno	Cuenta de Capital	Resto del Mundo
Actividades		Ventas Domésticas			Impuestos a las Exportaciones		Exportaciones
Materias Primas	Insumos Intermedios			Consumo Privado	Consumo del Gobierno	Inversión Pública y Privada	
Factores	Valor Agregado						
Hogares			Distribución del Ingreso		Transferencias del Gobierno		Remesas e Ingresos de los Factores
Gobierno	Impuestos Indirectos	Aranceles	Impuestos a los Factores	Ingreso y Otros Impuestos		Endeudamiento Público de Fuentes Domésticas	Ayuda Exterior y Otras Transferencias al Gobierno
Cuenta de Capital			Utilidades Retenidas	Ahorro Privado	Ahorro del Gobierno		Ahorro Externo
Resto del Mundo		Importaciones	Expatriación de Beneficios	Pagos a Extranjeros	Pagos de la Deuda Externa del Gobierno	Pagos de la Deuda Externa Privada	

Fuente: Cuadro adaptado de Buehrer y Mauro (1993:2).

Para cumplir con los objetivos que persigue esta tesis, se decidió utilizar como fuente de información para construir la MCS la base de datos GTAP versión 6 que tiene como año de referencia el 2001. Se decidió escoger esta versión porque es la más reciente de acceso libre. Para realizar la agregación regional, sectorial y factorial de la MCS se utilizó el software GTAPAgg, que es una aplicación que recopila la información contenida en la base de datos GTAP versión 6.¹

4.1.1 Base de Datos GTAP versión 6

En esta tesis se decidió utilizar la versión 6 de la base de datos GTAP que contiene información

¹ GTAPAgg está disponible para su descarga gratuita en https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/res_display.asp?RecordID=807 accesado el 21/6/2012.

detallada de comercio bilateral, arancelaria y de transporte que caracteriza los vínculos económicos entre regiones que aunada a las matrices de insumo-producto nacionales, describe los vínculos intersectoriales entre 57 sectores dentro de cada una de las 87 regiones. Todos los valores monetarios de la base de datos se encuentran en millones de dólares y el año base es 2001.

La fuente de información para la MCS de México que se utiliza en la base de datos GTAP versión 6.2 fue obtenida del Instituto Nacional de Geografía e Informática (INEGI) y de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) (ver Gonzalez-Mellado 2008 y Burfisher *et al.*, 1992). En el anexo 2 se presenta la correspondencia entre la clasificación de GTAP versión 6 (GSC 2) y la clasificación mexicana de productos y actividades.

4.1.2 Agregación Regional

Para alcanzar los objetivos que persigue esta tesis, se decidió emplear una agregación que explícitamente permita capturar los efectos de la implementación de los instrumentos económicos propuestos por la LGCC. Se decidió usar una agregación con dos regiones: México y el Resto del Mundo². Esta agregación le permitirá al analista rastrear los efectos de los cambios de política que buscan la mitigación de los GEI en México.

4.1.3 Agregación Sectorial

Los sectores representados en la base de datos GTAP versión 6 son los que están codificados en el anexo 2. Ahí se presenta la descripción de cada uno de los sectores que conforman la base de datos. Esta representación proporciona al analista una visión de la economía y sus interacciones en su conjunto.

Para que sea tratable la MCS a usar como fuente de información de nuestro modelo de EGC se decidió realizar una agregación sectorial que permita al analista aislar los efectos de las políticas ambientales. La agregación sectorial que presenta la selecta MCS se apoya en las estimaciones de Ruiz Nápoles (2011, 2012) sobre las emisiones de GEI por rama, impactos de los encadenamientos hacia atrás y

² Ver Anexo 1 en donde se indican los países presentes en la base de datos GTAP versión 6.

hacia adelante, coeficientes de emisión de GEI por rama, y costos de la contaminación. A continuación se presenta esta información para facilitar la comprensión del lector.

En el cuadro 4.2 se presentan las estimaciones generadas por Ruiz Nápoles (2011) para las emisiones de GEI por rama económica para México en 2008. Estas estimaciones son el resultado de la conjunción del Inventario Nacional de Emisiones creado por el Instituto Nacional de Ecología (INE) para el año 1999 con la matriz I-P creada por el INEGI para el año 2008.³

Cuadro 4.2 Emisiones de GEI por Rama Económica en México, 2008.

³ Esta estimación no se puede replicar porque los datos de la matriz I-P de 2008 para México no han sido publicados hasta el momento.

No.	Rama	Emisiones GEI Gg CO2 eq	%. %
1	9 Generación, transmisión y suministro de energía eléctrica	176124.8	23.7
2	39 Autotransporte de carga	91189	12.3
3	3 Aprovechamiento forestal	69980.2	9.4
4	64 Manejo de desechos y servicios de remediación	61865.8	8.3
5	40 Transporte terrestre de pasajeros, excepto por ferrocarril	61552.9	8.3
6	10 Agua y suministro de gas por ductos al consumidor final	53220.4	7.2
7	6 Extracción de petróleo y gas	46672.5	6.3
8	2 Ganadería	39055.3	5.3
9	26 Fabricación de productos a base de minerales no metálicos	34429.1	4.6
10	27 Industrias metálicas básicas	30713.2	4.1
11	1 Agricultura	11031.6	1.5
12	79 Actividades del Gobierno	8108.5	1.1
13	12 Construcción de obras de ingeniería civil u obra pesada	7520.4	1
14	36 Transporte aéreo	6094.3	0.8
15	24 Industria química	5857.3	0.8
16	7 Minería de minerales metálicos y no metálicos	5146.9	0.7
17	23 Fabricación de productos derivados del petróleo y carbón	4686.2	0.6
18	11 Edificación	3174.9	0.4
19	8 Servicios relacionados con la minería	2844.6	0.4
20	43 Servicios relacionados con el transporte	2400.6	0.3
21	37 Transporte por ferrocarril	2230.3	0.3
22	51 Otras telecomunicaciones	1922.7	0.3
23	38 Transporte por agua	1848.5	0.2
24	42 Transporte turístico	1457.6	0.2
25	15 Industria de las bebidas y del tabaco	1342	0.2
26	14 Industria alimentaria	1183	0.2
Total ramas seleccionadas		731652.6	98.5
Total todas las ramas		742436.2	100

Fuente: Ruiz Nápoles (2011) cuadro 1.

En el cuadro 4.2 se observa claramente que la rama de generación, transmisión y suministro de energía eléctrica es la que genera mayores emisiones de GEI. Esta rama contribuye con el 23.7% del total de las emisiones. Las dos ramas directamente relacionadas con el transporte, de carga y de transporte terrestre de pasajeros, contribuyen juntas con el 20.6% de las emisiones de GEI. Estas tres ramas en conjunto generan más del 40% de las emisiones de GEI estimadas. La contribución de la rama de

aprovechamiento forestal es de 9.4 %. Esta información nos provee una primera guía en la selección de la agregación sectorial que se empleará en la construcción de la MCS que usa nuestro modelo de EGC.

En el análisis de Insumo-Producto se denominan como estratégicas o claves ciertas ramas por sus efectos en las demás, ya sea por medio de la demanda o por medio de la oferta de esa rama. La relación económica entre dos ramas se llama encadenamiento. Los encadenamientos pueden ser de dos tipos: encadenamientos hacia atrás o de demanda, y encadenamientos hacia adelante o de oferta. De acuerdo con el número de esos encadenamientos y su intensidad, cada rama puede tener efectos transmisores fuertes o débiles con el conjunto de la economía. Es de nuestro interés identificar las ramas que tienen un impacto mayor, ya sea hacia atrás o hacia adelante, porque de esta manera identificaremos las ramas que tienen una mayor influencia sobre la estructura productiva de la economía mexicana. Esta información es importante en el diseño de los instrumentos económicos porque nos indica el posible efecto de la intervención gubernamental en estas ramas. A continuación se presenta el cuadro 4.3 que nos indica los impactos de los encadenamientos hacia atrás y hacia adelante por el método de extracción estimados por Ruiz Nápoles (2012).

Cuadro 4.3 Impactos de los Encadenamientos hacia atrás y hacia adelante por el método de extracción para 23 ramas de la matriz de I-P, 2008.

Impactos Encadenamientos hacia Atrás				
Posición	No	Rama	Mill Pesos	%.
1	35	Comercio	2078601	9.24
2	32	Fabricación de equipo de transporte	1205574	5.36
3	23	Fab. de prod. derivados del petróleo y carbón	1198529	5.33
4	14	Industria alimentaria	1189604	5.29
5	11	Edificación	1181013	5.25
6	24	Industria química	1106394	4.92
7	6	Extracción de petróleo y gas	895413	3.98
8	30	Fab. de equipo de computación y electrónicos	887077	3.94
9	9	Gen., transm. y suministro de energía eléctrica	778074	3.46
10	27	Industrias metálicas básicas	769470	3.42
11	61	Servicios profesionales, científicos y técnicos	746159	3.32
12	39	Autotransporte de carga	681153	3.03
13	31	Fab. equipo de gen. eléctrica y aparatos eléctric	538344	2.39
14	12	Constr. obras de ingeniería civil u obra pesada	538186	2.39
15	25	Industria del plástico y del hule	494765	2.2
16	28	Fabricación de productos metálicos	449909	2
17	63	Servicios de apoyo a los negocios	444425	1.98
18	26	Fabr. de prod. a base de minerales no metálicos	413102	1.84
19	2	Ganadería	400806	1.78
20	1	Agricultura	393580	1.75
21	51	Otras telecomunicaciones	382499	1.7
22	58	Servicios inmobiliarios	367928	1.64
23	79	Actividades del Gobierno	353974	1.57

Fuente: Ruiz Nápoles (2012).

Cuadro 4.3 (cont.)

Impactos Encadenamientos hacia Adelante				
Posición	No.	Rama	Mill Pesos	%
1	35	Comercio	2047764	9.13
2	6	Extracción de petróleo y gas	1906972	8.5
3	24	Industria química	1508612	6.73
4	23	Fab. de prod. derivados del petróleo y carbón	1427409	6.36
5	27	Industrias metálicas básicas	912760	4.07
6	61	Servicios profesionales, científicos y técnicos	877789	3.91
7	14	Industria alimentaria	833334	3.72
8	32	Fabricación de equipo de transporte	805419	3.59
9	30	Fab. de equipo de computación y electrónicos	779187	3.47
10	9	Gen., transm. y suministro de energía eléctrica	661624	2.95
11	39	Autotransporte de carga	625102	2.79
12	63	Servicios de apoyo a los negocios	604108	2.69
13	25	Industria del plástico y del hule	600765	2.68
14	31	Fab. equipo de gen. eléctrica y aparatos eléctric	597494	2.66
15	11	Edificación	588680	2.62
16	28	Fabricación de productos metálicos	476117	2.12
17	58	Servicios inmobiliarios	431426	1.92
18	1	Agricultura	412586	1.84
19	55	Instituciones de intermediación crediticia y financ	396982	1.77
20	26	Fabr. de prod. a base de minerales no metálicos	363355	1.62
21	51	Otras telecomunicaciones	336676	1.5
22	7	Minería de minerales metálicos y no metálicos	329506	1.47
23	2	Ganadería	321670	1.43

Fuente: Ruiz Nápoles (2012).

En el cuadro 4.3 se observa que existe una coincidencia en la primera posición en el impacto de los encadenamientos hacia atrás y hacia adelante que es la rama 35 que representa el comercio. Esta coincidencia no se presenta en ninguna de las ramas restantes. Sin embargo, se observa que en esta clasificación doble la industria química es importante, posición 6 y 3 respectivamente. Es de nuestro especial interés que la industria de generación, transmisión y suministro de energía eléctrica obtuvo la posición 9 y 10 respectivamente. Lo cual nos indica que esta rama es de especial importancia para nuestro análisis.

En el cuadro 4.4 se presenta la información ordenada por el coeficiente de intensidad calculado por Ruiz Nápoles (2012) que sirve para clasificar a las ramas por la relación entre las emisiones por rama y

el producto bruto por rama medido en millones de pesos. El coeficiente de intensidad se obtiene al dividir las emisiones de GEI en unidades de CO₂ equivalentes entre el producto bruto en millones de pesos. Esta información es útil para determinar la agregación sectorial porque nos señala la relación entre emisiones y la contribución del sector al PIB medido en pesos. Es decir, nos provee una medida de la intensidad de las emisiones por unidad de valor de la producción del sector considerado.

Cuadro 4.4 Coeficientes de Intensidad de Emisiones por Ramas, 2008.

	No.	Rama	Emisiones GEI Gg CO ₂ eq	Producto Bruto Mills Pesos	Coef. De Intensidad
1	64	Manejo de desechos y servicios de remediación	61866	7714	8.02
2	3	Aprovechamiento forestal	69980	25988	2.693
3	10	Agua y suministro de gas por ductos al consumidor final	53220	35139	1.515
4	9	Generación, transmisión y suministro de energía eléctrica	176125	543566	0.324
5	42	Transporte turístico	1458	5856	0.249
6	2	Ganadería	39055	254792	0.153
7	40	Transporte terrestre de pasajeros, excepto por ferrocarril	61553	414278	0.149
8	39	Autotransporte de carga	91189	629376	0.145
9	26	Fabricación de productos a base de minerales no metálicos	34429	260699	0.132
10	38	Transporte por agua	1848	22022	0.084
11	36	Transporte aéreo	6094	76258	0.08
12	27	Industrias metálicas básicas	30713	435093	0.071
13	37	Transporte por ferrocarril	2230	34468	0.065
14	7	Minería de minerales metálicos y no metálicos	5147	107720	0.048
15	6	Extracción de petróleo y gas	46672	1132166	0.041
Ramas seleccionadas total			681581	3985133	0.171
Todas las Ramas			742436	20762760	0.036

Fuente: Ruiz Nápoles (2012).

En el cuadro 4.4 se observa que el coeficiente de intensidad es muy alto para las ramas 64 y 3, manejo de desechos y aprovechamiento forestal, con respecto al valor de su producción medido en millones de pesos. Esto nos indica que son ramas altamente contaminantes que no generan valor suficiente para tener un coeficiente de intensidad parecido a las ramas restantes. Este hecho sugiere que en estas ramas la producción genera poco valor a un alto costo en contaminación.

En el cuadro 4.4 observamos en la cuarta posición a la generación, transmisión y suministro de energía eléctrica. Esta rama presenta un coeficiente de intensidad de 0.324 más del doble de la rama que se encuentra en la sexta posición. Este hecho nos indica que el coeficiente de intensidad es relativamente

alto para las primeras cinco posiciones con respecto al resto de las ramas. Esto nos sugiere que las ramas que mayores emisiones producen se encuentran concentradas.

Con la intención de tener una visión más completa de nuestro caso de estudio, en el cuadro 4.5 se presenta una estimación de los costos de la contaminación por ramas realizada por Ruiz Nápoles (2012). Este autor estima los costos relativos de las emisiones de GEI como efectos negativos de la producción regular de la economía sin cambio tecnológico. Esta estimación de costos es una aproximación para calcular los costos de las externalidades relacionadas con la producción en las ramas económicas de México para el año 2008.

Cuadro 4.5 Estimación de los Costos de las Externalidades, 2008.

			VBP sin costos cont.	VBP con costos cont.	Diferencias		% del total
Rama					absolutas	rel.	
		Todas las Ramas	24362871.5	25265340.4	902468.9	3.7	100
		Ramas seleccionadas	13211216.1	13875690.3	664474.2	5	73.6
1	14	Industria alimentaria	1455287.5	1542253.8	86966.3	6	9.6
2	11	Edificación	1207596.5	1289114.9	81518.4	6.8	9
3	9	Generación, transmisión y suministro de energía eléctrica	643046.4	706605.5	63559.1	9.9	7
4	20	Industria de la madera	76049.9	133615.2	57565.3	75.7	6.4
5	32	Fabricación de equipo de transporte	1091494.6	1137716.9	46222.3	4.2	5.1
6	27	Industrias metálicas básicas	502877	543776.9	40899.9	8.1	4.5
7	30	Fabricación de equipo de computación y electrónicos	659355.4	699818.3	40462.9	6.1	4.5
8	24	Industria química	754649	792056.8	37407.7	5	4.1
9	23	Fabricación de productos derivados del petróleo y carbón	741095.5	770849.1	29753.7	4	3.3
10	12	Construcción de obras de ingeniería civil u obra pesada	691826.7	719150.9	27324.2	3.9	3
11	26	Fabricación de productos a base de minerales no metálicos	298116.8	316605.9	18489.1	6.2	2
12	31	Fab. de equipo de generación eléctrica y aparatos eléctricos	289513.6	305891.6	16378	5.7	1.8
13	28	Fabricación de productos metálicos	220994	237190.5	16196.4	7.3	1.8
14	39	Autotransporte de carga	747893.3	762262.1	14368.8	1.9	1.6
15	61	Servicios profesionales, científicos y técnicos	690536.3	702035.7	11499.4	1.7	1.3
16	6	Extracción de petróleo y gas	1296289.4	1307209.8	10920.4	0.8	1.2
17	25	Industria del plástico y del hule	198280.9	208288.4	10007.6	5	1.1
18	29	Fabricación de maquinaria y equipo	178893.5	188073	9179.5	5.1	1
19	33	Fabricación de muebles y productos relacionados	67698.6	76463.1	8764.5	12.9	1
20	40	Transporte terrestre de pasajeros, excepto por ferrocarril	492065.4	500775.4	8710	1.8	1
21	21	Industria del papel	162098	169942.7	7844.7	4.8	0.9
22	1	Agricultura	383207.9	390291.3	7083.4	1.8	0.8
23	7	Minería de minerales metálicos y no metálicos	134114.4	138792.3	4677.9	3.5	0.5
24	36	Transporte aéreo	87263.4	90483.8	3220.4	3.7	0.4
25	10	Agua y suministro de gas por ductos al consumidor final	42321.6	45334.4	3012.8	7.1	0.3
26	37	Transporte por ferrocarril	41599.2	42544.1	945	2.3	0.1
27	38	Transporte por agua	26391.3	27207.4	816.2	3.1	0.1
28	3	Aprovechamiento forestal	30660.3	31340.5	680.2	2.2	0.1

Fuente: Ruiz Nápoles (2012).

En el cuadro 4.5 se observa que el costo total de las emisiones de GEI representa el 3.7 por ciento del Valor Bruto de la Producción. La industria alimentaria es la que aporta un 9.6 por ciento del total del costo. La generación, transmisión y suministro de energía eléctrica aporta el 7 por ciento. Es importante notar que las posiciones de las ramas en estas estimaciones son un tanto distintas de la información contenida en los tres cuadros anteriores al 4.5. Por ejemplo, el autotransporte de carga es el segundo mayor emisor de GEI de acuerdo con el cuadro 4.2. Sin embargo, en el cuadro 4.5 aparece con una aportación del 1.6 por ciento del costo total de la externalidad. Esta aportación posiciona a esta rama en el lugar 14.

En suma, la información contenida en los cuadros 4.2, 4.3, 4.4, y 4.5 llevó a seleccionar la siguiente agregación sectorial que será utilizada para conformar nuestra MCS que sirve como base de información para el modelo de EGC. En el cuadro 4.6 se presenta nuestra elección de agregación

sectorial.

Cuadro 4.6 Agregación Sectorial Seleccionada para el Modelo de EGC

No.	Código Nuevo	Descripción	Sectores originales con código original
1	TRANS	Todas las ramas de transporte	otp, wtp, atp
2	ELEC	Generación, captación y distribución de energía eléctrica	ely
3	COMB	Petróleo, Gas y Carbón	coa, oil, gas, gdt
4	SILV	Aprovechamiento Forestal	frs
5	COMIDA	Producción de Alimentos	pdr, wht, gro, v_f, osd, c_b, pfb, ocr, cti, oap, rnk, wol, fsh, cmt, omt, vol, mil, pcr, sgr, ofd, b_t
6	MNFCS	Manufacturas	omn, tex, wap, lea, lum, ppp, p_c, crp, nmm, i_s, nfm, fmp, mvh, otn, ele, ome, omf
7	SVCES	Servicios	wtr, cns, trd, cmn, ofi, isr, obs, ros, osg, dwe

Fuente: Elaboración propia.

En la selección de la agregación sectorial que se observa en el cuadro 4.6 se utilizó como criterio principal las emisiones por rama económica en México. Esto es porque el objetivo principal de la política ambiental es la reducción de las emisiones de GEI al menor costo posible. Además, se utilizó el resto de la información de esta sección en la selección de la agregación sectorial. Esto con el objetivo de reflejar la estructura particular de la economía mexicana y de esta manera poder precisar los efectos de la intervención gubernamental.

4.1.4 Agregación Factorial

Un requisito que se impone para la base de datos GTAP versión 6 es que los costos totales para cada sector deben ser iguales a las ventas totales para cada sector. Los costos sectoriales están compuestos por pagos a los insumos intermedios, que son los factores de producción que en la base de datos GTAP versión 6 son cinco: tierra, trabajo calificado y no-calificado, capital y recursos naturales, y otros impuestos. Es importante señalar que la tierra es solamente utilizada en los sectores de agricultura primaria y los recursos naturales son solamente empleados por los sectores extractivos. Las participaciones de los factores primarios en la agricultura empleados en la base de datos están basados

en evidencia econométrica⁴. Las participaciones del trabajo, calificado y no-calificado, provienen de las tablas de I-P originales⁵. La participación del capital se obtiene como residual (Dimaranan y McDougall, 2006b)⁶.

En la base de datos GTAP versión 6 se dividen los pagos totales al trabajo en pagos al trabajo calificado y al trabajo no-calificado. Esta clasificación está basada en la clasificación de la Organización Internacional del Trabajo (OIT). La clasificación es la siguiente:

- Trabajo calificado: gerentes y administradores, profesionistas, y para-profesionistas.
- Trabajo no-calificado: personas con un oficio, empleados, comerciantes, trabajadores de servicios personales, operadores de maquinaria y de planta, choferes, obreros y trabajadores relacionados, y trabajadores en la agricultura.

Esta división del trabajo en dos clasificaciones tiene la intención de poder capturar en el modelo la dispersión en el salario de los trabajadores (Dimaranan, 2006b).

En este trabajo de investigación se decidió utilizar el máximo nivel de desagregación posible para los factores de producción. Esto es con el fin de capturar los posibles efectos de la intervención gubernamental entre los factores de producción lo que nos da una idea del efecto sobre los hogares y su bienestar. En el cuadro 4.7 se presenta la agregación factorial empleada en nuestro modelo de EGC.

Cuadro 4.7 Agregación Factorial de la MCS

⁴ Ver cuadro 18.C.1 y 18.C.2 de Hertel y Tsigas (2006) en donde se presentan las participaciones de los factores primarios o de producción resultado de una revisión de la bibliografía econométrica que son los que emplea la base de datos GTAP versión 6.

⁵ Ver Dimaranan (2006b) en donde se presenta un breve resumen de la metodología empleada para obtener la información sobre la participación del trabajo calificado y el trabajo no-calificado.

⁶ Ver cuadro 5.3 de Dimaranan y McDougall (2006b) en el cual se presenta un resumen de la participación de los factores en el costo total para la economía mundial.

No.	Código	Descripción
1	Land	Tierra
2	UnSkLab	Trabajo no-calificado
3	SkLab	Trabajo Calificado
4	Capital	Capital
5	NatRes	Recursos Naturales

Fuente: Elaboración propia.

4.2 Estructura del Modelo GTAP Estándar

En esta sección se presenta una breve descripción del modelo que proporcionará la base para el modelo de EGC que servirá como la herramienta de análisis cuantitativo de este trabajo de investigación.

El modelo GTAP estándar es un modelo multiregión, multisectorial y estático de equilibrio general computable con el supuesto de competencia perfecta y rendimientos constantes a escala. La documentación completa del modelo estándar GTAP se encuentra en Hertel y Tsigas (1997). En esta sección se presenta una descripción de las características principales del modelo.

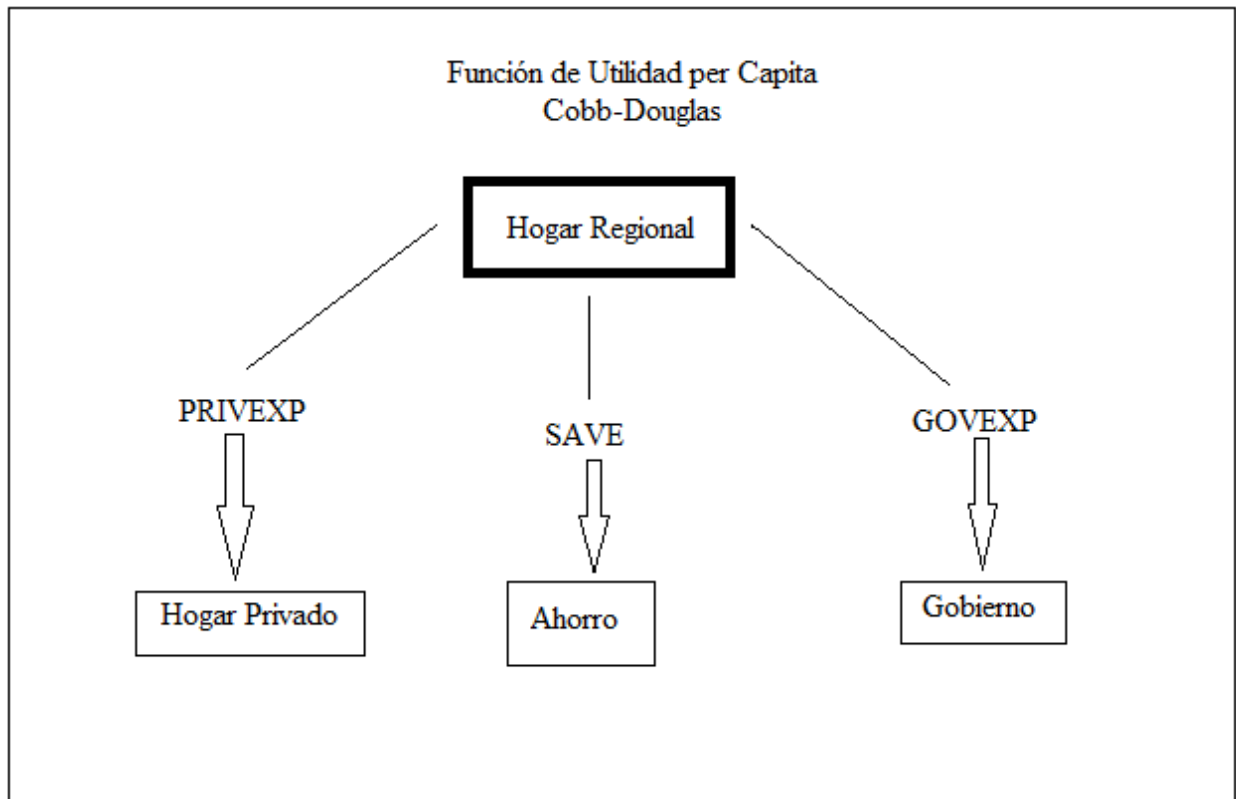
El sistema de ecuaciones subyacente de GTAP tiene dos tipos diferentes de ecuaciones. Una parte cubre las relaciones contables que aseguran que los gastos y los ingresos de los cada agente en la economía se encuentren balanceados. La otra parte del sistema de ecuaciones consiste en las ecuaciones de comportamiento que están fundamentadas en la teoría microeconómica. Estas ecuaciones especifican el comportamiento de los agentes optimizadores en una economía. Un ejemplo son las funciones de demanda. En las siguientes subsecciones se detallan estos dos tipos de ecuaciones presentes en el modelo GTAP.

4.2.1 Relaciones Contables

Se consideró que para explicar los conceptos básicos de las relaciones contables presentes en el modelo GTAP era adecuado realizar una ilustración gráfica siguiendo lo expuesto en Brockmeier (2001). Comenzamos por describir las características de las relaciones contables en el modelo simplificándolo al caso de una economía cerrada de una sola región sin intervenciones gubernamentales.

Empezamos por describir a lo que llamamos un hogar regional asociado con cada país o región presentes en GTAP. Este hogar regional recibe todo el ingreso que se genera en una economía cerrada. Empleando una función de utilidad per capita Cobb-Douglas, el ingreso regional se destina hacia tres formas de demanda final: pagos de los hogares privados (PRIVEXP), pagos del gobierno (GOVEXP), y el ahorro (SAVE). Este marco represta la regla de cerradura estándar en el modelo GTAP en el cual cada componente de la demanda final mantiene aproximadamente una participación constante del ingreso regional total. Por lo tanto, un incremento en el ingreso regional resulta en un incremento aproximadamente equiproporcional en los gastos privados, gastos del gobierno y el ahorro. Esta configuración de la demanda final se observa en la gráfica 4.1 presentada a continuación.

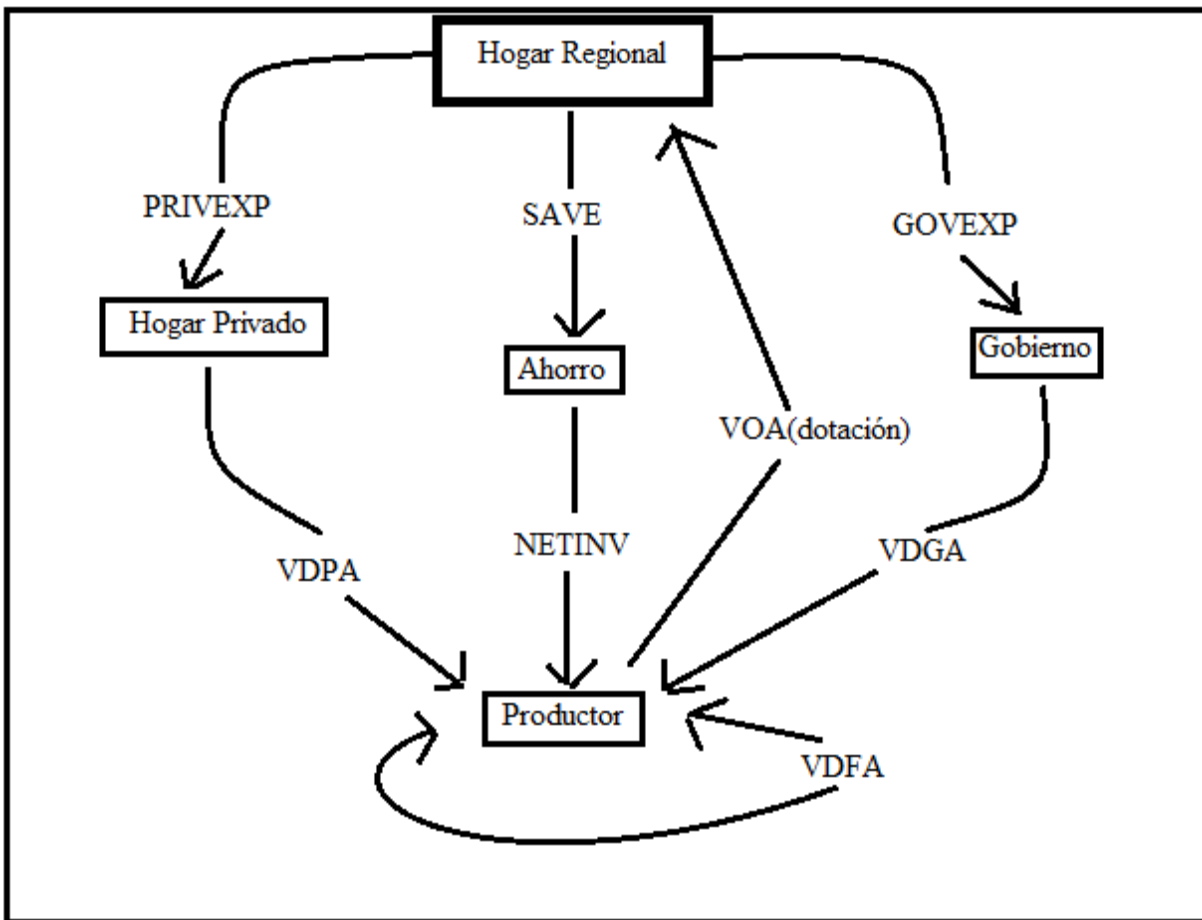
Gráfica 4.1 Hogar Regional y Componentes de la Demanda Final



Fuente: Adaptado de la gráfica 1 de Brockkmeier (2001).

Posteriormente, agregamos a los productores y sus interrelaciones a la gráfica (ver gráfica 4.2).

Gráfica 4.2 Economía Cerrada de una Región sin Intervención Gubernamental



Fuente: Adaptado de la gráfica 2 de Brockmeier (2001).

Las empresas y el hogar regional juntos conforman con sus tres componentes de demanda final una economía cerrada. Esta configuración nos permite observar las identidades contables presentes en el modelo GTAP.

El hogar regional en la mitad superior de la gráfica nos muestra que el ingreso regional disponible consiste de el valor agregado del producto al precio de los agentes (VOA) pagado por los productores por el uso de las dotaciones iniciales de factores del hogar regional. Al establecer la distribución del ingreso regional, ahora estamos en posición de considerar las actividades económicas de otros agentes en una economía cerrada. En la gráfica 4.2 observamos la relación contable para los gastos de gobierno, consumo privado y el ahorro.

El primer componente de la demanda final son las compras del gobierno. Las compras del gobierno están indicadas como el valor de las compras del gobierno valuadas a los precios de los agentes (VDGA). Para modelar el comportamiento del gasto del gobierno se emplea una función de subutilidad Cobb-Douglas. En este caso, las participaciones de gasto Cobb-Douglas son constantes para todos los insumos (Brockmeier, 2001:6).

El segundo componente de la demanda final es el consumo privado, que en la gráfica 4.2 se denota como el valor de las compras privadas de los hogares domésticos evaluadas a precios de los agentes (VDPA). El comportamiento optimizador sujetos a restricciones del consumo privado en GTAP está representado por una función implícita de gastos de diferencia constantes de elasticidad (DCE) (ver sección 4.2.2.2 en donde se detalla este tipo de función).

El tercer componente de la demanda final en la gráfica 4.2 nos muestra que el ahorro se emplea completamente en inversión (NETINV). En el modelo GTAP la demanda por inversión es guiada por el ahorro. Dada la naturaleza estática del modelo GTAP, se supone que la inversión corriente no será instalada en el periodo en consideración, por lo cual no afecta la capacidad productiva de las industrias en el modelo.

El lado de la producción en la gráfica 4.2 nos muestra las relaciones contables de las empresas en GTAP. Los productores reciben pagos por vender bienes de consumo a los hogares privados (VDPA) y al gobierno (VDGA), insumos intermedios a otros productores (VDFA), y bienes de inversión al sector del ahorro (NETINV). Bajo el supuesto de cero beneficios económicos utilizada en el modelo GTAP, estos ingresos deben ser completamente utilizados en comprar insumos intermedios (VDFA) y factores primarios de la producción (VOA).

Entre los factores primarios de la producción, el modelo GTAP adicionalmente distingue entre dotaciones iniciales que son perfectamente móviles y las que son “pegajosas” para ajustarse. En el primer caso, el factor gana el mismo pago sin importar en donde este empleado. En el segundo, los pagos en equilibrio pueden diferir entre sectores.

Las relaciones contables completas en este modelo de una región para una economía cerrada forman un

sistema de ecuaciones simultáneas en el cual una identidad es redundante y puede ser omitida. En GTAP, la identidad de la inversión no es impuesta. Por lo cual, un cálculo separado del ahorro y la inversión nos ofrece una prueba de consistencia en las relaciones contables y sirve para verificar que se cumpla la Ley de Walras. Dado que el modelo solo puede ser resuelto para N-1 precios, un precio se fija exógenamente y todos los demás precios son evaluados relativamente a este numerario.⁷ Así concluye la exposición del modelo para una economía cerrada sin intervención gubernamental. Esta sirve para darnos una idea general de las relaciones contables del modelo GTAP. Para completar el modelo se incorporan las intervenciones gubernamentales y se agrega un sector de comercio internacional que representa al resto del mundo dentro del modelo.

4.2.2 Ecuaciones de Comportamiento

Las ecuaciones de comportamiento en un modelo de EGC son las que incorporan el comportamiento no-lineal de los agentes. Reflejan los postulados de la teoría microeconómica con respecto al comportamiento esperado de los agentes racionales en un contexto económico. A continuación se describen las ecuaciones de comportamiento para las empresas y hogares modelados en GTAP.

4.2.2.1 Comportamiento de las Empresas

En GTAP el comportamiento de las empresas está modelado por una función de producción anidada.⁸ La función de producción anidada de GTAP exhibe retornos constantes a escala para cada sector y produce un solo producto. Adicionalmente, se supone que la tecnología es débilmente separable entre los factores de producción primarios y los insumos intermedios. Por lo tanto, las empresas maximizadoras de beneficios escogen sus combinación óptima de factores de producción primarios independientemente del precio de los insumos intermedios. Suponer este tipo de separabilidad también implica que la elasticidad de sustitución entre cualquier factor primario individual y los diferentes insumos intermedios es la misma.

Esta tecnología se simplifica aún más al emplear una forma funcional de elasticidad de sustitución

⁷ Ver Hertel y Tsigas (1997) para una descripción detallada de las relaciones contables del modelo.

⁸ Ver cuadro 2.11 de Hertel y Tsigas (1997:42) en donde se presentan las ecuaciones de comportamiento de los productores.

constante (ESC) en la agregación de los factores de producción primarios, así como en la combinación de valor agregado y los insumos intermedios que se necesitan para producir. Este supuesto reduce el número total de parámetros de sustitución en la función de producción a dos por sector (Brockmeier, 2001:8).

4.2.2.2 Comportamiento de los Hogares

Las preferencias de los hogares se modelan utilizando una forma funcional conocida como diferencia constante de elasticidades (DCE).⁹ La DCE fue originalmente presentada por Hanoch (1975) y puede ser clasificada como un modelo entre una función de elasticidad de sustitución constante no-homotética y formas funcionales más flexibles. Está basada en el supuesto de aditividad implícita y permite una representación más robusta de los efectos ingreso en el sistema de demanda (Liu *et al.*, 1998).

La función DCE implícita de gastos está dada por:

$$\sum_{i \in \text{TRAD}} B(i, r) * UP(r)^{\beta(i, r) \gamma(i, r)} * [PP(i, r) / E(PP(r), UP(r))]^{\beta(i, r)} \equiv 1 \quad (1)$$

En donde $E(\cdot)$ representa el mínimo gasto requerido para obtener un nivel pre-especificado de utilidad de los hogares, $UP(r)$, dado un vector de precios de los hogares, $PP(r)$. Los precios individuales son normalizados utilizando el gasto mínimo y después elevados a la potencia $\beta(i, r)$ y combinados de una manera aditiva. El problema de calibración implica escoger los valores de los parámetros de sustitución $\alpha(i, r)$, en donde $\alpha(i, r) = 1 - \beta(i, r)$, para replicar las elasticidades de precio de la demanda para después escoger los parámetros de expansión, $\gamma(i, r)$, para replicar las elasticidades de ingreso de la demanda que buscamos (Liu *et al.*, 1998). Se emplea una versión modificada del método de máxima entropía presentado por Surry (1997) para calibrar nuestra función DCE no-homotética de gastos.

4.3 Regla de Cerradura

Los modeladores deciden las variables del modelo que son endógenas y las que son exógenas. A esta

⁹ Ver cuadro 2.12 de Hertel y Tsigas (1997:47) en donde se presenta la lista completa de las ecuaciones de comportamiento de los hogares.

decisión se le conoce como la regla de cerradura del modelo. Esta decisión del modelador afecta los resultados del modelo de manera significativa. Burfisher (2011:19) presenta el siguiente ejemplo para destacar la importancia de la regla de cerradura.

Un ejemplo de una decisión de la regla de cerradura es la elección del modelador entre (1) suponer que la oferta laboral es exógena y que el salario endógeno se ajusta hasta que la oferta laboral nacional y la demanda sean iguales, o (2) suponer que el salario para toda la economía se establece exógenamente y que una oferta endógena de trabajo se ajusta hasta que la oferta nacional de trabajo se iguale su demanda.

Para ilustrar este ejemplo, supongamos que estamos estudiando el efecto de una caída en la demanda por televisiones la cual causa que la demanda por trabajo de la industria de las televisiones caiga. Si tenemos el supuesto (1), entonces los salarios de la economía en su conjunto caerán hasta que todos los trabajadores de la industria de los televisores encuentren trabajo en otras industrias. Sin embargo, si suponemos que estamos en el caso (2) entonces la pérdida de trabajos en el sector de las televisiones probablemente resultará en desempleo. Dado que un cambio en el tamaño de la fuerza de trabajo de una economía cambia la capacidad productiva de la misma, su PIB caerá más en un modelo de EGC que permita desempleo que en uno en el cual la oferta laboral este fija.

En el presente modelo se utilizará la cerradura estándar que emplea RunGTAP¹⁰ que es el programa que se usará para realizar las simulaciones del modelo. RunGTAP tiene como base el modelo estándar de GTAP. En el cuadro 4.8 se presenta una lista con las variables exógenas del modelo. El resto de las variables son endógenas.

¹⁰ El software de RunGTAP se encuentra disponible en <https://www.gtap.agecon.purdue.edu/products/rungtap/default.asp> y es de acceso libre. Accesado el 3/7/2012.

Cuadro 4.8 Variables Exógenas del Modelo de EGC

Variables			
psaveslack	pop	endwslack	atd
profitslack	pfactwld	atf	ats
cgdslack	incomeslack	avasec	avareg
ams	tradslack	afreg	afecom
aosec	atm	afeall	avaall
afcom	aoreg	dpgov	dpsave
aoall	afsec	tm	tms
au	afall	tf	tfd
to	dppriv	tpm;	tpd
qo(ENDW_COMM,REG)	tp	tgm	txs
atall	tx	afereg	tgd
tfn	afesec		

Fuente: Elaboración propia con información del software RunGTAP.

4.4 Regla de Cerradura Macro

Los modelos de EGC incluyen una ecuación de identidad que impone la restricción en la cual el ahorro total es igual a la inversión total. La regla de cerradura macro describe la decisión del modelador con respecto a cuál de las variables macroeconómicas, el ahorro o la inversión, se ajustará para mantener la identidad en la cual se establece que el ahorro es igual a la inversión.

GTAP es un modelo estático, por lo cual no incorpora un mecanismo intertemporal para la determinación de la inversión. Siguiendo a Dewatripont y Michel (1987), se tiene que existen cuatro soluciones comunes para la indeterminación fundamental de la inversión en los modelos estáticos. Las primeras tres son cerraduras no-neoclásicas en las cuales la inversión simplemente es fija y

consecuentemente otro tipo de fuente de ajuste es permitido. En la cuarta cerradura se permite que la inversión se ajuste. No obstante, en lugar de incluir una relación de inversión independiente, simplemente acomoda los cambios en el ahorro.

Adicionalmente es necesario considerar los cambios potenciales en la cuenta corriente. En nuestro contexto, forzamos a que el ahorro doméstico y la inversión se muevan conjuntamente al fijar el balance de la cuenta corriente. Para entender este argumento es conveniente recordar la siguiente identidad contable que surge de igualar el gasto nacional desde el lado de sus fuentes y de sus usos:

$$S - I \equiv X + R - M \quad (2)$$

En esta ecuación se afirma que el ahorro (S) menos la inversión es igual al superávit de la cuenta corriente. En donde R son las transferencias internacionales, X representa las exportaciones y M a las importaciones. Al fijar el lado derecho de la identidad también se fija la diferencia entre el ahorro nacional y la inversión.

Si el ahorro global es igual a la inversión global, entonces la sumatoria sobre el lado izquierdo de la ecuación (2) es igual a cero. Además, el fijar el lado derecho de (2) a nivel regional implica que cada participación de cada región en el agregado de ahorro neto está fijo. De esta manera, la igualdad del ahorro global y la inversión está asegurada. Esto a pesar de que no existe un “banco global” para intermediar formalmente entre el ahorro e inversión a nivel global.

Finalmente, dado que la inversión es forzada a ajustarse con los cambios regionales en el ahorro, este enfoque claramente forma parte de las cerraduras neoclásicas, tal y como lo identifican Dewatripont y Michel (1987).

La exogeneidad del saldo de la cuenta corriente representa la noción que este balance es macroeconómico en lugar de un fenómeno microeconómico. Esto implica que la causalidad en la identidad (2) va del lado izquierdo al lado derecho. En suma, la regla de cerradura del modelo GTAP es neoclásica (Hertel y Tsigas 1997:54).

En el modelo GTAP la regla de cerradura macro supone que la tasa de ahorro es exógena y constante, por lo cual los cambios en el ahorro se presentan cuando el ingreso cambia. El gasto en inversión cambia para acomodar el cambio en la oferta de ahorro. Un modelo con este tipo de regla de cerradura macro es conocido como conducido por el ahorro porque los cambios en el ahorro conducen a cambios en la inversión. Una ventaja de este tipo de cerradura es que la tasa de ahorro de la economía se mantiene constante y es igual a la observada en el año base (Burfisher, 2011:31).

Para ilustrar la relevancia de la regla de cerradura macro de nuestro modelo seguimos a Burfisher (2011:33). Tenemos un modelo conducido por el ahorro, la tasa de ahorro es exógena, en el cual suponemos que el ingreso del país se incrementa. En este modelo, los hogares ahorran una proporción fija de su ingreso por lo cual el incremento en el ingreso resultará en un incremento del ahorro y un incremento en el gasto de inversión. Por el otro lado, en un modelo conducido por la inversión, la inversión está fija por lo que la oferta de ahorro también está fija, un incremento en el ingreso resultará en un aumento en el gasto de los hogares en lugar de un incremento en el ahorro. Dado que los hogares y los inversionistas prefieren diferentes tipos de bienes, las dos formas alternativas de cerraduras macro nos llevarán a una composición diferente de la demanda de bienes. En un modelo conducido por el ahorro, como GTAP, el resultado probable de un incremento en el ingreso será un incremento en la producción de maquinaria y equipo, lo que los inversionistas prefieren comprar. Un modelo conducido por la inversión probablemente resultará en un incremento en la demanda por bienes de consumo privado como los abarrotes, vestido, y electrodomésticos.

4.5 Modelaje de Políticas Públicas Ambientales

Modelar los vínculos entre la energía-economía-medio ambiente-comercio es un objetivo importante en el análisis aplicado de políticas públicas. Este es el objetivo que persigue este trabajo de investigación. Sin embargo, el modelaje de estos vínculos en GTAP ha estado incompleto. Esto es porque la sustitución de energía, un factor clave en esta cadena de los vínculos ha estado ausente del modelo estándar (Burniaux y Troung, 2002: 1). Sin embargo, Perroni y Wigle (1997) muestran como el modelo GTAP, que no incorpora los beneficios ambientales y de mitigación, puede ser empleado para representar las consecuencias de las políticas ambientales. Su trabajo se concentra en formas simples de representar una tecnología de mitigación ausente en el modelo y también en identificar los efectos en el

bienestar derivados de la mitigación.

Un supuesto implícito en los modelos de EGC sin beneficios ambientales es que la retroalimentación entre el medio ambiente y la economía, particularmente por medio de las preferencias y la utilidad, es separable de las transacciones de mercado. Este enfoque en ocasiones puede tener sentido. Sin embargo, este enfoque puede no capturar por lo menos cuatro tipos de interacciones (Perroni y Wigle, 1997: 306-307):

1. Cambios en la evaluación relativa de un bien público comparado con bienes privados.
2. Cambios en los precios relativos de los bienes ocasionado por un desplazamiento de las participaciones de consumo y los desplazamientos resultantes en su uso intermedio.
3. Cambios en los patrones de consumo causados por cambios en la calidad ambiental. Estos cambios pueden incluir no solo una reducción en el consumo de bienes privados para aislar a los individuos de la mala calidad ambiental, sino también cambios en los patrones de consumo entre sustitutos y complementos de bienes ambientales.
4. Interacciones entre actividades de mitigación llevadas a cabo por las empresas y gastos privados tales como comprar purificadores de agua o purificadores de aire para los hogares.

En este trabajo de investigación se intenta remediar dos de estos problemas siguiendo la guía de Perroni y Wigle (1997). Nos enfocamos en la ausencia de una tecnología de mitigación en el modelo y una aproximación a incorporar los beneficios de la mitigación.

En el experimento que realizamos se estudia la implementación de un conjunto de impuestos a las emisiones enfocados en reducir el daño generado por la contaminación. Para este fin utilizamos la información contenida en el cuadro 4.5 que presenta una estimación de los costos de las externalidades realizado por Ruiz Nápoles (2012).

Cuando tecnologías de mitigación están disponibles, un incremento en los impuestos a las emisiones típicamente produce dos tipos de respuestas de las empresas. Primero, las empresas desplazan su producción de los bienes “sucios” a bienes “limpios”. Segundo, las empresas tienden a usar tecnologías más limpias para evitar algunos de los impuestos a las emisiones. En términos económicos, esto

significa usar más insumos provistos por el mercado para economizar en la producción de emisiones. Por lo tanto, cuando se implementa un impuesto a las emisiones, esperamos observar un incremento en la razón de insumos – producto en el mercado y un incremento en los ingresos del gobierno (Perroni y Wigle, 1997:311).

En el modelo GTAP es posible simular estos cambios a pesar de que el modelo no contiene explícitamente una tecnología de mitigación. Perroni y Wigle (1997:311) declaran que esto se realiza por medio un impacto a los parámetros tecnológicos en las funciones de producción y en la tasa de impuestos al producto final.

La idea es reproducir el mismo cambio porcentual en cantidades, precios, participaciones en los insumos en el modelo GTAP como se observaría en un modelo que incorporara una tecnología de mitigación. En GTAP podemos representar los choques de un impuesto a las emisiones por medio de choques a dos variables del modelo: ao y to . Estas representan un choque neutral total a la productividad aplicado a cada industria y un cambio en el poder de los impuestos a la producción.¹¹

Es común que cuando nos referimos a mitigación está relacionado a usar insumos disponibles en el mercado para reducir las emisiones asociadas con un nivel dado de producción. En un modelo razonablemente agregado, una función de producción que implícitamente represente una tecnología de mitigación puede ser expresada de la siguiente manera:

$$Q = f(X, E) \quad (3)$$

En donde Q representa la producción, X es la cantidad de insumos disponibles en el mercado y E representa las emisiones generadas. En el caso más simple el precio de las emisiones sería el impuesto a las emisiones, y los precios que cubren el costo (costo unitario) sería una función del precio de los insumos de mercado (PX) y el impuesto a las emisiones (PE).

Para realizar este experimento, proponemos dos casos extremos en la incorporación de una tecnología de mitigación en nuestro modelo. El primero es el caso Leontief en donde no se permite sustitución

¹¹ En este contexto el poder de los impuestos se refiere a 1 menos la tasa del impuesto.

entre X y E , por lo cual la mitigación solamente ocurre al desplazar la producción. En este sentido, no hay mitigación posible sin un cambio en la combinación final de la producción. En este caso se realizan simulaciones que emplean un impuesto a la producción solamente, ya que no hay posibilidad de sustitución para incorporar la mitigación. Es decir, realizamos las simulaciones aplicando choques a la variable to . El segundo es el caso Cobb-Douglas, en el cual tenemos una participación constante de los costos de la mitigación comparada con los insumos provistos por el mercado. En este caso los únicos choques que implementamos son a la variable ao que representan choques neutrales a la productividad de los sectores. Este choque corresponde a un incremento en la razón de insumos de mercado a producto para modelar la tecnología de mitigación¹².

En el siguiente capítulo reportamos los resultados de estos dos experimentos.²⁷

¹² Ver el apéndice de Perroni y Wigle (1997) en donde se explica a detalle la implementación de estos choques.

CAPÍTULO 5: SIMULACIONES DEL MODELO

En este capítulo se presentan los resultados de una serie de simulaciones que siguen las recomendaciones de Perroni y Wigle (1997) con respecto a una manera sencilla de incorporar un impuesto a las emisiones utilizando la estructura de GTAP. Esto es con el fin de ilustrar como adaptaciones simples a una estructura existente de un modelo de equilibrio general computable (EGC) permiten una mejor visión con respecto a la implementación de políticas ambientales (Perroni and Wigle, 1997:305).

La forma en que se enfrenta el problema de utilizar un modelo de EGC que no incorpora explícitamente los beneficios y actividades de mitigación sirve para resolver al menos la ausencia de una tecnología explícita de mitigación. Así, se emplea la matriz de contabilidad social (MCS) y el modelo que se desarrolló en el capítulo 4 con su agregación regional, sectorial y factorial.

Se explora la implementación de un conjunto de impuestos a las emisiones que tienen como objetivo reducir el nivel de las mismas para reducir las consecuencias negativas del cambio climático. En las simulaciones se presentan dos casos extremos: el caso Leontief y el caso Cobb-Douglas. Esto es, al presentar los casos extremos se obtiene una idea general del efecto real de la implementación de un impuesto a las emisiones en un modelo de equilibrio general computable (EGC) con características especiales para México.

En el caso Leontief no es posible la mitigación por lo que solo se aplican choques a la variable ao , que representan cambios en el impuesto a la producción por sector. En el caso Cobb-Douglas se aplican choques a la variable to , que corresponden con los parametros tecnológicos de la función de producción de cada sector que simulan la implementación de una tecnología de mitigación. El cuadro 5.1 proporciona el esquema con el cual interpretaremos los resultados de las simulaciones.

Cuadro 5.1 Tabla Resumen Modelo

Choques	Leontief	Cobb-Douglas
<i>to</i>	$-\beta\tau$	0
<i>ao</i>	0	$-\beta\tau$
Emisiones		
$\dot{e}$	0	$(\beta-1)\tau$
$\dot{E}$	<i>qo</i>	$(\beta-1)\tau qo$

Notas: β participación del costo de las emisiones en el costo total; τ cambio porcentual en el impuesto a las emisiones; *ao* variable de choque tecnológico; *to* cambio porcentual en el poder del impuesto al producto; *qo* cambio porcentual en el producto por sector por región; $\dot{e}$ cambio porcentual en las emisiones por unidad de producto; $\dot{E}$ cambio porcentual en emisiones totales.

Fuente: Perroni y Wigle (1997) cuadro 12.8.

En el cuadro 5.1 se observa la interpretación sugerida por Perroni y Wigle (1997) de los resultados de las simulaciones. Se aplican los choques con el valor de $-\beta\tau$ por separado a las variables *to* y *ao* para cada caso. El cambio porcentual en las emisiones por unidad de producto en el caso Leontief es igual a cero. Esto es porque no hay posibilidad de sustitución entre insumos para este caso. Por lo tanto, el cambio en las emisiones viene del cambio en la composición de la producción. El cambio porcentual en las emisiones totales, $\dot{E}$, está dado por el valor de la variable *qo* que está definida por cada sector.

En el caso Cobb-Douglas, el cambio porcentual en las emisiones por unidad de producto es igual a $(\beta-1)\tau$. Este parámetro refleja la posibilidad de sustitución entre los insumos para reducir las emisiones que se presenta en este caso. $\dot{E}$ está dado por el valor de la variable *qo* multiplicado por el escalar $(\beta-1)\tau$ para cada uno de los sectores. Este resultado indica el cambio porcentual en emisiones totales en presencia de sustitución entre los factores de la producción para bajar las emisiones.

Para realizar las simulaciones se escogieron dos valores para β , 3.7 y 4.8. Se seleccionaron estos valores porque corresponden con los estimados por Ruiz Nápoles (2012) para el costo de las externalidades para todas las ramas (ver cuadro 4.5). 3.7 corresponde al valor de las externalidades para todas las ramas analizadas por Ruiz Nápoles (2012). El valor de 4.8

corresponde con el valor promedio de las externalidades para todas las ramas cuando eliminamos el valor máximo que es de 75.7, correspondiente a la industria de la madera. El valor de las externalidades tiene una desviación estándar de 13.2 para todos los valores y un promedio de 7.1. Cuando se elimina el valor extremo, 75.7, la desviación estándar de la externalidad es igual a 2.6 con un promedio de 4.8, que es valor que se elige para realizar el segundo conjunto de simulaciones.

Para el valor de τ se aplicaron los valores de 5, 10 y 15 en el cambio porcentual en el impuesto a las emisiones. Esto es con el fin de observar la sensibilidad de los resultados a los cambios en el impuesto a las emisiones por sector. Al variar este parámetro se tiene como resultado la información contenida en el cuadro resumen para cada experimento. En las simulaciones se seleccionó el método de solución de un paso de Johansen.

En el siguiente conjunto de cuadros se presentan los resultados de las simulaciones para los siguientes experimentos para cada una de las β :

EXPERIMENTO 1: Se aplica la política a los cuatro sectores contaminantes (TRANS, ELEC, COMB, y SILV) en conjunto (seis simulaciones).

EXPERIMENTO 2: Se aplica una política uniforme en todos los sectores incluidos en el modelo (seis simulaciones).

En el conjunto de experimentos en los cuales se aplica un choque a la variable to , éste indica un cambio porcentual en la tasa impositiva inicial al producto por sector. En el choque a la variable $aoall$ ¹ éste indica un cambio porcentual en el choque implementado. A continuación se presentan los resultados de las simulaciones para los dos experimentos para cada una de los valores de β (3.7 y 4.8) y para cada uno de los valores de τ (-0.05, -0.1 y -0.15).

1 En la base de datos GTAP versión 6 la variable equivalente a ao es la variable $aoall$.

Cuadro 5.2 Cuadro Resumen con $\beta=3.7$ para el Experimento 1

	$\beta=3.7$	$T=-0.05$	$\beta=3.7$	$T=-0.1$	$\beta=3.7$	$T=-0.15$
	Cobb		Cobb		Cobb	
Choques	Leontief	Douglas	Leontief	Douglas	Leontief	Douglas
<i>to</i>	0.185	0	0.37	0	0.555	0
<i>ao</i>	0	0.185	0	0.37	0	0.555
Emisiones						
Cambio porcentual en las emisiones por unidad de producto	0	-0.135	0	-0.27	0	-0.405
Cambio porcentual en emisiones totales por sector						
TRANS*	-0.0200	-0.0149	-0.0400	-0.0594	-0.0600	-0.1337
(-17.6273)	(-17.6600)		(-17.6926)		(-17.7252)	
ELEC*	0.0100	-0.0014	0.0100	-0.0081	0.0200	-0.0162
(16.442)	(16.4725)		(16.5029)		(16.5333)	
COMB*	0.0100	-0.0392	0.0100	-0.1566	0.0200	-0.3524
(2.361)	(2.3654)		(2.3698)		(2.3741)	
SILV*	0.0000	-0.0027	0.0100	-0.0081	0.0100	-0.0203
(-0.3888)	(-0.3895)		(-0.3902)		(-0.3910)	
COMIDA	0.0000	-0.0014	0.0000	-0.0054	0.0000	-0.0122
(-1.0717)	SC		SC		SC	
MNFCS	0.0100	0.0041	0.0100	0.0135	0.0200	0.0324
(-3.7164)	SC		SC		SC	
SVCES	0.00000	-0.00270	0.00000	-0.01350	0.00000	-0.02835
(-7.0399)	SC		SC		SC	
TOTAL	0.01	-0.05805	0	-0.2376	0.01	-0.53055

Notas: Abajo del nombre de cada sector entre paréntesis se indica la tasa inicial de impuesto al producto, *to*. En la matriz entre paréntesis se indica la tasa final del impuesto al producto. Los resultados se indican en términos porcentuales. * Denota el sector al cual se le aplicó el choque. SC denota sin cambio.

Fuente: Elaboración propia con los resultados de las simulaciones de RunGTAP.

Es importante notar que en el modelo que se utilizan los sectores ELEC y COMB tienen un subsidio a su producción en lugar de un impuesto. El resto de los sectores si presenta un impuesto a la producción. Este hecho será determinante en los resultados de las simulaciones.

En el cuadro 5.2 se observa que al aplicar un choque a los cuatro sectores más contaminantes equivalente a 3.7 en el caso Leontief hay un decremento en las emisiones del sector TRANS con un valor de -0.02 por ciento. Sin embargo, el efecto de este choque es incrementar las emisiones en el resto de los sectores. No obstante, el cambio total en las emisiones de los sectores es igual a 0.1 por ciento. Este resultado refleja una de las características del modelo GTAP. Al cambiar las tasas impositivas del modelo, éste responde de manera que los decrementos en algunos sectores se compensen con incrementos en otros. En el ejemplo, la tasa impositiva al sector TRANS pasa de -17.6273 a -17.66 por ciento. Se vuelve más negativa. El efecto esperado sería una reducción en las emisiones por el incremento en el impuesto. Esto es lo que efectivamente resulta en el modelo. Al incrementar el impuesto las emisiones se reducen en -0.02 por ciento en la primera ocurrencia. Lo mismo resulta para las siguientes dos. Particularmente, el cambio del impuesto de -0.15 resulta en un decremento de las emisiones en el sector TRANS de -0.1337 por ciento.

Por el otro lado, en el caso Cobb-Douglas con un choque de la misma magnitud en la variable *aoall* se observan cambios en las emisiones relativamente mayores que en el caso Leontief. Es notable el decremento en las emisiones del sector COMB, -0.0392, y en el sector TRANS, -0.0149 para la primera ocurrencia. Además, solo se presenta un incremento en un sector, MFCS con un valor de 0.0041. Sin embargo, el efecto total en el cambio en las emisiones es pequeño, menor al -0.06 por ciento. El caso Leontief resulta en dos de los experimentos en un incremento pequeño en las emisiones y en el tercero no hay cambio. En el caso contrario, en el caso Cobb-Douglas se presenta un decremento en las emisiones totales para los tres casos.

En el cuadro 5.3 reportamos los resultados de la implementación de un choque uniforme sobre todos los sectores del modelo.

Cuadro 5.3 Cuadro Resumen con $\beta=3.7$ para el Experimento 2

	$\beta=3.7$	$T=-0.05$	$\beta=3.7$	$T=-0.1$	$\beta=3.7$	$T=-0.15$
		Cobb		Cobb		Cobb
Choques	Leontief	Douglas	Leontief	Douglas	Leontief	Douglas
<i>to</i>	0.185	0	0.37	0	0.555	0
<i>ao</i>	0	0.185	0	0.37	0	0.555
Emisiones						
Cambio porcentual en las emisiones por unidad de producto	0	-0.135	0	-0.27	0	-0.405
Cambio porcentual en emisiones totales por sector						
TRANS*	-0.0100	-0.0230	-0.0300	-0.0918	-0.0400	-0.2066
(-17.6273)	(-17.6600)		(-17.6926)		(-17.7252)	
ELEC*	0.0100	-0.0041	0.0200	-0.0189	0.0300	-0.0405
(16.442)	(16.4725)		(16.5029)		(16.5333)	
COMB*	0.0200	0.0027	0.0400	0.0081	0.0600	0.0203
(2.361)	(2.3654)		(2.3698)		(2.3741)	
SILV*	0.0100	0.0068	0.0200	0.0297	0.0300	0.0648
(-0.3888)	(-0.3895)		(-0.3902)		(-0.3910)	
COMIDA*	0.0100	-0.0189	0.0200	-0.0756	0.0300	-0.1701
(-1.0717)	(-1.0736)		(-1.0756)		.03	
MNFCS*	0.0100	-0.0014	0.0200	-0.0081	0.0300	-0.0162
(-3.7164)	(-3.7232)		(-3.7301)		(-3.7370)	
SVCES*	-0.0100	-0.0419	-0.0100	-0.1701	-0.0200	-0.3807
(-7.0399)	(-7.0529)		(-7.0660)		(-7.0790)	
TOTAL	0.04	-0.07965	0.08	-0.3267	0.12	-0.729

Notas: Abajo del nombre de cada sector entre paréntesis se indica la tasa inicial de impuesto al producto, *to*. En la matriz entre paréntesis se indica la tasa final del impuesto al producto. Los resultados se indican en términos porcentuales. * Denota el sector al cual se le aplicó el choque. SC denota sin cambio.

Fuente: Elaboración propia con los resultados de las simulaciones de RunGTAP.

En el cuadro 5.3 se observa que los efectos de la implementación de un impuesto a las emisiones en todos los sectores tiene un efecto total similar al caso en el que solo se implementa la política en los sectores más contaminantes. Esto es, el efecto en el cambio

total en las emisiones presenta el mismo patrón que en el experimento 1. Es decir, en el caso Leontief las emisiones se incrementan por el efecto del choque en la tasa impositiva del producto de los sectores. Por el contrario, en el caso Cobb-Douglass se reducen las emisiones. Sin embargo, los incrementos y decrementos en las emisiones en el experimento 2 son mayores que en el experimento 1.

En los cuadros siguientes, 5.4 y 5.5, se cambió el valor de la variable β de 3.8 a 4.7 como un ejercicio para verificar la consistencia de los resultados anteriormente presentados. En el cuadro 5.4 se presentan los resultados para el experimento 1 con el nuevo valor de β .

Cuadro 5.4 Cuadro Resumen con $\beta=4.8$ para el Experimento 1

Choques	Cobb		Cobb		Cobb	
	Leontief	Douglas	Leontief	Douglas	Leontief	Douglas
<i>to</i>	0.24	0	0.48	0	0.72	0
<i>ao</i>	0	0.24	0	0.48	0	0.72
Emissiones						
Cambio porcentual en las emisiones por unidad de producto	0	-0.19	0	-0.38	0	-0.57
Cambio porcentual en emisiones totales por sector						
TRANS*	-0.0200	-0.0418	-0.0500	-0.1102	-0.0700	-0.2451
(-17.6273)	(-17.6697)		(-17.7120)		(-17.7543)	
ELEC*	0.0100	-0.0076	0.0200	-0.0114	0.0300	-0.0285
(16.442)	(16.4815)		(16.5210)		(16.5604)	
COMB*	0.0100	0.0038	0.0200	-0.2850	0.0300	-0.6384
(2.361)	(2.3667)		(2.3724)		(2.3780)	
SILV*	0.0100	0.0133	0.0100	-0.0152	0.0200	-0.0399
(-0.3888)	(-0.3897)		(-0.3907)		(-0.3916)	
COMIDA	0.0000	-0.0342	0.0000	-0.0114	0.0100	-0.0228
(-1.0717)	SC		SC		SC	
MNFCS	0.0100	-0.0038	0.0200	0.0266	0.0200	0.0570
(-3.7164)	SC		SC		SC	
SVCES	0.0000	-0.0779	0.0000	-0.0228	0.0000	-0.0513
(-7.0399)	SC		SC		SC	
TOTAL	0.02000	-0.14820	0.02000	-0.42940	0.04000	-0.96900

Notas: Abajo del nombre de cada sector entre paréntesis se indica la tasa inicial de impuesto al producto, *to*. En la matriz entre paréntesis se indica la tasa final del impuesto al producto. Los resultados se indican en términos porcentuales. * Denota el sector al cual se le aplicó el choque. SC denota sin cambio.

Fuente: Elaboración propia con los resultados de las simulaciones de RunGTAP.

En el cuadro 5.4 se advierte que el incremento en el impuesto a las emisiones para el caso Leontief se presenta una situación similar que en las simulaciones anteriores. El efecto total es positivo para los tres valores del cambio en el impuesto a las emisiones. No obstante, el incremento es marginal. El caso contrario se presenta en el caso Cobb-Douglas. Se mantiene

la disminución total en las emisiones pero con estos valores el decremento es mayor. Llega casi a un por ciento de reducción de emisiones totales cuando se aplica un cambio de -0.15.

En el cuadro 5.5 presentamos los resultados del experimento 2 para el valor de $\beta = 4$.

Cuadro 5.5 Cuadro Resumen con $\beta=4.8$ para el Experimento 2

	$\beta=4.8$	$T = -0.05$	$\beta=4.8$	$T = -0.1$	$\beta=4.8$	$T = -0.15$
		Cobb		Cobb		Cobb
Choques	Leontief	Douglas	Leontief	Douglas	Leontief	Douglas
<i>to</i>	0.24	0	0.48	0	0.72	0
<i>ao</i>	0	0.24	0	0.48	0	0.72
Emisiones						
Cambio porcentual en las emisiones por unidad de producto	0	-0.19	0	-0.38	0	-0.57
Cambio porcentual en emisiones totales por sector						
TRANS*	-0.0200	-0.0418	-0.0300	-0.1672	-0.0500	-0.3762
(-17.6273)	(-17.6697)		(-17.7120)		(-17.7543)	
ELEC*	0.0100	-0.0076	0.0200	-0.0342	0.0300	-0.0741
(16.442)	(16.4815)		(16.5210)		(16.5604)	
COMB*	0.0300	0.0038	0.0500	0.0152	0.0800	0.0342
(2.361)	(2.3667)		(2.3724)		(2.3780)	
SILV*	0.0100	0.0133	0.0300	0.0532	0.0400	0.1197
(-0.3888)	(-0.3897)		(-0.3907)		(-0.3916)	
COMIDA*	0.0100	-0.0342	0.0200	-0.1368	0.0300	-0.3078
(-1.0717)	(-1.0742)		(-1.0768)		(-1.0794)	
MNFCS*	0.0100	-0.0038	0.0300	-0.0152	0.0400	-0.0342
(-3.7164)	(-3.7253)		(-3.7342)		(-3.7431)	
SVCES*	-0.0100	-0.0779	-0.0200	-0.3116	-0.0300	-0.6954
(-7.0399)	(-7.0568)		(-7.0737)		(-7.0906)	
TOTAL	0.04	-0.1482	0.1	-0.5966	0.14	-1.3338

Notas: Abajo del nombre de cada sector entre paréntesis se indica la tasa inicial de impuesto al producto, *to*. En la matriz entre paréntesis se indica la tasa final del impuesto al producto. Los resultados se indican en términos porcentuales. * Denota el sector al cual se le aplicó el choque. SC denota sin cambio.

Fuente: Elaboración propia con los resultados de las simulaciones de RunGTAP.

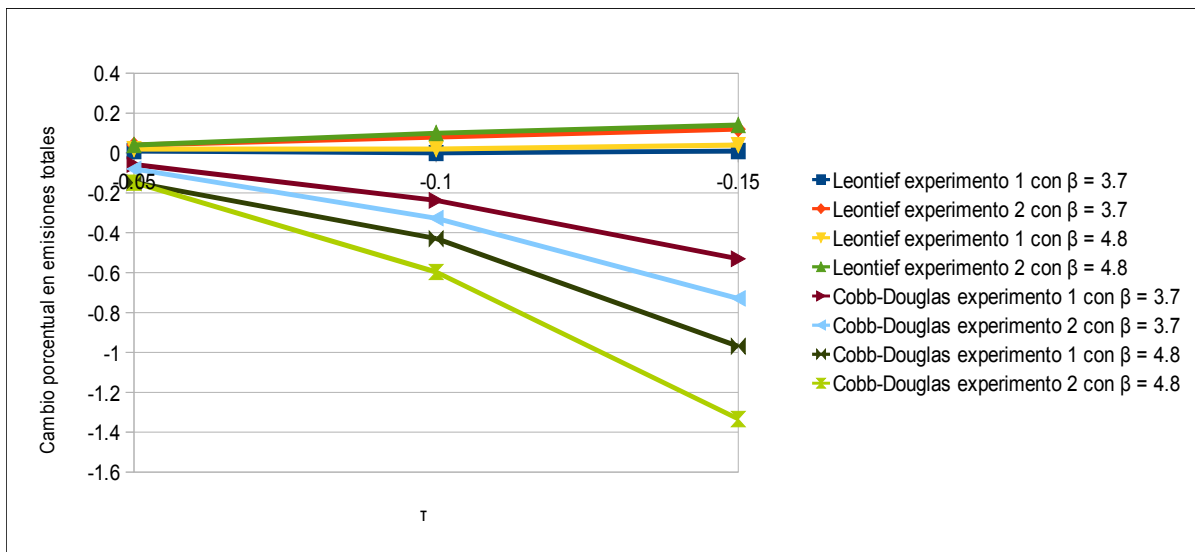
En el caso representado en el cuadro 5.5 finalmente se encontró una reducción en el cambio porcentual total a las emisiones menor a -1.3 por ciento. Esto nos da una idea de que el comportamiento de los consumidores y los productores presenta rigideces con respecto a su

producción de emisiones de GEI.

Solo en el caso Cobb-Douglass extremo se da este resultado. De manera similar a los casos anteriores, el efecto total en el cambio porcentual en emisiones totales para los casos Leontief es positivo y para el caso Cobb-Douglass es negativo.

Una manera de resumir la información contenida en los cuadros 5.2 – 5.5 es la que se presenta en la gráfica 5.1. En esta se ilustra la distinción entre los casos Leontief y Cobb-Douglas.

Gráfica 5.1 Resumen de los Cambios en Emisiones Totales



Fuente: Elaboración propia

La gráfica 5.1 muestra los casos extremos con los que se experimentó en este capítulo. Por un lado, en el caso Leontief se observa un pequeño incremento en la generación de emisiones resultado de la reconfiguración de la producción de los sectores. La rigidez exhibida en este caso refleja las condiciones impuestas; la ausencia de sustitución de insumos en este ejercicio

conduce a compensaciones entre los sectores como respuesta a los choques.

Por el otro lado, en el caso Cobb-Douglas en la gráfica 5.7 se muestra una reducción en las emisiones totales para los tres valores de τ . Se observa la trayectoria de la reducción de emisiones que refleja la sustitución de insumos en la producción de los sectores. Además, se observa que las reducciones de emisiones son mayores cuando los choques se aplican a todos los sectores del modelo.

La gráfica 5.1 muestra un comportamiento no-lineal en los resultados ante impuestos con un comportamiento lineal en el modelo. Este hecho sugiere que el efecto de la implementación de un impuesto a las emisiones exhibe reducciones mayores proporcionalmente a niveles más altos en los impuestos.

En suma, se infiere que el resultado del experimento 1 está afectado por el hecho que en el modelo incrementos en los impuestos causan un decremento en la producción del sector que sufre este choque y se ven compensados por incrementos en la producción del resto de los sectores. Adicionalmente, los sectores ELEC y COMB presentan un subsidio en lugar de un impuesto. Esto resulta en que los choques que se aplicaron incrementan el subsidio en lugar de aumentar el impuesto en estos sectores. Este hecho es claro en el caso Leontief, en donde el efecto del choque resulta en un incremento en las emisiones de los sectores que reciben un subsidio por su producción. Esto parece indicar que el caso Cobb-Douglas refleja mejor el efecto de la implementación de un impuesto a las emisiones en el modelo GTAP.

En las simulaciones del caso Cobb-Douglas el resultado de las simulaciones tiene el efecto esperado. Es decir, un incremento en el impuesto a las emisiones resulta globalmente en una reducción de las emisiones. Se presentan incrementos y decrementos entre los sectores, pero el efecto total es una disminución de las emisiones. En contraste, el caso Leontief resulta en un incremento de las emisiones porque hay sectores que tienen un subsidio en lugar de un impuesto, y el efecto de un incremento en el subsidio es un incremento en la producción lo que incrementa las emisiones de estos sectores.

En los siguientes cuadros se presenta el efecto de los choques que simulamos en el cambio porcentual en el PIB de México (MEX) y el Resto del Mundo (ROW) para los dos experimentos y los valores de nuestros parámetros.

Cuadro 5.6 Cambio porcentual en el PIB resultado de los choques del Experimento 1 ($\beta=3.7$).

		τ	
Cambio en el PIB	-0.05	-0.01	-0.15
MEX	0	0	0
ROW	0	0	0
Caso Cobb-Douglas ($\beta=3.7$)			
		τ	
Cambio en el PIB	-0.05	-0.01	-0.15
MEX	0.04	0.08	0.11
ROW	0	0	0

Notas: En este ejercicio se reportan los cambios de la variable vgdP que representa los cambios en el valor del PIB.

Fuente: Elaboración propia con los resultados de las simulaciones realizadas en RunGTAP.

En el cuadro 5.6 se observan los dos casos extremos de las simulaciones de manera clara. El efecto de la implementación de los impuestos a las emisiones tiene un límite inferior de cambio en el PIB de 0 para México y un límite superior de 0.11 por ciento. Es posible que el incremento en el impuesto a las emisiones sea tan pequeño que no impacte el comportamiento de los agentes representados en el modelo. Por el otro lado, es interesante notar que en el caso Cobb-Douglas el efecto del impuesto es incrementar el PIB para las tres ocurrencias.

En el cuadro 5.7 se presentan los resultados del cambio en el PIB derivado de las simulaciones en las que se aplica la política a todos los sectores.

Cuadro 5.7 Cambio porcentual en el PIB resultado de los choques del Experimento 2 ($\beta=3.7$).

		τ	
Cambio en el PIB	-0.05	-0.01	-0.15
MEX	0	-0.01	-0.01
ROW	0	0	0
Caso Cobb-Douglas ($\beta=3.7$)			
		τ	
Cambio en el PIB	-0.05	-0.01	-0.15
MEX	0.43	0.86	1.29
ROW	-0.01	-0.02	-0.03

Notas: En este ejercicio se reportan los cambios de la variable vgdg que representa los cambios en el valor del PIB.

Fuente: Elaboración propia con los resultados de las simulaciones realizadas en RunGTAP.

En el cuadro 5.7 se observa que en el caso Leontief que al implementar el cambio en el impuesto a las emisiones el efecto en el PIB es en los tres casos menor al -0.01 por ciento. El caso contrario se presenta para el experimento Cobb-Douglas en donde el producto se incrementa para México, en magnitudes pequeñas, y se reduce para el resto del mundo, también en magnitudes pequeñas. Este hecho parece reflejar que el caso Cobb-Douglas simula la incorporación de una tecnología simple de mitigación. Lo que resulta en una sustitución entre insumos para producir un nivel menor de emisiones lo que en el agregado incrementa el PIB mexicano que se ve compensado por una disminución en el PIB del ROW.

Sin embargo, estos resultados hay que tomarlos con precaución porque parece que son una subestimación de los choques dada la estructura del modelo que no es particularmente apropiada para reflejar el efecto de políticas ambientales. El cambio en el PIB de ROW es pequeño en los tres casos pero no insignificante. Esto es porque el modelo está contruido para compensar los efectos de un incremento significativo en algún país o región con decrementos en los sectores del resto de las regiones.

En el cuadro 5.8 se presentan los resultados del experimento 1 con $\beta = 4.8$.

Cuadro 5.8 Cambio porcentual en el PIB resultado de los choques del Experimento 1 ($\beta=4.8$).

		τ	
Cambio en el PIB	-0.05	-0.01	-0.15
MEX	0	0	0.01
ROW	0	0	0
Caso Cobb-Douglas ($\beta=4.8$)			
		τ	
Cambio en el PIB	-0.05	-0.01	-0.15
MEX	0.56	1	0.15
ROW	-0.01	0	0

Notas: En este ejercicio se reportan los cambios de la variable vgdP que representa los cambios en el valor del PIB.

Fuente: Elaboración propia con los resultados de las simulaciones realizadas en RunGTAP.

El resultado de esta serie de simulaciones es similar a los casos en los que utilizabamos el valor de 3.8 para β . El cambio en el PIB para el caso Leontief es marginal. Solo en la tercera ocurrencia se presenta un incremento de 0.1 por ciento en el PIB mexicano. El modelo no percibe cambios en el PIB de ROW para las tres ocurrencias de las simulaciones. En el caso Cobb-Douglas, similarmente a las simulaciones anteriores, se presenta un incremento del PIB mexicano para las tres ocurrencias. Solo en la primera ocurrencia el PIB de ROW se reduce marginalmente y permanece sin cambio en el resto.

En el cuadro 5.9 se presentan los resultados de las simulaciones del experimento 2 para el valor de $\beta=4.8$.

Cuadro 5.9 Cambio porcentual en el PIB resultado de los choques del Experimento 2 ($\beta=4.8$).

		τ	
Cambio en el PIB	-0.05	-0.01	-0.15
MEX	0	-0.01	-0.01
ROW	0	0	0
Caso Cobb-Douglas ($\beta=4.8$)			
		τ	
Cambio en el PIB	-0.05	-0.01	-0.15
MEX	0.56	1.12	1.68
ROW	-0.01	-0.02	-0.04

Notas: En este ejercicio se reportan los cambios de la variable vgdp que representa los cambios en el valor del PIB.

Fuente: Elaboración propia con los resultados de las simulaciones realizadas en RunGTAP.

En el cuadro 5.9 se advierte que el efecto del impuesto a las emisiones tiene efectos poco significativos en el cambio total en el PIB mexicano y del resto del mundo para el rango de parámetros establecidos en el experimento. El caso Cobb-Douglas, nos indica un incremento significativo en el PIB mexicano y un decremento en el resto del mundo.

En suma, los resultados de las simulaciones señalan que la implementación de un impuesto a las emisiones en el modelo GTAP, utilizando la base de datos GTAP versión 6, e implementando el software RunGTAP resulta en cambios pequeños en las variables de interés: el cambio en las emisiones por sector y total, y el cambio porcentual en el PIB de Mexico y del resto del mundo como era de esperarse dado el rango de nuestros parámetros.

Los cálculos que se obtuvieron al realizar las simulaciones sufren de varias debilidades señaladas por Perroni y Wigle (1997:316):

- La parametrización del valor de los impactos negativos sobre el ambiente depende de una serie de parámetros de preferencias de los cuales existe poca evidencia.

- Se asume que el costo marginal de mitigación es más plano que las curvas de costo marginal de mitigación verdaderas. En la práctica, la curva de costo marginal de mitigación se puede volver muy empinada cuando se alcanzan niveles de mitigación altos.
- Si GTAP fuera utilizado regularmente para este tipo de análisis de políticas ambientales, una alternativa preferible sería incorporar completamente los beneficios y tecnologías de mitigación, junto con la información correspondiente en el modelo GTAP. Esta acción remediaría el problema de la sobreestimación de los beneficios, y mejoraría de manera significativa la confiabilidad de los resultados.

En conclusión, se empleó una primera aproximación a la cuestión de utilizar un modelo de EGC para el análisis de la implementación de un impuesto a las emisiones y las simulaciones del experimento de política son en gran parte ilustrativas. El objetivo final en el ejercicio era demostrar que es posible utilizar un modelo con una estructura previamente determinada para simular los efectos de un impuesto a las emisiones de GEI.

El objetivo se alcanza en el sentido que los choques al modelo resultan con el signo esperado. Por ejemplo, un incremento en el impuesto a la producción resulta en una reducción a las emisiones en el sector afectado. Sin embargo, la utilidad real del ejercicio es; sentar las bases de futuras investigaciones que tengan como resultado la construcción de un modelo de EGC con una MCS con la última información disponible de la matriz de insumo producto para México (2003), la incorporación de una tecnología que permita representar la sustitución de insumos en la producción de energía y el modelaje de tanto un impuesto a las emisiones como la implementación de un sistema de comercio de permisos de emisión.

CONCLUSIONES

El uso de un modelo de EGC para evaluar la implementación de un impuesto a las emisiones en México es posible utilizando el marco provisto por el modelo estándar GTAP. Siguiendo las recomendaciones de Perroni y Wigle (1997) se evaluó la implementación de un impuesto a las emisiones en la economía Mexicana, encontrándose que los choques que se aplicaron al modelo resultaron en cambios pequeños esperados en las variables de interés: cambio porcentual en las emisiones por unidad de producto, cambio porcentual en las emisiones totales por sector, y cambio en el PIB. Por ejemplo, se obtuvo un cambio porcentual en las emisiones totales igual a -1.33 en el experimento 2 para los valores más altos de nuestros parámetros. El experimento 2 se caracteriza por la implementación de un choque uniforme, aplicado en los siete sectores, con la intención de contrastarlo con el experimento 1 en el cual el choque es aplicado solamente sobre los sectores que se identificaron como los mayores emisiones de GEI.

Las simulaciones representan dos casos extremos: el caso Leontief y el caso Cobb-Douglas. En el primero no se permite la sustitución de insumos para acomodar el cambio en el impuesto. Por lo cual, el ajuste se realiza por medio de una reconfiguración en la producción. No hay cambio en las emisiones por unidad de producto en este caso. En el segundo, se permite la sustitución de insumos para acomodar el cambio en el impuesto. En este caso si se presenta un cambio en las emisiones por unidad de producto. Al comparar los resultados de los dos casos se infiere que el elemento clave en la reducción de emisiones es la implementación de tecnologías de bajas emisiones. Es decir, un cambio tecnológico que permita el funcionamiento de la economía con emisiones de GEI más bajas.

El modelo refleja adecuadamente el efecto del impuesto en el cambio en la configuración de la producción. Es decir, en los sectores en los que se incrementan los impuestos se presenta

una disminución de la producción, y *vice versa*. Los resultados obtenidos en esta investigación están en línea con los estimados por Romero (1994), Fernández (1997) e Ibarrán y Boyd (2001).

Este trabajo ha demostrado las bondades del uso del modelo de EGC en el diseño de políticas públicas, incluidas aquellas en torno a la mitigación del Cambio Climático, esto se vuelve especialmente relevante para México donde recientemente se ha aprobado la LGCC. La ley contempla los principios de corresponsabilidad y participación ciudadana en la planeación, ejecución, monitoreo y evaluación de los programas implementados.

Por otro lado, es de notar que el diseño de políticas ambientales debe ir acompañado de una evaluación exhaustiva de los costos y su distribución para asegurar el cumplimiento de los objetivos de reducción de emisiones y minimizar el costo económico derivado de su implementación. Y es donde el modelo se torna crucial.

La evaluación de políticas públicas por medio del modelo de EGC es compleja y requiere que el analista posea diversas habilidades como programar simulaciones e interpretar sus resultados. Además es necesario estar familiarizado con la teoría microeconómica y contar con una base de datos exhaustiva para construir la MCS de preferencia con un año base reciente. La calidad y detalle de las estimaciones que se obtienen de los modelos de EGC son sobresalientes. Sin embargo, dado el trabajo que implica su desarrollo e implementación es recomendable el trabajo en equipo, que permita aprovechar las ventajas comparativas de sus miembros para realizar el análisis.

La calidad de las estimaciones que genera un modelo de EGC tiene una relación estrecha con lo adecuado de la configuración al problema de estudio. El modelo que se presenta en esta tesis es una primera aproximación, por lo que deja lugar a futuras mejoras que le permitan al analista generar simulaciones que informen la formulación de políticas públicas ambientales.

El modelo puede mejorarse si se incorpora una estimación de las emisiones de GEI por sector

en la MCS. Esto es con el fin de identificar de manera precisa la relación entre nivel de emisiones y generación de valor por sector en la MCS.

Es de suma relevancia para el problema analizado modelar la de sustitución entre insumos en la producción de energía eléctrica. Es decir, la mezcla de combustibles que emplea esta industria en la actualidad genera cerca del 24% de las emisiones en 2008 (Ruiz Nápoles, 2011).

Un área de mejora se encuentra en la incorporación de distintos niveles de ingreso en el conjunto de consumidores. Esta adición al modelo permitiría rastrear los efectos de la política implementada diferenciados por nivel de ingreso lo que informaría al debate público en la selección de los instrumentos económicos con el objetivo de cumplir las metas establecidas por la LGCC.

BIBLIOGRAFÍA

- Adar, Zvi y James M. Griffin, 1976, “Uncertainty and the Choice of Pollution Control Instruments”, *Journal of Environmental Economics and Management*, Elsevier, Vol. 3, Issue 3, Octubre, pp. 178-188.
- Adelman, Irma y Sherman Robinson, 1978, *Income Distribution Policy in Developing Countries: A Case Study of Korea*, Stanford, Stanford University Press (editado para el Banco Mundial).
- Baede, A.P.M., 2001, edit., “Glossary”, Apéndice I, en Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell y C.A. Johnson, 2001, edits., *Climate Change 2001: The Scientific Basis, Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, Cambridge University Press, 787-881.
- Ballard, Charles, Don Fullerton, John B. Shoven y John Whalley, 1985, *A General Equilibrium Model for Tax Policy Evaluation*, Chicago, National Bureau of Economic Research, University of Chicago Press.
- Bator, Francis M., 1958, “The Anatomy of Market Failure”, *The Quarterly Journal of Economics*, Cambridge, Mass., Oxford University Press, Vol. 72, No. 3, Agosto, pp. 351-379.
- Baumol, William J. y Wallace E. Oates, 1988, *The Theory of Environmental Policy*, 2a. ed., Cambridge, Cambridge University Press.
- Bondasky, Daniel, 2001, “The History of the Global Climate Change Regime”, en Urs Luterbacher y Detlef F. Sprinz, edits., *International Relations and Global Climate Change*, Cambridge, Massachusetts, pp. 23-40.
- BP, 2012, “Energy Outlook”,
- Brockmeier, Martina, 2001, “A Graphical Exposition of the GTAP Model”, GTAP Technical Paper, West Lafayette, Global Trade Analysis Project, Purdue University,

No. 8, marzo.

- Burfisher, Mary, 2011, *Introduction to General Equilibrium Models*, NY, USA, Cambridge University Press.
- Burfisher, Mary, Karen Thierfelder, and Kenneth Hanson, 1992, "Data Base for a Computable General Equilibrium Analysis of the U.S.-Mexico Free Trade Agreement," USDA, ERS, Staff Paper No. AGES92-25.
- Burniaux, Jean-Marc y Troung P. Troung, 2002, "GTAP-E: An Energy-Environmental Version of the GTAP Model", GTAP Technical Paper, West Lafayette, Center for Global Trade Analysis, Purdue University, No. 16, enero.
- Capling, Jodie L. [tesis de maestría], 2010, "A Computable General Equilibrium Analysis of Current Climate Change Policy in the United States", Canadá, Universidad Simon Fraser, Escuela de Administración Ambiental y de Recursos.
- Coase, R.H., 1960, "The Problem of Social Cost", *Journal of Law and Economics*, Chicago, The University of Chicago Press, Vol. 3, Octubre, pp. 1-44.
- Cropper, Maureen y Wallace Oates, 1992, "Environmental Economics: A Survey," *Journal of Economic Literature*, Pittsburgh, American Economic Association, Vol. 30 No.2, Junio, pp. 675-740.
- Dervis, K, de Melo, J. y Robinson, S., edits., 1982, *General Equilibrium Models for Development Policy*, Cambridge, Nueva York, Cambridge University Press.
- Dewatripont, M. y G. Michel, 1987, "On Closure Rules, Homogeneity and Dynamics in Applied General Equilibrium Models", *Journal of Development Economics*, Estados Unidos, Elsevier, Vol. 26, No. 1, junio, pp. 65-76.
- Dictamen de las Comisiones Unidas de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca; de Energía; de Estudios Legislativos, Primera: y de Estudios Legislativos, Segunda, a la minuta de Proyecto de Decreto por el que se expide la Ley General de Cambio Climático, para los efectos de la fracción e) del artículo 72 constitucional, 2012.
- Dimaranan, Betina V. y Robert A. McDougall, 2006a, "Guide to the GTAP Data Base", capítulo 2, en Dimaranan, Betina V., 2006a, edit., *Global Trade, Assistance, and Production: The GTAP 6 Data Base*, West Lafayette, Center for Global Trade

Analysis, Purdue University.

- Dimaranan, Betina V. y Robert A. McDougall, 2006b, “Data Base Summary: Sectoral Data”, capítulo 5, en Dimaranan, Betina V., 2006a, edit., *Global Trade, Assistance, and Production: The GTAP 6 Data Base*, West Lafayette, Center for Global Trade Analysis, Purdue University.
- Dimaranan, Betina V., 2006a, edit., *Global Trade, Assistance, and Production: The GTAP 6 Data Base*, West Lafayette, Center for Global Trade Analysis, Purdue University.
- Dimaranan, Betina V., 2006b, “Skilled and Unskilled Labor Data”, capítulo 18.D, en Dimaranan, Betina V., 2006a, edit., *Global Trade, Assistance, and Production: The GTAP 6 Data Base*, West Lafayette, Center for Global Trade Analysis, Purdue University.
- Dixon, P. Y B.R. Parmenter, 1996, “Computable General Equilibrium Modeling of Policy Analysis and Forecasting”, en Hans M. Amman et al., edits., *Handbook of Computational Economics*, Amsterdam, Elsevier, pp. 4-85.
- Dixon, Peter B. y Maureen T. Rimmer [ponencia], 2010, “Johansen’s Contribution to CGE Modeling: Originator and Guiding Light for 50 Years”, Oslo, Academia Noruega de Ciencias y Letras, Mayo 20-21, 2010.
- Dixon, Peter B. y Maureen T. Rimmer [documento de trabajo preliminar], 1998, “Forecasting and Policy Analysis with a Dynamic CGE Model of Australia”, Australis, Preliminary Working Paper No. OP-90, junio, Centre of Policy Studies and the IMPACT Project.
- Dixon, Peter B., R. Parmenter, John Sutton y D.P. Vincent, 1982, *ORANI: A Multisectoral Model of the Australian Economy*, Amsterdam, Vincent North-Holland.
- Ekins, Paul, 2000, *Economic Growth and Environmental Sustainability: The Prospects for Green Growth*, New York, Routledge.
- Fernández, O., 1997, “Efectos de la aplicación de un impuesto ecológico neutral en México: Análisis mediante un modelo de equilibrio general computable”, en Mercado García, comp., *Instrumentos económicos para un comportamiento empresarial*

favorable al ambiente en México, México, El Colegio de México.

- Galindo, Luis Miguel [síntesis], 2009, coordinador, *La Economía del Cambio Climático en México*, México, D.F., Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Gilbert, John, [sesión de capacitación], 2010, “Introduction to Partial and General Equilibrium Trade Policy Analysis”, ESCAP Training Session, Utah, junio, Utah State University.
- Gonzalez-Mellado, Aida, 2008, “Mexico”, capítulo 7.N, en Badri Narayanan G. y Terrie L. Walmsley, eds., 2008, *Global Trade, Assistance, and Production: The GTAP 7 Data Base*, Center for Global Trade Analysis, Purdue University.
- Hanoch, G., 1975, “Production and Demand Models with Direct or Indirect Implicit Additivity”, *Econometrica*, Estados Unidos, The Econometric Society, vol. 43, núm. 3, mayo, pp. 395-419.
- Harberger, Arnold C., 1959, “The corporation income tax: An empirical appraisal”, en Tax revision compendium, Washington, D.C., vol. 1, House Committee on Ways and Means, Government Printing Office.
- Harberger, Arnold C., 1962, “The incidence of the corporation income tax”, *Journal of Political Economy*, Chicago, Il., Vol. 70, junio, pp. 215-240.
- Harberger, Arnold C., 1966, “Taxation, resource allocation, and welfare”, en *The role of direct and indirect taxes in the Federal Reserve System*, Princeton, Princeton University Press.
- Harberger, Arnold C., *Taxation and Welfare*, Chicago, University of Chicago Press.
- Hertel, T.W., 1997, edit., *Global Trade Analysis: Modeling and Applications*, Cambridge, UK, Cambridge University Press.
- Hertel, Thomas W. y Marinos Tsigas, 1997, “Structure of GTAP”, capítulo 2, en Hertel, Thomas W., 1997, edit., *Global Trade Analysis: Modeling and Applications*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Hertel, Thomas W. y Terrie L. Walmsley, 2008, “Chapter 1: Introduction”, en Narayanan, G. Badri y Terrie L. Walmsley, 2008, edits., *Global Trade, Assistance, and*

Production: The GTAP 7 Data Base, West Lafayette, Center for Global Trade Analysis, Purdue University, pp. 1-1-1-10.

- Hertel, Thomas, Will Martin, Koji Yanagishima y Betina Dimaranan, 1996, “Liberalising manufactures trade in a changing world economy”, en Martin, W y Alan Winters, edits., *The Uruguay Round and the Developing Countries*, Cambridge, Cambridge University Press.
- IPCC, 2007, *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S.D., Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor y H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y New York, NY, EUA.
- IPCC, 2012a, “Organization”, Organization, Página web del IPCC, Suiza, en <<http://www.ipcc.ch/organization/organization.shtml#.T82smdV8A3M> >, consultado el 4 de junio de 2012.
- IPCC, 2012b, “Fifth Assessment Report”, Activities, Página web del IPCC, Suiza, en <<http://www.ipcc.ch/activities/activities.shtml#.T82wUNV8A3M> >, consultado el 4 de junio de 2012.
- Krishna, Kala, 2010, “Limiting Emissions and Trade: Some Basic Ideas,” NBER Working Paper Series, Working Paper 16147, Cambridge, MA, National Bureau of Economic Research.
- Lejano R. y Muñoz-Meléndez G, 2012, Scenario Building for CDM and AB32 Carbon Trading in the California - Baja California Region. Reporte final preparado para la Instituto de México y los Estados Unidos de la Universidad de California (UC MEXUS). Universidad de California en Irvine y El Colegio de la Frontera Norte. Manuscrito no publicado.
- Leontief, W.W., 1936, “Quantitative Input-Output Relations in the Economic System of the United States”, *The Review of Economics and Statistics*, Cambridge, MA, Harvard Kennedy School, Vol. 18 (3), Agosto, pp. 105-125.
- Leontief, Wassily, 1986, *Input-Output Economics*, 2a ed., Nueva York, Oxford

University Press.

- Leontief, W.W., 1941, *The Structure of the American Economy 1919-1929*, Cambridge, MA, Harvard Press.
- Liu, Jing, Y. Surry, B. Dimaranan y T. Hertel, 1998, “CDE Calibration”, capítulo 21, en McDougall, R.A., A. Elbehri, y T.P. Truong, 1998, *Global Trade Assistance and Protection: The GTAP 4 Data Base*, West Lafayette, Center for Global Trade Analysis, Purdue University
- Manopiniwes, Chanin [tesis de doctorado], 2005, “A Computable General Equilibrium (CGE) Model for Thailand with Financial and Environmental Linkages: The Analyses of Selected Policies”, Estados Unidos de América, Universidad de Cornell, Escuela de Posgrado.
- Mas-Colell, Andreu et al., 1995, *Microeconomic Theory*, New York, Oxford University Press.
- Mercenier, J. y T.N. Srinivasan, 1994, *Applied General Equilibrium and Economic Development: Present Achievements and Future Trends*, Ann Arbor, University of Michigan Press.
- Nordhaus, William y Zili Yang, 1996, “A Regional Dynamic General-Equilibrium Model of Alternative Climate-Change Strategies”, *The American Economic Review*, Vol. 86, No. 4, Septiembre, pp. 741-765.
- Nye, John V., 2008, “The Pigou Problem”, *Regulation*, Vol. 31, No. 2, Agosto, pp. 32-37.
- Pachauri. R.K. y A. Reisinger, eds., 2007, *Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Geneva, Switzerland, IPCC.
- Parmenter, B.R. y Meagher G.A., 1985, “Policy Analysis Using a Computable General Equilibrium Model: a Review of Experience at the IMPACT Project”, *Australian Economic Review*, Melbourne, Australia, Vol. 18, Marzo, pp. 3-15.
- Perroni, Carlo y Randall Wigle, 1997, “Environmental Policy Modeling”, capítulo 12, en Hertel, Thomas W., 1997, edit., *Global Trade Analysis: Modeling and*

Applications, Cambridge, Cambridge University Press.

- Pigou, A.C., 1932, *The Economics of Welfare*, 4ta. ed., London, Macmillan.
- Powell, A. y Lawson, A., 1989, “A decade of applied general equilibrium modeling for policy work”, en Bergman L., Jorgenson D. y Zalai E., eds., *General Equilibrium Modeling and Economic Policy Analysis*, New York, Blackwell, pp. 241-290.
- Powell, Alan. A., 2007, “Why, How and When did GTAP Happen? What has it Achieved? Where is it Heading?”, GTAP Working Paper No. 38.
- Rausch, Sebastian, Gilbert E. Metcalf, John M. Reilly y Sergey Paltsev, 2010, “Distributional Implications of Alternative U.S. Greenhouse Gas Control Measures”, NBER Working Paper Series, Cambridge, MA, National Bureau of Economic Research.
- Romero, J., 1994, “Energía, emisiones, y precios relativos”, en Yúnez Naude, comp., *Medio Ambiente: problemas y soluciones*, México, El Colegio de México.
- Ruiz Nápoles, Pablo [ponencia presentada en el seminario “Estado Actual de la Investigación del Análisis de Insumo-Producto en México”], 2012, “Estrategia de Cambio Climático y Cambio Tecnológico en México: un Análisis de Insumo-Producto”, Tijuana, Baja California, México, Departamento de Estudios Económicos, El Colegio de la Frontera Norte, 14 de junio.
- Ruiz Nápoles, Pablo, 2011, “Estimación de los costos relativos de las emisiones de gases de efecto invernadero en las ramas de la economía mexicana,” *El Trimestre Económico*, Fondo de Cultura Económica, Vol. LXXVIII (1), núm. 309, enero-marzo, pp. 173-191.
- Scarf, H.E. y T. Hansen, 1973, *The Computation of Economic Equilibria*, New Haven, CT and London, UK, Cowles Foundation for Research in economics at Yale University, Monograph No. 24, Yale University Press.
- Schneider, Y. y G. Stephan, 2007, “Socio-Economic Effects of Cutting Carbon Emissions: A CGE Analysis”, Working Paper. Universidad de Berna.
- Schürch, Romina [tesis de maestría], 2011, “CO2 Taxation versus Emissions Trading- An Analytical Representation for Switzerland”, Suiza, University of Bern, sin pie de

imprensa.

- Stern, Nicholas, [Resumen Ejecutivo], 2007, *The Economics of Climate Change*, Cabinet Office – HM Treasury, England, Cambridge University Press.
- Sue Wing, Ian, 2004, “Computable General Equilibrium Models and their Use in Economy-Wide Policy Analysis”, MIT Joint Program on the Science and Policy of Climate Change Boston, Technical Note No. 6, Septiembre, Boston, MA, Massachussets Institute of Technology.
- Surry, Y., 1997, Applying and Generalizing the CDE and LES demands systems y CGE models, Francia, Centre de Rennes, INRA, Trabajo no publicado.
- Vincent, D.P., 1989, “Applied General Equilibrium Modeling in the Australian Industries Assistance Commission: Perspectives of a Policy Analyst”, en Bergman L., Jorgenson D. and Zalai E., eds., *General Equilibrium Modeling and Economic Policy Analysis*, New York, Blackwell, pp. 291-350.
- Weitzman, Martin L., 1974, “Prices vs Quantities”, *The Review of Economic Studies*, Oxford, Oxford University Press, Vol. 41, No. 4, Octubre, pp. 477-491.

ANEXOS

Anexo 1 Países y regiones presentes en la muestra de GTAP versión 6.

No.	Código	País	No.	Código	País
1	aus	Australia	45	irl	Irlanda
2	nzl	Nueva Zelanda	46	ita	Italia
3	xoc	Resto de Oceanía	47	lux	Luxemburgo
4	chn	China	48	nld	Holanda
5	hkg	Hong Kong	49	prt	Portugal
6	jpn	Japan	50	esp	España
7	kor	Corea	51	swe	Suecia
8	twm	Taiwan	52	che	Suiza
9	xea	Resto del Este de Asia	53	xef	Resto de AELC**
10	idn	Indonesia	54	xer	Resto de Europa
11	mys	Malasia	55	alb	Albania
12	phl	Filipinas	56	bgr	Bulgaria
13	sgp	Singapur	57	hrv	Croacia
14	tha	Tailandia	58	cyp	Chipre
15	vnm	Vietnam	59	cze	República Checa
16	xse	Resto del Sureste de Asia	60	hun	Hungría
17	bgd	Bangladesh	61	mlt	Malta
18	ind	India	62	pol	Polinia
19	lka	Sri Lanka	63	rom	Rumania
20	ksa	Resto del Sur de Asia	64	svk	Eslovaquia
21	can	Canadá	65	svn	Eslovenia
22	usa	Estados Unidos	66	est	Estonia
23	mex	México	67	lva	Latvia
24	xna	Resto de América del Norte	68	ltu	Lituania
25	col	Colombia	69	rus	Federación Rusa
26	per	Perú	70	xsu	Resto de la Antigua Unión Soviética
27	ven	Venezuela	71	tur	Turquía
28	xap	Resto de Pacto Andino	72	xme	Resto del Medio Oriente
29	arg	Argentina	73	mar	Marruecos
30	bra	Brasil	74	tun	Tunez
31	chl	Chile	75	xnf	Resto del Norte de África
32	ury	Uruguay	76	bwa	Botswana
33	xsm	Resto de América del Sur	77	zaf	Sudáfrica
34	xca	América Central	78	xsc	Resto de África del Sur
35	xfa	Resto del ALCA*	79	mwj	Malawi
36	xcb	Resto del Caribe	80	moz	Mozambique
37	aut	Austria	81	tza	Tanzania
38	bel	Bélgica	82	zmb	Zambia
39	dnk	Dinamarca	83	zwe	Zimbabue
40	fin	Finlandia	84	xsd	Resto de la CDAA***
41	fra	Francia	85	mdg	Madagascar
42	deu	Alemania	86	uga	Uganda
43	gbr	Reino Unido	87	xss	Resto del África Sub-Sahariana
44	grc	Grecia			

*Área de Libre Comercio de las Américas

**Asociación Europea de Libre Comercio

***Comunidad de Desarrollo de África Austral

Fuente: Dimanaran y McDougall (2006) cuadro 2.2

Anexo 2 Mapeo entre los sectores GTAP con la Clasificación Mexicana de Productos y Actividades

Clasificación Sectorial 2 de GTAP (GSC2)		Clasificación Mexicana de Productos y Actividades	
Número	Código	Código	Descripción
1	pdr	111160	Cultivo de Arroz
		111140	Cultivo de Trigo
		111131	Cultivo de Frijol Grano
		111132	Cultivo de Garbanzo Grano
		111139	Cultivo de otras leguminosas
		111151	Cultivo de Maíz Grano
		111152	Cultivo de Maíz Forrajero
		111191	Cultivo de Sorgo Grano
		111192	Cultivo de Avena Grano
		111193	Cultivo de Cebada Grano
		111194	Cultivo de Sorgo Forrajero
		111195	Cultivo de Avena Forrajera
4	v_f	111216	Cultivo de papa
		111339	Cultivo de otros frutales no cítricos y de nueces
		111410	Cultivo de productos alimenticios en invernaderos
		111910	Cultivo de tabaco
		111941	Cultivo de alfalfa
		111942	Cultivo de pastos y zacates
		111992	Cultivo de cacahuete
		111993	Cultivo de agave tequilero
		111999	Otros cultivos
		0112	Otras legumbres
5	osd	111110	Cultivo de soya
		111121	Cultivo de cártamo
		111122	Cultivo de girasol
		111129	Cultivo anual de otras semillas oleaginosas
6	c_b	111930	Cultivo de caña de azúcar
7	pfb	111999	Otros cultivos
8	ocr	0113	Frutas, nueces y otras plantas
9	ctl	0121	Ganado
10	oap	0122	Ovejas, Cabras y otros animales
		0150	Caza
11	rmk	311511	Tratamiento y envasado de leche líquida
12	wol	111920	Cultivo de algodón
13	for	0200	Silvicultura
14	fsb	0500	Pesquería
15	col	1010	Extracción de Carbón
		1030	Minería de otros minerales no metálicos
16	oil	111101	Extracción de Petróleo Crudo
17	gas	111102	Extracción de Gas

Clasificación Sectorial 2 de GTAP (GSC2)		Clasificación Mexicana de Productos y Actividades	
Número	Código	Código	Descripción
18	omn	1020	Extracción de lignito
		1200	Minería de uranio y minerales radiactivos
			Extracción de minerales metalíferos no ferrosos, excepto
		1320	los minerales de uranio y torio
		1410	Extracción de piedra, arena y arcilla
		1421	Extracción de minerales para la fabricación de abonos y
		1422	productos químicos
		1429	Extracción de sal
19	cmt		Explotación de otras minas y canteras
		15111	Producción, procesamiento y conservación de carne y
20	omt		productos cármicos
		15112	Producción, procesamiento y conservación de pollo y
21	vol		otros
			Elaboración de aceites y grasas de origen vegetal y
22	mil	1514	animal
23	pcr	1520	Elaboración de productos lácteos
24	sgr	1534	Beneficio del Arroz
		1542	Elaboración de azúcar
25	ofd		Elaboración y conservación de pescado y productos de
		1512	pescado
			Elaboración y conservación de frutas, legumbres y
		1513	hortalizas
		1531	Elaboración de productos de molinería
			Elaboración de almidones y productos derivados del
		1532	almidón
		1533	Elaboración de alimentos preparados para animales
		1541	Elaboración de productos de panadería
			Elaboración de cacao y chocolate y de productos de
		1543	confitería
			Elaboración de macarrones, fideos, alcuizcuz y productos
		1544	farináceos similares
		1549	Elaboración de otros productos alimenticios n.c.p.*
		1554	Elaboración de bebidas no alcohólicas; producción de
26	b_t		aguas minerales
			Destilación, rectificación y mezcla de bebidas
		1551	alcohólicas; producción de alcohol etílico a partir de
		1552	sustancias fermentadas
		1553	Elaboración de vinos
27	tex	1600	Elaboración de bebidas malteadas y de malta
			Elaboración de productos de tabaco
		1711	Preparación e hilatura de fibras textiles; tejeduría de
		1712	productos textiles
			Acabado de productos textiles
		1721	Fabricación de artículos confeccionados de materiales
		1722	textiles, excepto prendas de vestir
		1723	Fabricación de tapices y alfombras
		1729	Fabricación de cuerdas, cordeles, bramantes y redes
			Fabricación de otros productos textiles n.c.p.*
		1730	Fabricación de tejidos y artículos de punto y ganchillo

Clasificación Sectorial 2 de GTAP (GSC2)		Clasificación Mexicana de Productos y Actividades	
Número	Código	Código	Descripción
28	wap	1810	Fabricación de prendas de vestir, excepto prendas de piel
29	lea	1820	Adobo y teñido de pieles; fabricación de artículos de piel
		1911	Curtido y adobo de cueros
		1912	Fabricación de maletas, bolsos de mano y artículos similares, y de artículos de talabartería y guarnicionería
		1920	Fabricación de calzado
30	lum	2010	Aserrado y acepilladura de madera
			Fabricación de hojas de madera para enchapado; fabricación de tableros contrachapados, tableros laminados, tableros de partículas y otros tableros y paneles
		2021	Fabricación de partes y piezas de carpintería para edificios y construcciones
		2022	Fabricación de recipientes de madera
		2023	Fabricación de otros productos de madera; fabricación de artículos de corcho, paja y materiales trenzables
		2029	Fabricación de pasta de madera, papel y cartón
		2101	Fabricación de papel y cartón ondulado y de envases de papel y cartón
31	ppp	2102	Fabricación de otros artículos de papel y cartón
		2109	Edición de libros, folletos, partituras y otras publicaciones
		2211	Otras actividades de edición
		2219	Actividades de impresión
		2221	Actividades de servicios relacionadas con la impresión
		2222	Reproducción de grabaciones
		2230	Fabricación de productos de hornos de coque
32	p_c	2310	Fabricación de productos de la refinación del petróleo
		2320	Elaboración de combustible nuclear
		2330	Fabricación de sustancias químicas básicas, excepto abonos y compuestos de nitrógeno
		2411	Fabricación de abonos y compuestos de nitrógeno
		2412	Fabricación de plásticos en formas primarias y de caucho sintético
		2413	Fabricación de plaguicidas y otros productos químicos de uso agropecuario
		2421	Fabricación de pinturas, barnices y productos de revestimiento similares, tintas de imprenta y masillas
		2422	Fabricación de jabones y detergentes, preparados para limpiar y pulir, perfumes y preparados de tocador
		2424	Fabricación de otros productos químicos n.c.p.*
		2429	Fabricación de fibras manufacturadas
		2430	Fabricación de cubiertas y cámaras de caucho; recauchado y renovación de cubiertas de caucho
		2511	Fabricación de cubiertas y cámaras de caucho; recauchado y renovación de cubiertas de caucho
		2511	Fabricación de otros productos de caucho
		2519	Fabricación de productos de plástico
		2520	Fabricación de productos de plástico

Clasificación Sectorial 2 de GTAP (GSC2)		Clasificación Mexicana de Productos y Actividades	
Número	Código	Código	Descripción
34	mmm	2610	Fabricación de vidrio y productos de vidrio
		2691	Fabricación de productos de cerámica no refractaria para uso no estructural
		2692	Fabricación de productos de cerámica refractaria
		2693	Fabricación de productos de arcilla y cerámica no refractarias para uso estructural
		2694	Fabricación de cemento, cal y yeso
		2695	Fabricación de artículos de hormigón, cemento y yeso
		2696	Corte, tallado y acabado de la piedra
		2699	Fabricación de otros productos minerales no metálicos n.c.p.*
		1310	Extracción de minerales de hierro
		2710	Industrias básicas de hierro y acero
35	i_s	2731	Fundición de hierro y acero
		2720	Fabricación de productos primarios de metales preciosos y metales no ferrosos
		2732	Fundición de metales no ferrosos
36	nfm	2732	Fabricación de productos metálicos para uso estructural
		2811	Fabricación de tanques, depósitos y recipientes de metal
37	fmp	2812	Fabricación de generadores de vapor, excepto calderas de agua caliente para calefacción central (capatazotes para reactores nucleares)
		2813	Forja, prensado, estampado y laminado de metales; pulvimetalurgia
		2891	Tratamiento y revestimiento de metales; obras de ingeniería mecánica en general realizadas a cambio de una retribución o por contrata
		2892	Fabricación de artículos de cuchillería, herramientas de mano y artículos de ferretería
		2893	Fabricación de otros productos elaborados de metal n.c.p.*
		2899	Fabricación de vehículos automotores
		3410	Fabricación de carrocerías para vehículos automotores; fabricación de remolques y semirremolques
		3420	Fabricación de partes, piezas y accesorios para vehículos automotores y sus motores
		3430	Construcción y reparación de buques
		3511	Construcción y reparación de embarcaciones de recreo y deporte
38	mvh	3512	Fabricación de locomotoras y de material rodante para ferrocarriles y tranvías
		3520	Fabricación de aeronaves y naves espaciales
		3530	Fabricación de motocicletas
		3591	Fabricación de bicicletas y de sillones de ruedas para inválidos
		3592	Fabricación de otros tipos de equipo de transporte n.c.p.*
		3599	
		3599	

Clasificación Sectorial 2 de GTAP (GSC2)		Clasificación Mexicana de Productos y Actividades	
Número	Código	Código	Descripción
40	ele	3000	Fabricación de maquinaria de oficina, contabilidad e informática
		3210	Fabricación de tubos y válvulas electrónicos y de otros componentes electrónicos
		3220	Fabricación de transmisores de radio y televisión y de aparatos para telefonía y telegrafía con hilos
		3230	Fabricación de receptores de radio y televisión, aparatos de grabación y reproducción de sonido y video, y productos conexos
41	ome	2911	Fabricación de motores y turbinas, excepto motores para aeronaves, vehículos automotores y motocicletas
		2912	Fabricación de bombas, compresores, grifos y válvulas
		2913	Fabricación de cojinetes, engranajes, trenes de engranajes y piezas de transmisión
		2914	Fabricación de hornos, hogares y quemadores
			Fabricación de otros tipos de maquinaria de uso general
		2919	
		2921	Fabricación de maquinaria agropecuaria y forestal
		2922	Fabricación de máquinas herramienta
		2923	Fabricación de maquinaria metalúrgica
		2924	Fabricación de maquinaria para la explotación de minas y canteras y para obras de construcción
		2925	Fabricación de maquinaria para la elaboración de alimentos, bebidas y tabaco
		2926	Fabricación de maquinaria para la elaboración de productos textiles, prendas de vestir y cueros
			Fabricación de otros tipos de maquinaria de uso especial
		2929	
		2927	Fabricación de armas y municiones
		2930	Fabricación de aparatos de uso doméstico n.c.p.*
		2930	Fabricación de aparatos de uso doméstico n.c.p.*
		3311	Fabricación de equipo médico y quirúrgico y de aparatos ortopédicos
		3312	Fabricación de otros instrumentos de navegación, medición, médicos y de control
			Fabricación de equipo de control de procesos industriales
42	omf	3313	
		3330	Fabricación de relojes
		3610	Fabricación de muebles
			Joyería de metales y piedras no preciosos y de otros materiales
		3692	
		3693	Fabricación de artículos de deporte
		3694	Fabricación de juegos y juguetes
		3699	Otras industrias manufactureras n.c.p.*
		3710	Reciclamiento de desperdicios y desechos metálicos
		3720	Reciclamiento de desperdicios y desechos no metálicos

Clasificación Sectorial 2 de GTAP (GSC2)		Clasificación Mexicana de Productos y Actividades	
Número	Código	Código	Descripción
43	ely	4010	Generación, captación y distribución de energía eléctrica
44	gdt	4020	Fabricación de gas; distribución de combustibles gaseosos por tuberías
		4030	Suministro de vapor y agua caliente
45	wtr	4100	Captación, depuración y distribución de agua
46	cns	4510	Preparación del terreno
		4520	Construcción de edificios completos y de partes de edificios; obras de ingeniería civil
		4530	Acondicionamiento de edificios
		4540	Terminación de edificios
		4550	Alquiler de equipo de construcción y demolición dotado de operarios
47	trd	5010	Venta de vehículos automotores
		5020	Mantenimiento y reparación de vehículos automotores
		5030	Venta de partes, piezas y accesorios de vehículos automotores
		5040	Venta, mantenimiento y reparación de motocicletas y de sus partes, piezas y accesorios
		5050	Venta al por menor de combustible para automotores
		5110	Venta al por mayor a cambio de una retribución o por contrata
		5122	Venta al por mayor de materias primas agropecuarias y de animales vivos
		5139	Venta al por mayor de otros enseres domésticos
		5141	Venta al por mayor de combustibles sólidos, líquidos y gaseosos y de productos conexos
		5142	Venta al por mayor de metales y minerales metalíferos
		5143	Venta al por mayor de materiales de construcción, artículos de ferretería y equipo y materiales de fontanería y calefacción
		5149	Venta al por mayor de otros productos intermedios, desperdicios y desechos
		5150	Venta al por mayor de maquinaria, equipo y materiales
		5190	Venta al por mayor de otros productos
		5211	Venta al por menor en almacenes no especializados con surtido compuesto principalmente de alimentos, bebidas y tabaco
		5219	Venta al por menor de otros productos en almacenes no especializados
		5220	Venta al por menor de alimentos, bebidas y tabaco en almacenes especializados
		5231	Venta al por menor de productos farmacéuticos y medicinales, cosméticos y artículos de tocador
		5232	Venta al por menor de productos textiles, prendas de vestir, calzado y artículos de cuero
		5233	Venta al por menor de aparatos, artículos y equipo de uso doméstico
		5234	Venta al por menor de artículos de ferretería, pinturas y productos de vidrio

Clasificación Sectorial 2 de GTAP (GSC2)		Clasificación Mexicana de Productos y Actividades	
Número	Código	Código	Descripción
48	otp	5239	Venta al por menor de otros productos en almacenes especializados
		5240	Venta al por menor en almacenes de artículos usados
		5251	Venta al por menor de casas de venta por correo
		5252	Venta al por menor en puestos de venta y mercados
		5259	Otros tipos de venta al por menor no realizada en almacenes
		5260	Reparación de efectos personales y enseres domésticos
		5510	Hoteles; campamentos y otros tipos de hospedaje temporal
		5520	Restaurantes, bares y cantinas
		6010	Transporte por vía férrea
		6021	Otros tipos de transporte regular de pasajeros por vía terrestre
		6022	Otros tipos de transporte no regular de pasajeros por vía terrestre
		6023	Transporte de carga por carretera
		6030	Transporte por tuberías
		6301	Manipulación de la carga
		6302	Almacenamiento y depósito
		6303	Otras actividades de transporte complementarias
		6304	Actividades de agencias de viajes y organizadores de viajes; actividades de asistencia a turistas n.c.p.*
		6309	Actividades de otras agencias de transporte
49	wtp	6110	Transporte marítimo y de cabotaje
50	atp	6120	Transporte por vías de navegación interiores
		6210	Transporte regular por vía aérea
51	cmn	6220	Transporte no regular por vía aérea
		6411	Actividades postales nacionales
52	ofi	6412	Actividades de correo distintas de las actividades postales nacionales
		6420	Telecomunicaciones
		6511	Banca central
		6519	Otros tipos de intermediación monetaria
		6591	Arrendamiento financiero
		6592	Otros tipos de crédito
		6599	Otros tipos de intermediación financiera n.c.p.*
		6711	Administración de mercados financieros
		6712	Actividades bursátiles
		6719	Actividades auxiliares de la intermediación financiera n.c.p.*
		6720	Actividades auxiliares de la financiación de planes de seguros y de pensiones
		7411	Actividades jurídicas
		7412	Actividades de contabilidad, teneduría de libros y auditoría; asesoramiento en materia de impuestos
		7413	Investigación de mercados y realización de encuestas de opinión pública

Clasificación Sectorial 2 de GTAP (GSC2)		Clasificación Mexicana de Productos y Actividades	
Número	Código	Código	Descripción
53	isr	7414	Actividades de asesoramiento empresarial y en materia de gestión
		7421	Actividades de arquitectura e ingeniería y actividades conexas de asesoramiento técnico
		7422	Ensayos y análisis técnicos
		7430	Publicidad
		7491	Obtención y dotación de personal
		7492	Actividades de investigación y seguridad
		7493	Actividades de limpieza de edificios
		7494	Actividades de fotografía
		7495	Actividades de envase y empaque
		7499	Otras actividades empresariales n.c.p.*
54	obs	6601	Planes de seguros de vida
		6602	Planes de pensiones
		6603	Planes de seguros generales
		7111	Alquiler de equipo de transporte por vía terrestre
		7112	Alquiler de equipo de transporte por vía acuática
55	ros	7113	Alquiler de equipo de transporte por vía aérea
		7121	Alquiler de maquinaria y equipo agropecuario
			Alquiler de maquinaria y equipo de construcción e ingeniería civil
		7122	
		7123	Alquiler de maquinaria y equipo de oficina
		9211	Producción y distribución de filmes y videocintas
		9212	Exhibición de filmes y videocintas
		9213	Actividades de radio y televisión
			Actividades teatrales y musicales y otras actividades artísticas
		9214	
		9219	Otras actividades de entretenimiento n.c.p.*
		9220	Actividades de agencias de noticias
		9231	Actividades de bibliotecas y archivos
			Actividades de museos y preservación de lugares y edificios históricos
		9232	
56	osg		Actividades de jardines botánicos y zoológicos y de parques nacionales
		9233	
		9241	Actividades deportivas
		9249	Otras actividades de esparcimiento
			Lavado y limpieza de prendas de tela y de piel, incluso la limpieza en seco
		9301	
		9302	Peluquería y otros tratamientos de belleza
		9303	Pompas fúnebres y actividades conexas
		9309	Otras actividades de servicios
		7511	Actividades de la administración pública en general
			Regulación de las actividades de organismos que prestan servicios sanitarios, educativos, culturales y otros servicios sociales, excepto servicios de seguridad social
		7512	
		7513	Regulación y facilitación de la actividad económica
		7521	Relaciones exteriores

Clasificación Sectorial 2 de GTAP (GSC2)		Clasificación Mexicana de Productos y Actividades	
Número	Código	Código	Descripción
		7522	Actividades de defensa
		7523	Actividades de mantenimiento del orden público y de seguridad
		7530	Actividades de planes de seguridad social de afiliación obligatoria
		8021	Enseñanza secundaria de formación general
		8022	Enseñanza secundaria de formación técnica y profesional
		8030	Enseñanza superior
		8090	Enseñanza de adultos y otros tipos de enseñanza
		8511	Actividades de hospitales
		8512	Actividades de médicos y odontólogos
		8519	Otras actividades relacionadas con la salud humana
		8520	Actividades veterinarias
		8531	Servicios sociales con alojamiento
		8532	Servicios sociales sin alojamiento
		9000	Eliminación de desperdicios y aguas residuales, saneamiento y actividades similares
		9111	Actividades de organizaciones empresariales y de empleadores
		9112	Actividades de organizaciones profesionales
		9120	Actividades de sindicatos
		9191	Actividades de organizaciones religiosas
		9192	Actividades de organizaciones políticas
		9199	Actividades de otras asociaciones n.c.p.*
57	dwe	7010	Actividades inmobiliarias realizadas con bienes propios o arrendados

*La abreviatura n.c.p. Significa no clasificado en otra parte

Fuente: Cuadro 1.a de Gonzalez-Mellado (2008) utilizando las definiciones de SCIAN México y CIIU Rev.3 correspondientes.

El autor es Licenciado en Economía por el Instituto Tecnológico Autónomo de México (ITAM) y Maestro en Economía Aplicada por el Colegio de la Frontera Norte (COLEF). Ha desempeñado funciones como asistente de investigación en el Centro de Investigación y Docencia Económicas (CIDE) y como servidor público en la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México (SMAGEM). Actualmente como asistente de investigación en el Departamento de Estudios Urbanos y del Medio Ambiente en el COLEF.

Correo electrónico: jaimesalgadosanchez@gmail.com

© Todos los derechos reservados. Se autorizan la reproducción y difusión total y parcial por cualquier medio, indicando la fuente.

Forma de citar:

Salgado Sánchez, Jaime Enrique, (2012). Instrumentos económicos como estrategia de mitigación ante el cambio climático en México. Tesis de Maestro en Economía Aplicada. El Colegio de la Frontera Norte, A.C. México. pp.