



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**PROGRAMA DE MAESTRIA Y DOCTORADO EN
ECONOMIA**

Instituto de Investigaciones Económicas

**“Impacto potencial de un arancel ecológico sobre la economía
mexicana. Un enfoque de equilibrio general computable.”**

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRO EN ECONOMIA

P R E S E N T A :

Manuel Alejandro Pérez Macías

TUTOR:

Lilia Margarita Domínguez Villalobos



Diciembre 2011



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dra. Lilia Domínguez Villalobos

Vocal: Dr. Rafael Borrayo López

Secretario: Dr. Pablo Ruíz Nápoles

1^{er}. Suplente: Dr. Luis Quintana Romero

2^{do}. Suplente: Dra. Flor Brown Grossman

**Posgrado de Economía
Universidad Nacional Autónoma de México.**

TUTOR DE TESIS:

Lilia Margarita Domínguez Villalobos

FIRMA

A mis padres, hermanos y familiares

A Azucena

Índice

Índice.....	4
Agradecimientos.....	6
Introducción.....	7
Capítulo I Calentamiento global y cambio climático.....	10
1.1 Premisas sobre el calentamiento global.....	11
1.2 El calentamiento global antropogénico.....	15
1.2.1 Los gases de efecto invernadero de origen antropogénico.....	16
1.3 Consecuencias del cambio climático.....	17
1.4 El informe Stern (2008).....	22
Capítulo II Mecanismos para la mitigación y adaptación al cambio climático.....	24
2.1 Tres décadas de propuestas y acuerdos.....	25
2.2 Acuerdos internacionales.....	29
2.2.1 Protocolo de Kioto (1997).....	29
2.2.2 Acuerdo Copenhague (2009).....	37
2.2.3 Acuerdo de Cancún (2010).....	38
2.3 La era post Kioto, la nueva era.....	39
2.3.1 Los impuestos al carbono.....	41
2.3.2 Implicación de las nuevas políticas en el comercio.....	44
Capítulo III México y el cambio climático.....	48
3.1 Industrialización y consumo energético.....	49
3.2 Vulnerabilidad ante el cambio climático.....	56
3.3 Alternativas de mitigación y adaptación.....	59
3.3.1 Evaluación de los costos de la mitigación y adaptación.....	62
Capítulo IV Evaluación de un arancel ecológico mediante un modelo de equilibrio general computable: efectos sobre la economía mexicana.....	65
4.1 La matriz de contabilidad social (SAM).....	66
4.1.1 Diseño de la SAM.....	66
4.1.2 SAM México 2003 (SAMEX-2003).....	68
4.1.3 Gestión de los datos SAMEX -2003.....	69

4.1.4 Consistencia SAMEX-2003	70
4.2 Modelo de equilibrio general computable estático (ALEXIM-2003).....	70
4.2.1 Los flujos económicos en ALEXIM-2003	71
4.2.2 Formas funcionales de ALEXIM-2003.	72
4.2.3 Condiciones de equilibrio	76
4.3 Resultados.....	77
Conclusiones	83
Bibliografía.....	86
Apéndice I Simbología ALEXIM-2003	93
Apéndice II Código de Programación.....	94

Agradecimientos

Mis más sinceros agradecimientos a todas las personas que colaboraron, de una u otra forma, a la realización de esta investigación que, para mi, representa la primera publicación de mi trayectoria académica. Principalmente, a la Dra. Lilia, por haberme brindado el apoyo y la paciencia, así como sus conocimientos a lo largo de dos años. También quisiera agradecer al Dr. Diego Azqueta, por sus comentarios, no solo al trabajo, sino hacia mi persona, los cuales me motivaron para continuar con esta “carrera de conocimiento y enseñanza”.

En el ámbito familiar, doy gracias a mis padres, Manuel y Gabriela, y a mis hermanos, Francisco y Gabriela, quienes desde la distancia, han estado conmigo en los buenos y malos ratos, incitándome a continuar en los momentos de estancamiento y debilidad. Mención aparte merece Azucena, quien ha estado conmigo motivándome a alcanzar mis sueños. De igual manera quiero agradecer a quienes me brindaron una mano amiga cuando la necesité: Gerardo, Carmela, Luis, Laura y Patricia. Sin la suma de todos ellos, no habría conseguido este gran logro.

Finalmente, no me gustaría dejar fuera a las personas que, con tanto esmero y dedicación, conforman el posgrado en economía, al Dr. Clemente, al Mtro. Felipe, Mtro. Bernardo y a la Mtra. Nallely, con quienes me encuentro en deuda por las atenciones, consejos y favores.

Espero no dejar a nadie fuera, de ser así, insisto no lo tome a mal y lo adjudique a que soy despistado y no malagradecido.

Manuel Alejandro Pérez Macías, diciembre de 2011.

Introducción

El calentamiento global es un fenómeno que propicia la vida en la tierra, sin embargo, su aumento acelerado lo ha convertido en una externalidad negativa (Cornes, 1986) denominada cambio climático. Actualmente, es uno de los mayores problemas ambientales, que enfrentan las economías del mundo, sino el que más, porque permea a todos los países, sin importar su grado de desarrollo (Reilly, 1992).

El cambio climático, de acuerdo al consenso generado al interior del Panel de Expertos en Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), se da por un crecimiento en las concentraciones de gases de efecto invernadero¹ (GEI) en la atmósfera, provocando un aumento gradual en las temperaturas medias del planeta. Esto a su vez genera cambios en los sistemas físicos, biológicos y económicos, reflejándose en pérdidas de ecosistemas, cambios en las precipitaciones, derretimiento de los polos, aumentos en el nivel del mar, pérdidas del bienestar, por mencionar algunas secuelas.

Los intentos por mitigar y adaptarse a la externalidad se remontan a los años ochenta, cuando nacen las preocupaciones por los cambios en el clima, aunque en aquel entonces, la tecnología no permitía identificar de manera precisa las relaciones entre temperatura y concentración de GEI, se tenía la idea que un cambio en el clima desencadenaría severas consecuencias, la mayoría irreparables. Sin embargo, con la modernización, vinieron nuevas tecnologías que permiten plantear escenarios cada vez más realistas acerca de los costos que enfrentaremos en caso de continuar con la quema de combustibles fósiles. La mayoría de las alternativas planteadas están asociadas a la reducción en el consumo del carbono, el cual está contenido en la mayoría de los combustibles fósiles empleados para el desarrollo de las actividades productivas. Además, su uso generalizado obedece a su relativa abundancia, así como a su bajo costo relativo frente a otras fuentes energéticas.

Varios países han logrado generar acuerdos vinculantes entre ellos, el más importante a la fecha es el protocolo de Kioto. Mediante una serie de mecanismos establecidos (CDM, JI, ET), pretende regular el nivel de emisiones de GEI y llevarlo a los niveles de 1990. La problemática central radica en que no todos los implicados parecen tener motivaciones a

¹ Los principales Gases con efecto invernadero son: vapor de agua, dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), ozono (O₃), óxido nitroso (N₂O), clorofluorocarbonos (CFC-11 y 12), y halones (Houghton, 2004).

participar en los acuerdos, esto genera que los mecanismos pierdan efectividad y las “buenas” intenciones se disipen. Actualmente el protocolo de Kioto se encuentra en la antesala de su fin, por lo que se han sugerido varias herramientas que lo complementen y, en su caso, lo alarguen o lo sustituyan.

Varios economistas ante el fracaso de Kioto han debatido sobre mecanismos alternativos para tratar de reducir sus emisiones contaminantes (Barret, 2003, 2008; Lackner, 2005; Metcalf, 2009; Nordhaus, 2008a, 2008b; Victor, 2004). Al respecto Nordhus (2008a) opina que es necesario generar un acuerdo que incluya a la mayoría de países, vinculándolos de manera legal para cumplir sus compromisos; y Victor (2001) en su libro titulado “The collapse of the Kyoto Procolol and the Struggle to Slow Global Warming propone un sistema híbrido que combine las mejores características de cada alterativa. Así debe concederse que los impuestos a las emisiones de carbono han ganado adeptos. Su popularidad radica en que es muy fácil de recabar al interior de la economía, además, opera bajo el principio de la OCDE de quien contamina paga, lo que genera incentivos al desuso de productos y tecnologías contaminantes. Si bien todavía no se han generalizado, sería necesario reflexionar sobre las consecuencias de esta medida para países emergentes con una matriz energética intensiva en carbono como México.

La implementación de estos impuestos ecológicos genera distorsiones en los mercados como cualquier impuesto. La principal implicación del gravamen es aumentar el precio de los bienes y servicios al interior de la economía que lo implanta, incentivando a los agentes a tomar dos cursos posibles: uno, reducir el consumo del carbono mediante un cambio tecnológico, reducción de la producción o cualquier otro método; o dos, buscar un sustituto en el extranjero, aumentando sus importaciones². Ante cualquiera de estos dos escenarios, el común denominador es una baja en la cantidad de bienes y servicios exportados por el aumento en el costo de estos bienes.

Como refugio a las distorsiones generadas por el impuesto, las economías pueden plantear eventualmente la necesidad de crear un arancel ecológico que equilibre las condiciones en el mercado, sobre todo, que evite el aumento sustancial de importaciones, neutralizando la desventaja de su producción ante los productos exteriores cuyas normatividades ambientales fueron laxas o nulas.

² Estos incentivos se pueden catalogar como Dumping Ecológico.

El efecto del arancel en una economía exportadora dependerá de su huella de carbono. Si esta es elevada, como es el caso de México, hará sus mercancías más costosas que si se aplica el mismo arancel a una economía con una huella menor o nula.

El propósito de este estudio es evaluar, mediante un modelo de equilibrio general computable, la magnitud potencial de la implementación de un impuesto arancelario a las emisiones de carbono por parte de un socio comercial de México. Nos interesa ilustrar que el efecto sería negativo y repercutiría hacia todos los sectores de la economía. Actualmente poseemos el décimo lugar en la lista de principales emisores de GEI. Claramente nos deja vulnerables ante las acciones que los demás países lleven a cabo para reducir sus emisiones.

La tesis se encuentra dividida en cuatro capítulos. El primero presenta, a manera de antecedente, las características del calentamiento global y las implicaciones que ha tenido, llegando a generar la externalidad del cambio climático. En el segundo se recorren de manera breve tres décadas de acuerdos y tratados que han buscado solucionar la externalidad, el más destacado ha sido el protocolo de Kioto; también se presentan las nuevas propuestas que coadyuven a los tratados ya establecidos, como pueden ser el comercio de emisiones y los impuestos al carbono, además, se incluyen las diversas distorsiones que generan en el equilibrio de la economía. En el tercer capítulo se revisa el cambio climático desde la perspectiva mexicana, las implicaciones que ha tenido, los esfuerzos por abatirlo y la vulnerabilidad a la que estamos expuestos. Por último, el cuarto capítulo presenta un modelo de equilibrio general computable que mide los efectos del impacto potencial que representaría un arancel ecológico impuesto a México, suponiendo que comienza con un impacto negativo a través de las exportaciones, el cual se extiende a los demás sectores de la economía.

Capítulo I

Calentamiento global y cambio climático

En la última década, mucho se ha hablado y debatido acerca del calentamiento global, así como del cambio climático. Luego de que en los años ochenta fuese considerado como un problema de índole mundial, los expertos al fin han generado consenso, estableciendo que el calentamiento del planeta es un fenómeno que propicia la vida en la tierra, sin embargo, gracias al intensivo proceso de industrialización de los últimos 150 años – cuyo motor principal fue la quema de combustibles fósiles – el fenómeno se ha acelerado, trayendo como consecuencia cambios en el clima. En términos económicos, el cambio climático se cataloga como una externalidad negativa principalmente por dos razones: no es considerada en el sistema de precios de mercado ni tampoco se encuentran definidos los derechos de propiedad, lo que conlleva a costos ambientales y pérdidas de bienestar social.

Este primer capítulo presenta, a manera de antecedente, las características del calentamiento global y las implicaciones que ha tenido, primero, como catalizador en el proceso de formación de vida en la tierra y, segundo, como el principal elemento de la ecuación que rige al ciclo climático. Posteriormente, se analiza cómo un acelerado proceso de industrialización incrementó la tasa de crecimiento del calentamiento terrestre, generando el cambio climático. Finalmente, se plantean las consecuencias principales generadas por esta externalidad englobadas como consecuencias físicas (por el fenómeno hacia el entorno) y económicas (por sus repercusiones hacia las economías).

1.1 Premisas sobre el calentamiento global

El calentamiento global es un fenómeno natural que describe el aumento de temperatura en la superficie de la tierra³, ocasionado por el incremento en los niveles de dióxido de carbono y otros gases atmosféricos que simulan el efecto de los paneles de vidrio en un invernadero, los cuales permiten la entrada del calor pero dificultan su regreso al exterior. A diferencia de lo que gran parte de la población piensa, el calentamiento global es benéfico para el planeta, de no ser por él, la temperatura de la tierra sería, aproximadamente, 33 grados más fría de lo normal, imposibilitando la vida tal como la conocemos. La ilustración 1 muestra el esquema de funcionamiento del calentamiento global de acuerdo al IPCC (1996a).

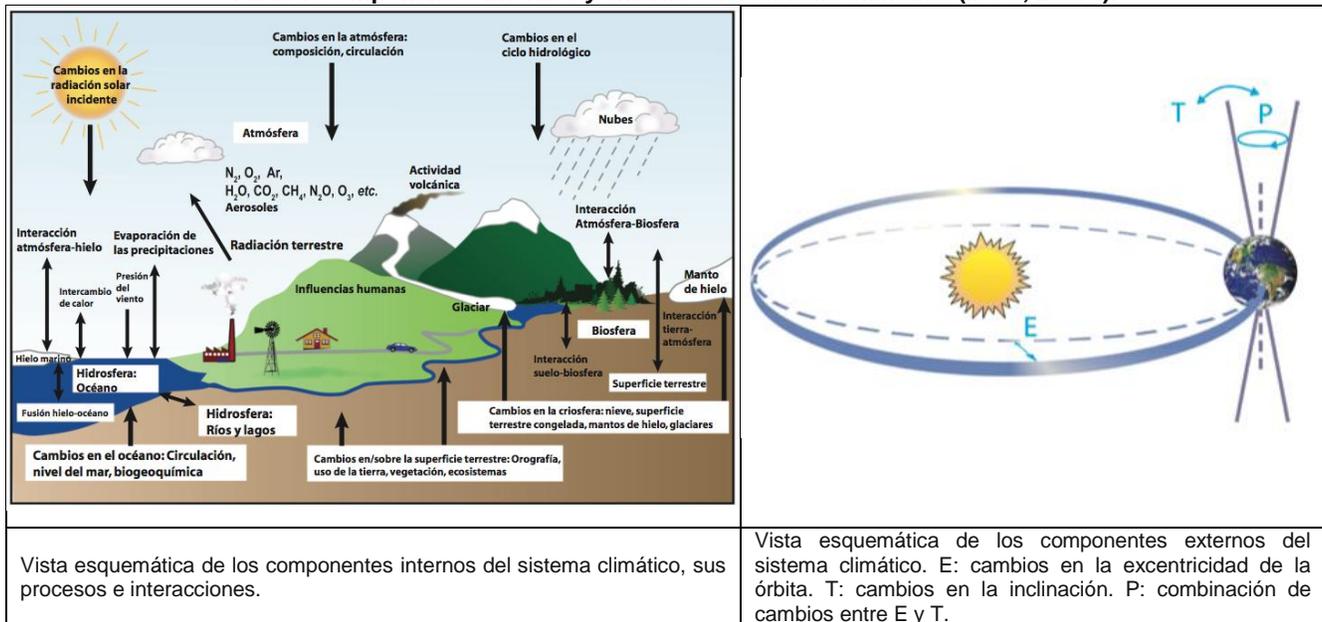


Ilustración 1 Modelo idealizado del efecto invernadero natural. IPCC (1996a)

3 Particularmente en la atmósfera baja, compuesta por dos capas, la primera es la troposfera, cuya altura llega aproximadamente a los 12 kilómetros sobre la superficie terrestre. En ella se producen todos los fenómenos meteorológicos, como la formación de las nubes, la lluvia y el viento. Contiene la mayor proporción de vapor de agua que permite mantener el calor procedente de la superficie terrestre. Los seres vivos encuentran en ella el aire compuesto por todos los gases que necesitan para vivir. La temperatura varía a razón de 1°C cada 180 metros a medida que se asciende, hasta llegar a casi -56°C en el límite superior. Mientras que la segunda es la estratosfera, esta se encuentra entre los 12 y los 90 kilómetros de altura. Se compone de varios gases, separados en capas gracias a su peso molecular, una de ellas es el ozono, el cual se encarga de proteger a la tierra de los rayos ultravioleta. Esta capa actúa como regulador de la temperatura, siendo en su parte inferior cercana a los -60°C disminuye con la altura hasta los -80°C (IPCC, 1996a).

El Calentamiento Global, se produce mediante fenómenos naturales que dependen de mecanismos internos y externos al planeta. Los internos se refieren a las interacciones entre los diversos sistemas que componen la tierra: atmósfera, hidrosfera, criosfera, geosfera y biosfera, estos a su vez conforman los principales elementos del sistema climático. Los externos, como su nombre lo indica, operan de manera exógena, entre los principales podemos nombrar la inclinación de la tierra y los cambios en el flujo solar (IPCC,2007a). Con base en estos dos mecanismos, se han generado teorías sobre la alternancia del clima, entre épocas glaciares cada 100 mil años y periodos interglaciares con una duración media de 15 a 20 mil años en el periodo cuaternario⁴. La interacción entre los elementos de cada uno de los componentes se visualiza en la Tabla 1.

Tabla 1 Componentes internos y externos del sistema climático (IPCC, 2007a).



Para poder hablar de un cambio en el clima, primero se estableció consenso en la forma de medirlo, luego de varios debates, se decidió hacerlo por la vía de la temperatura, entonces, si esta presenta variaciones, de igual manera lo hará el clima (IPCC, 1996c). Sin embargo, cabe aclarar que los cambios en las temperaturas son un fenómeno completamente normal en tierra, es su forma de adaptación a las circunstancias cambiantes del entorno, sin embargo, las variaciones observadas hoy en día ocurren a un ritmo más acelerado, en magnitudes mayores y en patrones que no pueden explicarse por

⁴ El Período Cuaternario o Neozoico es el último de los períodos geológicos. Se desarrolla en el Cenozoico a desde hace 2,588 millones de años hasta el presente. (IPCC, 1996a)

los ciclos naturales. Podemos decir que el incremento en la tasa de crecimiento del calentamiento global llevada más allá del principio precautorio⁵ desencadenará cambios notables⁶ en el clima.

La ilustración 2 muestra los principales cambios observados en los sistemas físicos y biológicos, consecuencia del cambio en las temperaturas medias del planeta en el periodo comprendido entre 1970 y 2004. Se puede notar que las variaciones son cada vez mayores y van de -1°C, las menores registradas en los años setenta, hasta 3.5°C, a comienzos de siglo. Las mayores afectaciones vienen en el rango de 1 a 2°C en promedio (IPCC, 2007b), se puede apreciar que, prácticamente el noventa por ciento del mapa oscila en ese nivel. De igual manera, el gráfico registra el número de cambios perceptibles observados, así como el porcentaje asociado a la variación en los niveles de temperatura.

5 El principio precautorio tiene su origen en Alemania en el denominado principio Vorsorge (Vorsorgeprinzip). Nace con la idea de que la sociedad en su conjunto tiene como misión evitar todo daño ambiental a través de una correcta planificación de todas las actividades que se desarrollen en el futuro, suprimiendo aquellas que fueran potencialmente dañinas (Tickner, Raffensperger, Myers, 1999). Para el caso del Calentamiento Global se llegó a la convención –en la reunión de las partes número 16- de manejar un horizonte máximo de 2° C sobre el nivel medio de la temperatura.

6 De acuerdo al IPCC (1996a) la principal consecuencia del Calentamiento Global acelerado (por causas antropogénicas) es el Cambio Climático.

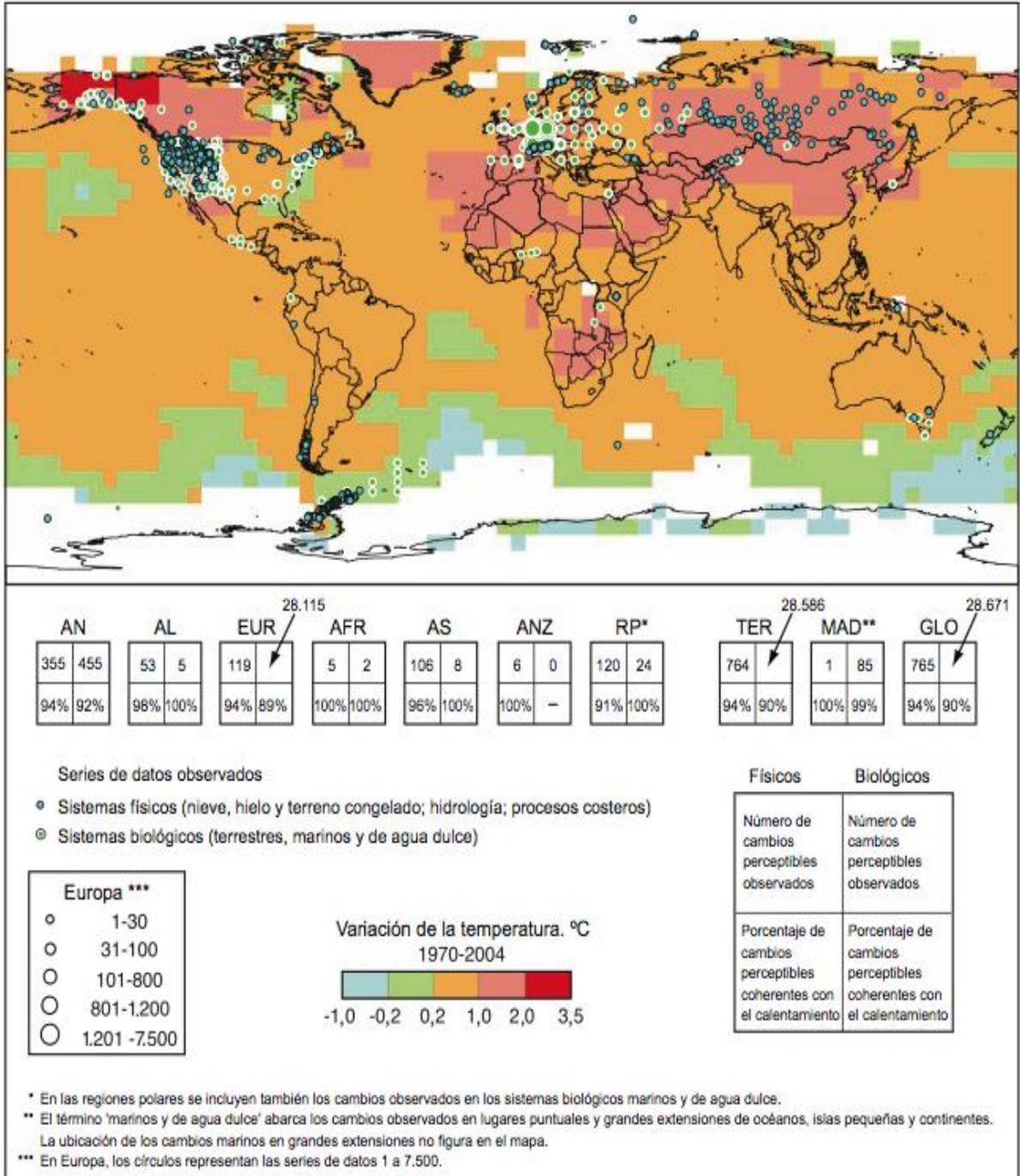


Ilustración 2 Cambios en los sistemas físicos, biológicos y en la temperatura de la superficie terrestre, 1979-2004. (IPCC, 2007b)

Tabla 2 Nomenclatura Ilustración 2

AN	AL	EUR	AFR	AS	ANZ	RP	TER	MAD	GLO
América del Norte	América Latina	Europa	África	Asia	Australia y Nueva Zelanda	Regiones Polares	Cambios terrestres	Cambios marítimos	Cambio globales

1.2 El calentamiento global antropogénico

Estudios recientes⁷ convergen a que la actividad humana ha incrementado de manera considerable la emisión de GEI. Partiendo de la relación entre la temperatura y el cambio en el clima, los expertos en el tema comenzaron a notar que existía un vínculo muy estrecho entre las concentraciones de dióxido de carbono -medidas en partículas por millón volumétrico⁸ (ppmv)- y las variaciones en la temperatura media de la tierra. Además, encontraron que los gases emitidos por las actividades industriales han fungido como un catalizador en el proceso de calentamiento global, provocando alternancias en la temperatura, variando el clima de manera drástica, dando lugar a la externalidad que representa el cambio climático (IPCC, 1996a).

Durante las revoluciones industriales (periodo comprendido entre finales del siglo XVIII y principios del siglo XIX) se marcó el comienzo de la “era moderna” donde las máquinas sustituyeron al trabajo artesanal, este punto señala el aumento sustancial de la concentración de ppmv de GEI, principalmente el dióxido de carbono, procedente de la quema de combustibles fósiles, necesaria para el funcionamiento de las máquinas. Su uso generalizado obedeció a su relativa abundancia, así como a la mayor eficiencia relativa obtenida con la tecnología de la época. La ilustración 3 muestra cómo ha sido la relación entre la vtm del planeta y la concentración de emisiones de carbono durante los últimos dos siglos.

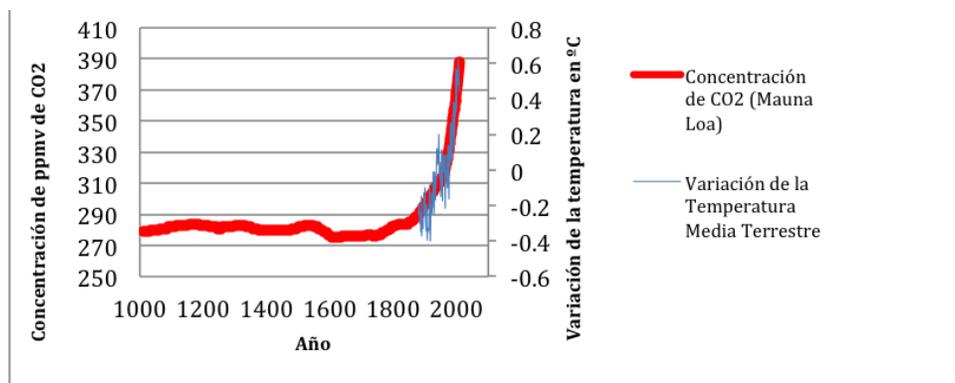


Ilustración 3 Relación entre la temperatura media de la tierra y la concentración de CO2. Elaboración del autor con datos de la NASA y del CDIAC⁹.

⁷ Entre los más destacados se encuentran los del IPCC, del año 1996 al 2007.

⁸ Ppmv: partes por millón volumétricas. De acuerdo a la nomenclatura empleada por el IPCC (1995).

⁹ La concentración histórica de dióxido de carbono proviene de registros de muestras de hielo (1010-1955) y de mediciones directas de la atmósfera (1959-2009). La concentración pre-industrial fue de alrededor de 280 ppm de acuerdo con el IPCC (2007b).

De acuerdo a los datos de la agencia internacional de energía publicados en 2010, las economías en general poseen un sistema energético insustentable y contaminante. Como se puede apreciar en la ilustración 4, poco más del setenta por ciento de la energía proviene directamente la quema de combustibles fósiles. Aunque se han hecho avances en ciencia y tecnología para mejorar la eficiencia en la producción de energía con nuevas tecnologías - destacando la nuclear, hidráulica y geotérmica - aún se tiene una brecha muy grande por cubrir.

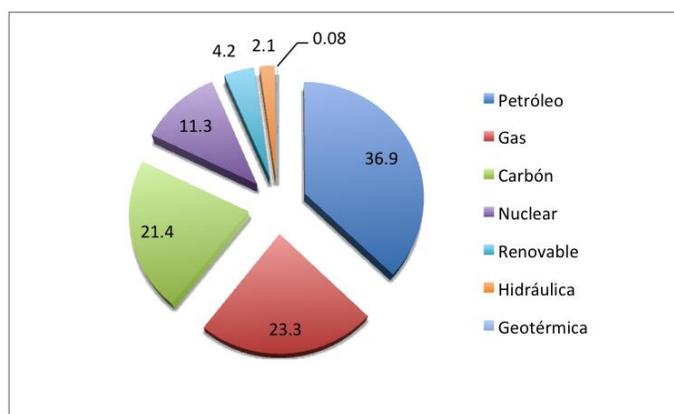


Ilustración 4 Composición mundial del suministro de energía primaria. (IEA, 2010)

1.2.1 Los gases de efecto invernadero de origen antropogénico

Como se ha revisado, las actividades humanas han traído como consecuencia la emisión de cuatro gases de efecto invernadero principales: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) y los halocarbonos (grupo de gases que contienen flúor, cloro y bromo). En la ilustración 5 se puede ver la medida en que cada uno de estos gases contribuye al calentamiento global antropogénico, cabe señalar que estos datos han sido obtenidos a partir de la década de los ochenta, periodo en el cual comienza la recopilación de información por parte del IPCC. De igual manera contiene las tasas de concentración en la atmósfera y su fuente de emisión principal, donde el CO_2 es el más abundante en comparación con los otros gases de origen antropogénico.

<i>Gas</i>	<i>Fuentes principales:</i>	<i>Tasa actual de aumento y de concentración actual</i>	<i>Contribución al calentamiento global (%)</i>
Dióxido de carbono (CO ₂)	Quema de combustible fósil (C. 77%) Deforestación (C. 23%)	0.5% (353 ppmv) ^a	55
Clorofluorocarbonos (CFC _s) y gases afines (HFCs y HCFCs)	Diversos usos industriales: aerosoles de espuma, refrigeradores, solventes	4% (280 ppbv CFC-11 484 ppbv CFC-12)	24
Metano (CH ₄)	Arrozales Fermentación entérica Fugas de gas	0.9% (1.72 ppmv)	15
Óxido nitroso (N ₂ O)	Quema de biomasa Uso de fertilizantes Combustión de combustible fósil	0.8% (310 ppmmv)	6

ppmv = partes por millón volumen; ppmmv = partes por mil millones volumen; ppbv = partes por billón volumen.

Ilustración 5 Los gases comunes de efecto invernadero, sus orígenes, tasas de acumulación en la atmósfera y su contribución al calentamiento terrestre (IPCC, 2007a).

1.3 Consecuencias del cambio climático

De proseguir las emisiones de GEI a una tasa igual o superior a la actual, el calentamiento global aumentaría haciendo que el sistema climático mundial experimente cambios bruscos durante el siglo XXI, muy probablemente mayores que los observados el siglo pasado (ilustración 2). De acuerdo al informe especial sobre escenarios de emisiones¹⁰ para los dos próximos decenios las proyecciones indican un calentamiento de aproximadamente 0.2°C por decenio.

Cada escenario cuenta con diversos supuestos, como pueden ser el tipo de políticas climáticas aplicado, el número de integrantes que participa en cada acuerdo planteado, distintas proyecciones para la emisión de GEI de cada participante, entre otros; como consecuencia se obtienen múltiples grados de confiabilidad para cada escenario, sin embargo, la mayoría converge hacia las mismas consecuencias. Para la presentación de las principales afectaciones se llevó a cabo una división, primero se expone el tipo de afectación y posteriormente se asocia a cada macro región, se presentan las afectaciones pronosticadas por tipo y zona para un horizonte temporal de setenta años (IPCC, 2007b).

La ilustración 6 muestra un resumen de las afectaciones asociada a cada una de las cinco grandes áreas de impacto – agua, ecosistemas, alimentos, costas y salud –. También

¹⁰ Escenarios de emisión desarrollados por Nakic-enovic y Swart (1996, 2000) y utilizados, en particular, como base para algunas de las proyecciones climáticas contempladas en el Cuarto Informe de evaluación del IPCC (2007a).

vincula los cambios en cada área con el intervalo de temperatura en el que se pronostica ocurrirán, pasando de 0 hasta 5°C. La información de la tabla fue elaborada por el IPCC con información recabada entre 1980 y 1999, mediante modelos de pronóstico se lograron hacer proyecciones hasta el año 2080.

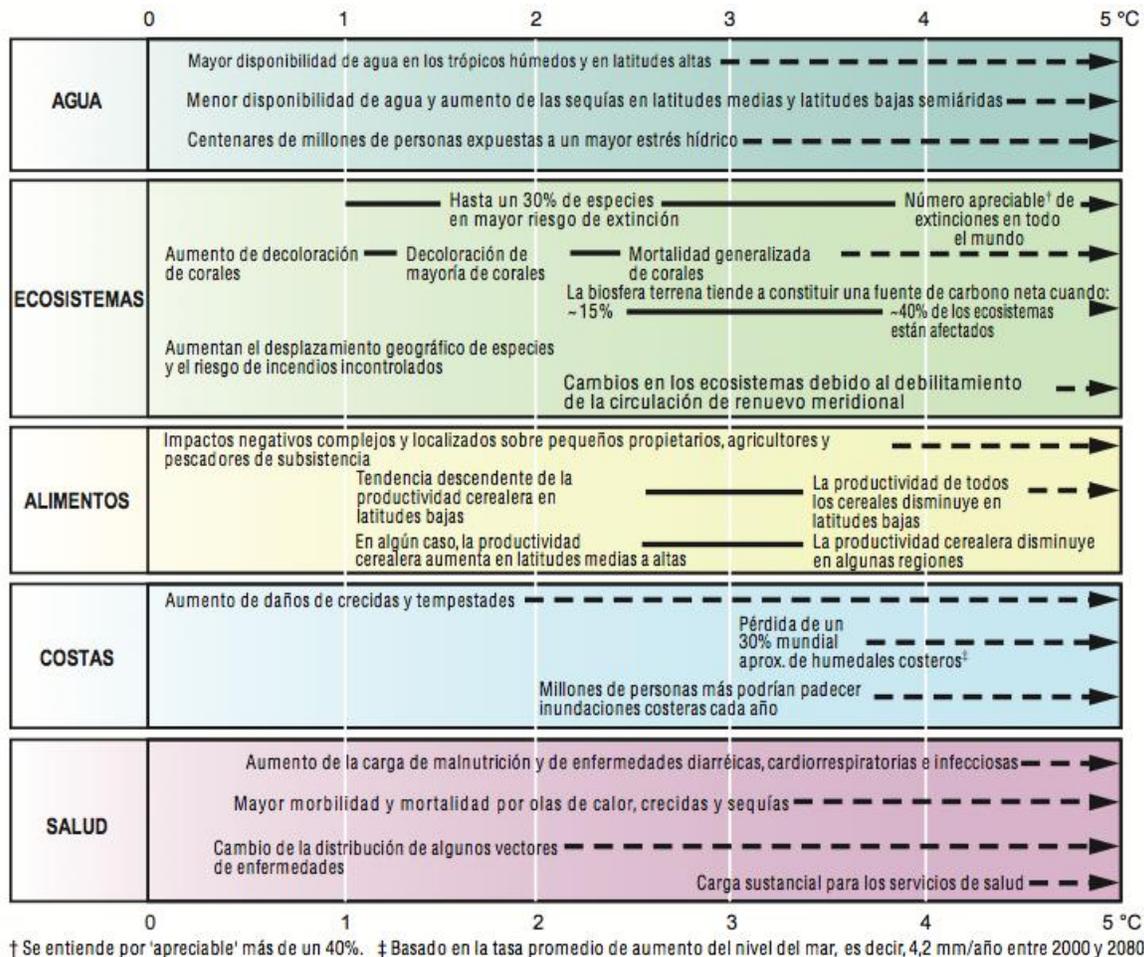


Ilustración 6 Cambio anual medio mundial de la temperatura respecto del período 1980-1999 (°C). Fuente IPCC(2007b)

Se espera que las modificaciones previstas en la temperatura varíen de manera regional, y que las latitudes mayores se calienten mucho más que el promedio global. Al calentarse el clima, la evaporación podría incrementarse, y se podría ver un aumento en la precipitación media global y en la frecuencia de lluvias intensas. Sin embargo, mientras que algunas áreas podrían experimentar mayores precipitaciones, otras tendrían una reducción de las mismas. En general, se espera que las lluvias aumenten en altas latitudes tanto en verano como en invierno, que las latitudes medias (África tropical y la Antártica) tengan incrementos en invierno y que el sur y este de Asia los experimente en

verano. Por su parte, Australia, América Central y el sur de África tendrían reducciones en la precipitación durante el invierno.

De la misma forma, es de esperarse una mayor incidencia de algunos fenómenos climáticos extremos como episodios de temperaturas extremadamente altas, eventos de fuerte precipitación, déficits de humedad en los suelos, incrementos en la intensidad máxima de vientos y precipitación de ciclones tropicales, inundaciones, sequías e incendios, así como brotes de pestes en algunas regiones del mundo. Modificando los ecosistemas naturales, afectándolos de diversas formas: cambios en la composición y productividad de los sistemas ecológicos, pérdida de biodiversidad, alteraciones en la distribución de especies de bosques, decoloración y desaparición de arrecifes de coral, etcétera.

Los sistemas de tipo socioeconómico (recursos hídricos, agricultura, silvicultura, pesca, asentamientos humanos, etc.), los ecosistemas terrestres y acuáticos y la salud humana son sensibles a la magnitud y el ritmo del cambio climático, así como a las modificaciones en climas extremos y a la variabilidad climática. Los países en desarrollo serían los más afectados, debido a una serie de factores, entre los que destacan su reducido acceso a tecnologías para adaptarse, recursos financieros e información, e incluso, su localización geográfica, pues muchos de ellos se encuentran en zonas áridas y semiáridas, susceptibles a experimentar aumentos en la frecuencia y magnitud de las sequías. Se espera que la productividad agrícola se reduzca hasta en treinta por ciento en África y América Latina durante este siglo, por lo que aumentaría el riesgo de hambruna en algunos lugares de los trópicos y subtropicales donde vive gran parte de la gente más pobre del mundo.

Los cambios previstos podrían producir, además, un incremento en el número de personas en peligro de contraer malaria del orden de decenas de millones por año, principalmente en las zonas pobladas menos protegidas, en áreas templadas y en los trópicos y subtropicales. Podrían, también, presentarse incrementos en enfermedades infecciosas como la salmonelosis, el cólera y otras relacionadas con el agua y los alimentos, en especial en regiones tropicales y subtropicales, debido a los efectos del clima en la distribución y temperatura del agua y sobre la proliferación de microorganismos. El aumento del nivel del mar podría, de igual manera, producir impactos negativos sobre los asentamientos humanos, el turismo, los suministros de agua dulce, la pesca, las infraestructuras expuestas, los suelos agrícolas y secos, así como los pantanos, causando pérdidas de tierras y económicas y el desplazamiento de millones de personas.

Las posibles afectaciones por macro región, pronosticadas al año 2080 se enlistan en la tabla 3, donde es posible observar que las regiones más afectadas serán la región ártica, debido a los impactos de la gran rapidez del proyectado calentamiento sobre los sistemas naturales y las comunidades humanas; África, debido a su escasa capacidad adaptativa y a los impactos del cambio climático proyectados; las islas pequeñas en que las poblaciones y las infraestructuras estarían muy expuestas a los impactos del cambio climático; los grandes deltas de Asia y África, por ser regiones muy pobladas y muy expuestas al aumento del nivel del mar, a las mareas de tempestad y a las crecidas fluviales.

Tabla 3 Algunos impactos regionales proyectados (IPCC, 2007b)

África	<p>Hasta 2020, entre 75 y 250 millones de personas estarían expuestas a un mayor estrés hídrico por efecto del cambio climático.</p> <p>Hasta 2020, la productividad de los cultivos pluviales podría reducirse en algunos países hasta en un 50%. La producción agrícola y el acceso a los alimentos en numerosos países africanos quedarían en una situación gravemente comprometida. Ello afectaría aun más negativamente a la seguridad alimentaria y exacerbaría la malnutrición.</p> <p>Hacia el final del siglo XXI, el aumento proyectado del nivel del mar afectaría a las áreas costeras bajas muy pobladas. El costo de la adaptación podría ascender a, como mínimo, entre un 5% y un 10% del producto interno bruto (PIB).</p> <p>Hasta 2080, se produciría un aumento de entre un 5% y un 8% en la extensión de las tierras áridas y semiáridas en África.</p>
Asia	<p>Hacia el decenio de 2050, la disponibilidad de agua dulce en el centro, sur, este y suroeste de Asia disminuiría, particularmente en las grandes cuencas fluviales.</p> <p>Las áreas costeras, y especialmente las regiones de los grandes deltas superpoblados del sur, este y sudeste de Asia serían las más amenazadas, debido al incremento de las inundaciones marinas y, en algunos grandes deltas, de las crecidas fluviales.</p> <p>El cambio climático potenciaría las presiones ejercidas sobre los recursos naturales y el medio ambiente por efecto de la rápida urbanización, de la industrialización y del desarrollo económico.</p> <p>La morbilidad y mortalidad endémicas causadas por las enfermedades diarreicas asociadas principalmente a las crecidas y sequías aumentarían en el este, sur y sureste de Asia por efecto de los cambios del ciclo hidrológico.</p>
Australia y Nueva Zelanda	<p>Hasta 2020 se experimentaría una importante pérdida de diversidad biológica en algunos lugares de gran riqueza ecológica, como la Gran Barrera Coralina o los trópicos pluviales de Queensland.</p> <p>Hasta 2030, los problemas de seguridad hídrica se agravarían en el sur y este de Australia y, en Nueva Zelanda, en Northland y en ciertas regiones orientales.</p> <p>Hasta 2030, la producción agrícola y forestal disminuiría en gran parte del sur y este de Australia y en partes del este de Nueva Zelanda, como consecuencia del mayor número de sequías e incendios. Sin embargo, en Nueva Zelanda los efectos serían inicialmente beneficiosos en algunas otras regiones.</p> <p>Hasta 2050, el constante desarrollo costero y el crecimiento demográfico en ciertas áreas de Australia y Nueva Zelanda agravaría los riesgos de aumento del nivel del mar, y la intensidad y frecuencia de las tempestades y de las inundaciones costeras.</p>

Tabla 3 (cont.) Algunos impactos regionales proyectados (IPCC, 2007b)

Europa	<p>Se espera que el cambio climático magnifique las diferencias regionales en cuanto a los recursos naturales y generales de Europa. Entre los impactos negativos cabe citar un mayor riesgo de crecidas repentinas en el interior, una mayor frecuencia de inundaciones costeras, y un aumento de la erosión (debido al aumento de tempestades y del nivel del mar).</p> <p>Las áreas montañosas experimentarían retracción de los glaciares, disminución de la cubierta de nieve y del turismo de invierno, y abundante pérdida de especies (en algunas áreas hasta un 60%, en escenarios de alto nivel de emisiones, de aquí a 2080).</p> <p>En el sur de Europa, las proyecciones indican un empeoramiento de las condiciones (altas temperaturas y sequías) en una región que es ya vulnerable a la variabilidad del clima, así como una menor disponibilidad de agua y una disminución del potencial hidroeléctrico, del turismo de verano y, en general, de la productividad de los cultivos.</p> <p>El cambio climático agudizaría también los riesgos para la salud por efecto de las olas de calor y de la frecuencia de incendios incontrolados.</p>
América Latina	<p>Hasta mediados del siglo, los aumentos de temperatura y las correspondientes disminuciones de la humedad del suelo originarían una sustitución gradual de los bosques tropicales por las sabanas en el este de las Amazonas. La vegetación semiárida iría siendo sustituida por vegetación de tierras áridas.</p> <p>Podrían experimentarse pérdidas de diversidad biológica importantes con la extinción de especies en muchas áreas de la América Latina tropical.</p> <p>La productividad de algunos cultivos importantes disminuiría, y con ella la productividad pecuaria, con consecuencias adversas para la seguridad alimentaria. En las zonas templadas mejoraría el rendimiento de los cultivos. En conjunto, aumentaría el número de personas amenazadas por el hambre.</p> <p>Los cambios en las pautas de precipitación y la desaparición de los glaciares afectarían notablemente a la disponibilidad de agua para consumo humano, agrícola e hidroeléctrico.</p>
América del Norte	<p>En las montañas occidentales, el calentamiento reduciría los bancos de nieve, acrecentaría las crecidas de invierno y reduciría la escorrentía de verano, intensificando así la competencia por los recursos hídricos.</p> <p>En los primeros decenios del siglo, un cambio climático moderado mejoraría en conjunto el rendimiento de los cultivos pluviales entre un 5% y un 20%, aunque estaría sujeto a una acentuada variabilidad según las regiones. La situación sería difícil para los cultivos situados cerca de las fronteras cálidas de su ámbito natural, o dependientes de unos recursos hídricos muy demandados.</p> <p>En el transcurso del siglo, las ciudades que actualmente padecen olas de calor estarían expuestas a un aumento de estas y de su intensidad y duración, que podría tener efectos adversos sobre la salud.</p> <p>Las comunidades y hábitats costeros tendrían mayores dificultades, debido a la interacción de los efectos del cambio climático con el desarrollo y la contaminación.</p>
Regiones Polares	<p>Los principales efectos biofísicos proyectados son una reducción del espesor y extensión de los glaciares y mantos de hielo, alteraciones de los ecosistemas naturales con efectos perjudiciales para numerosos organismos, en particular aves migratorias, mamíferos y predadores superiores.</p> <p>Para las comunidades humanas de la región ártica, los impactos, particularmente los resultantes de la alteración de los fenómenos de nieve y hielo, serían heterogéneos.</p> <p>Los efectos perjudiciales recaerían, en particular, sobre las infraestructuras y modos de vida tradicionales de las comunidades indígenas.</p> <p>En ambas regiones polares, determinados ecosistemas y hábitats se harían vulnerables a medida que disminuyesen los obstáculos climáticos a las invasiones de otras especies.</p>

Tabla 3 (cont.) Algunos impactos regionales proyectados (IPCC, 2007b)

Islas pequeñas	<p>El aumento del nivel del mar intensificaría las inundaciones, las mareas de tempestad, la erosión y otros fenómenos costeros peligrosos, amenazando con ello la infraestructura vital, los asentamientos y las instalaciones de cuya subsistencia dependen las comunidades insulares.</p> <p>El deterioro de las condiciones costeras, por ejemplo por erosión de las playas o decoloración de los corales, afectaría los recursos locales.</p> <p>Hasta mediados del siglo, el cambio climático reduciría los recursos hídricos en gran número de islas pequeñas, por ejemplo en el Caribe y en el Pacífico, hasta el punto de que aquellos serían insuficientes para cubrir la demanda en los períodos de escasa precipitación.</p> <p>Con el aumento de las temperaturas aumentarían las invasiones de especies nativas, particularmente en las islas de latitudes medias y altas.</p>
-----------------------	--

1.4 El informe Stern (2008)

El Informe examina de tres maneras distintas los costes económicos de las consecuencias del cambio climático y los costes y beneficios de las medidas introducidas para reducir las emisiones de los GEI que las causan:

- Uso de técnicas desagregadas, es decir, considerar las consecuencias físicas del cambio climático sobre la economía, sobre la vida humana y sobre el medio ambiente y examinar los costes de distintas tecnologías y estrategias para reducir las emisiones de gases invernadero.
- Uso de modelos económicos, con inclusión de modelos de evaluación integrada, que calculan el impacto económico del cambio climático, y de modelos macroeconómicos, que representan los costes y consecuencias de la transición a sistemas energéticos bajos en carbono para la totalidad de la economía.
- Uso de comparaciones del nivel actual y de futuras trayectorias del 'coste social del carbono' (coste de las repercusiones asociadas con una unidad adicional de emisiones de gases invernadero) con el coste de una reducción marginal (coste asociado con reducciones incrementales en unidades de emisiones)

Sobre la base de todas estas perspectivas, la información obtenida por el Informe nos lleva de la mano a una sencilla conclusión: los beneficios de una acción firme y pronta superan con creces los costes.

Los datos a nuestra disposición ponen en claro que, si ignoramos el cambio climático, se producirán en su día consecuencias negativas para el crecimiento económico. Nuestras acciones actuales y de las próximas décadas podrían crear el riesgo de que se produzca una importante perturbación de las actividades económicas y sociales a finales del siglo actual y en el próximo siglo, cuya escala sería comparable a la asociada con las grandes

guerras y depresión económica de la primera mitad del siglo XX. Estos cambios serán difíciles y aun imposibles de subsanar. A plazo más largo, la adopción de medidas sobre el cambio climático es una estrategia a favor del crecimiento, que puede llevarse a la práctica sin por ello recortar las aspiraciones de crecimiento de los países, ricos o pobres. Cuanto antes se ponga en marcha una acción eficaz, menor será el costo.

Teniendo al mismo tiempo en cuenta que el cambio climático es algo que se está produciendo, es esencial que se introduzcan medidas que asistan a la población a adaptarse a dicho cambio. Cuanto menor sea la mitigación que logremos ahora, mayor será la dificultad de continuar adaptándonos en el futuro.

A lo largo del capítulo, se enfatizó la necesidad de distinguir entre el calentamiento global y el calentamiento global antropogénico. En tanto el primero es un fenómeno natural que propicia la vida en la tierra y es el principal componente del clima, el segundo es el aumento progresivo en las temperaturas medias del planeta y el principal precursor del cambio climático.

El cambio climático es una externalidad negativa, resultado de los últimos 150 años de industrialización. Se manifiesta en cinco grandes ramas de afectación: Agua, ecosistemas, alimentos, costas y salud. Los encargados de diseñar política ambiental deberán buscar mitigar los efectos y buscar la adaptación¹¹. Estas políticas deben plantear nuevos desafíos a las economías, incentivándolas a rediseñar su ideología y percepción del medio ambiente, consiguiendo estrategias más efectivas contra los efectos adversos del Cambio Climático (Aldy et al, 2003a, 2003b; Barret et al, 2003; Victor, 2004; Aldy et al., 2010; Bosetti et al, 2010).

¹¹ Políticas de mitigación y adaptación de acuerdo a la terminología adquirida por el IPCC (2007b).

Capítulo II

Mecanismos para la mitigación y adaptación al cambio climático

Aún con las incertidumbres subsistentes, la prudencia aconseja, incluso a los más escépticos, tomar medidas de mitigación y adaptación al cambio climático, puesto que no es un problema inminente a corto plazo que pueda enmendarse rápidamente. La actual generación de líderes políticos no podrá solucionar el problema. Sin embargo, sí pueden abrir oportunidades y mantenerlas abiertas para permitir que las futuras generaciones retomem la lucha (Edmonds, et al, 1997; Frankel, 1999, 2005, 2008).

Este capítulo pretende mostrar las acciones tomadas los pasados 30 años y el rumbo que han fijado para mitigar los efectos del cambio climático. En la primera parte se recorren brevemente los encuentros más significativos como la cumbre de Toronto en 1988 o la de Río de Janeiro en 1992. Posteriormente, se presentan las principales herramientas creadas para abatir la externalidad, por ejemplo el protocolo de Kioto o el acuerdo de Cancún.

En la sección tercera, se plantean las nuevas sugerencias de política, surgidas del proceso de interacción entre los agentes, la implementación de los protocolos y las críticas, tales como impuestos a las emisiones de carbono, límite de emisiones con venta de bonos de carbono, aranceles ecológicos, entre otros, ofreciendo una nueva gama de instrumentos contra las emisiones contaminantes.

Finalmente se revisa la evidencia empírica proveniente de la aplicación de las nuevas políticas – consideradas aún como extra oficiales, por no encontrarse normadas en ningún acuerdo internacional legalmente vinculante – siendo la más aceptada la imposición sobre emisiones de carbono. Además, se incluyen las distorsiones que pueden surgir de la aplicación de estas herramientas, así como los posibles métodos para solucionarlas.

2.1 Tres décadas de propuestas y acuerdos

A lo largo del siglo pasado, surgieron diversos problemas ambientales, dos destacan entre los de mayor impacto: el caso de la lluvia ácida¹² a mediados del siglo, o el agujero en la capa de ozono¹³. Para solucionar el primero, en 1988, como parte del Acuerdo sobre la contaminación transfronteriza de la Convención de las Naciones Unidas (1979), veinticinco naciones ratificaron un protocolo en el que se congelaban las emisiones de óxidos de nitrógeno al nivel de 1987. La solución a la segunda externalidad fue similar, en 1987 representantes de 43 naciones firmaron un acuerdo denominado el protocolo de Montreal, cuyo objetivo normaba y limitaba las sustancias que agotaran el ozono por debajo de niveles perjudiciales.

Sin embargo, ninguno llegó a ser tan polémico como lo es ahora el calentamiento global (Leggett, 1990), principalmente porque la solución en los casos anteriores supuso la restricción al uso de determinadas sustancias, en cambio, prescindir del carbono en un mundo donde su consumo está tan generalizado es, por mucho, más complicado; sin mencionar los costos económicos, tecnológicos y sociales que un cambio de esta magnitud supone (Newell, 2008; Harstad, 2008). Por ello, los gobiernos han llevado a cabo varios intentos por mitigar los efectos del calentamiento global antropogénico, así como su principal consecuencia: el cambio climático, comenzando en 1988 cuando en la ciudad de Toronto, Canadá, se llevó a cabo la “conferencia sobre el cambio atmosférico” donde, por primera vez, se discutieron acciones contra el cambio climático, destacando la necesidad de crear un organismo encargado de recabar información sobre el clima, analizarla y emitir un dictamen de las alteraciones causadas sobre éste por la acción humana. Finalmente, con ayuda de la Organización Meteorológica Mundial¹⁴ y el

¹² En 1872 un químico inglés, Robert Angus Smith, se percató de éste fenómeno en las áreas industriales de Inglaterra y le da el nombre de lluvia ácida; su proceso de formación obedece a los residuos generados en la quema de combustibles: gases de dióxido de azufre (SO₂) y óxidos de nitrógeno (NO_x), los cuales reaccionan químicamente con el vapor de agua y otras sustancias de la atmósfera para formar ácidos sulfúrico (H₂SO₄) y nítrico (HNO₃), dos ácidos fuertes que cuando caen a la superficie mezclados con el agua de lluvia producen una disminución en el pH de la lluvia por debajo de 5.0. Fuente: Instrumento de Ratificación del protocolo al Convenio de 1979 sobre contaminación atmosférica transfronteriza a larga distancia, relativo a reducciones adicionales de las emisiones de azufre, hecho en Oslo el 14 de junio de 1994.

¹³ El ozono es una sustancia compuesta por 3 átomos de oxígeno. La capa de ozono es la parte de la atmósfera donde se concentra más del 90% de todo el ozono existente en nuestro planeta. Esta capa es de vital importancia en la interacción de los sistemas que permiten la vida en la tierra, su principal función es depurar el aire y filtrar los rayos ultravioletas procedentes del espacio. Sin esa protección la vida en la tierra sería imposible. Varios factores, principalmente humanos, han deteriorado a la capa de ozono. Para más información sobre este protocolo consulte el Manual del protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la Capa de Ozono disponible en línea www.epa.gov/ozone/intpol/.

¹⁴ OMM: La Organización Meteorológica Mundial es un organismo especializado de las Naciones Unidas. Es su portavoz autorizado acerca del estado y el comportamiento de la atmósfera terrestre, su interacción con los océanos, el clima que produce y la distribución resultante de los recursos hídricos. La OMM cuenta con 189

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente¹⁵ se logró constituir el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el cambio climático (Nakicenovic, 2000).

A fines de 1989 el IPCC emite su primer informe de evaluación, donde afirma que se debe reducir las emisiones antropogénicas entre 60 y 80% para lograr una estabilización de los GEI en la atmósfera, que ya eran un 25% más elevadas que los niveles registrados antes de los comienzos de las revoluciones industriales de principios del siglo XVIII (IPCC, 1990). A raíz del informe, se pudieron establecer los efectos que tendría sobre el clima un aumento de la concentración de GEI en la atmósfera; es así como surge la propuesta de crear un organismo encargado de monitorear las concentraciones de estos gases, además de generar políticas mundiales de mitigación que los estabilicen.

La propuesta se retoma en 1992, durante la cumbre de la tierra, celebrada en Río de Janeiro, donde se negoció la creación de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático (UNFCCC, por sus siglas en inglés), dentro de la negociación se buscaba que los países adheridos al mismo redujeran sus emisiones a niveles de 1990, marcando como plazo de cumplimiento el año 2000. Pero no fue sino hasta 1994, luego de la ratificación por parte de varias naciones, que la Convención entró en vigor; estableciendo una estructura general para los esfuerzos intergubernamentales encaminados a resolver el desafío del cambio climático (UNFCCC, 1992). Es importante señalar que la UNFCCC operaba de acuerdo al modelo a seguir de la época: el protocolo de Montreal, encargado de normar las sustancias que desgastan la capa de ozono. Este protocolo era ampliamente visto como el tratado más efectivo en la historia de la diplomacia ambiental internacional, porque marcaba objetivos y tiempos para regular el consumo de las sustancias implicadas, además, su aceptación fue muy popular entre los países y sus gobernantes, por lo que su entrada en vigor no presentó mayores inconvenientes (Shogren, 2000; Victor, 2004).

Estados y Territorios Miembros (desde el 4 de diciembre de 2009). Su predecesora, la Organización Meteorológica Internacional (OMI), se fundó en 1873. La OMM se creó en 1950 y se convirtió en el organismo especializado de las Naciones Unidas para la meteorología (tiempo y clima), la hidrología operativa y las ciencias geofísicas conexas en 1951.

¹⁵ PNUMA: Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, (UNEP por sus siglas en inglés) con sede en Nairobi, Kenia, es un programa de las Naciones Unidas que coordina las actividades relacionadas con el medio ambiente, asistiendo a los países en la implementación de políticas medioambientales adecuadas así como a fomentar el desarrollo sostenible. Fue creado por recomendación de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Humanos (Estocolmo - 1972). Su misión es proporcionar liderazgo y promover los esfuerzos conjuntos para el cuidado del medio ambiente, alentando, informando y capacitando a las naciones y a los pueblos para que mejoren su calidad de vida sin comprometer la de las futuras generaciones. Sus actividades cubren un amplio rango de temas, desde la atmósfera y los ecosistemas terrestres, la promoción de las ciencias medioambientales y la difusión de información relacionada hasta la emisión de advertencias y la capacidad para responder a emergencias relacionadas con desastres medioambientales.

Dentro de las primeras acciones de la UNFCCC se convocó a las naciones miembro a efectuar reuniones periódicas, donde se negociarían las mejores políticas contra el cambio climático. Para 1995 en la ciudad de Berlín, se celebró la primera reunión bajo el esquema de Cumbre del Clima – aunque fue bautizada como Conferencia de las Partes (COP – 1) – donde se evidenció que los acuerdos entablados en Río eran muy ligeros y no resolverían la problemática ambiental, por lo que en “el mandato de Berlín” – documento generado y ratificado por los miembros de la Convención al final de la cumbre – acordaron que era necesaria la creación de un protocolo que vinculara legalmente a las naciones adheridas a él.

Rumbo a 1997, ciento sesenta países reunidos en la Tercera Conferencia de las Partes (COP-3) de la UNFCCC, en la ciudad de Kioto decidieron crear y aprobar el protocolo de vinculación legal, bautizándolo con el nombre de la ciudad donde se consumó. Su principal función era actuar como instrumento jurídico para la aplicación del convenio sobre el cambio climático que nació en la Cumbre de Río de Janeiro y entró en vigor en 1994. El protocolo de Kioto pretende regular las emisiones de GEI, aunque no todas ellas, debido a que algunas – como los CFC y los Halones – se encuentran normadas por el protocolo de Montreal. Al ser la máxima herramienta contra el cambio climático que se haya creado, merece ser analizado a detalle en un apartado posterior, basta con mencionar que su entrada en vigor sería hasta que fuese ratificado por el 55% de los países emisores del Anexo B¹⁶.

Durante la cuarta reunión de las partes llevada a cabo en 1998 (COP-4) en Argentina, se consolida el llamado “plan Buenos Aires” marcando la antesala para la entrada en vigor del protocolo de Kioto, del mismo modo, pretendía lograr la consolidación y acreditación de la UNFCCC, esta falta de credibilidad se iba haciendo más grande, a tal grado que para el 2001 Estados Unidos – el principal emisor de GEI – se pronunció en contra de la ratificación del protocolo, argumentando que su economía se vería severamente afectada si se mantenían adheridos al tratado. Aunque Estados Unidos no haya ratificado el protocolo, no significa que no tomara medidas para mitigar el cambio climático, basta con decir que California es uno de los estados más limpios y con políticas ambientales claramente encaminadas.

¹⁶ Los países desarrollados fueron agrupados en el Anexo I de la Convención, que incorpora a todos los miembros de la OCDE y al nuevo grupo de países con economías en transición (los ex socialistas). Los miembros de la OCDE conforman además el Anexo II de la Convención. Los pertenecientes al Anexo B del protocolo de Kioto son aquellos integrantes del anexo I o II que además hayan ratificado el protocolo. (Fernández y Martínez, 2006).

Luego de la negación de varios países a la ratificación del protocolo, fue hasta el 2004 cuando Rusia decide ratificarse, cumpliéndose la cláusula de adhesión por parte del 55% de los emisores y finalmente, noventa días después, el 16 de Febrero del 2005 entra en vigor; vinculando legalmente a las naciones adheridas al tratado, obligándolas a cumplir sus compromisos previamente pactados. Para 2007 los países que ya habían ratificado el protocolo comienzan a reportar los primeros avances tangibles, derivados de su implementación. Aunque aún quedaban varias lagunas por resolver, el protocolo de Kioto se consolida como el máximo estandarte en la lucha contra el cambio climático (Mendelsohn, 2008).

En 2009 se celebra la decimo quinta conferencia de las partes (COP-15) en Copenhague, Dinamarca, la cual fue muy polémica y problemática, existió una división entre países desarrollados y subdesarrollados, los segundos argumentaban que los esfuerzos deberían de ser mayores por parte de los desarrollados, debido a que su contribución a la emisión de GEI había sido considerablemente mayor en comparación a ellos. Finalmente, luego de los tropiezos, cuatro naciones “emergentes” y Estados Unidos– China, India, Brasil y Sudáfrica suscribieron el “acuerdo de Copenhague” que buscaba aliviar las presiones y conglomerar a más naciones.

Los dos puntos principales abordados por el acuerdo fueron: limitar la subida de la temperatura media del planeta a una barrera “segura” de 2°C , mediante la reducción de las emisiones de GEI; de igual manera buscaba implementar la creación de un “fondo verde” con el objetivo de financiar, con dinero recabado de países industrializados, proyectos que mitiguen los efectos del calentamiento global y del cambio climático en países en vías de desarrollo. Los jefes de estado pretendían movilizar iniciativas inmediatas de mitigación y adaptación, financiación, tecnología y reducción de las emisiones procedentes de la deforestación en los países en desarrollo, así como el fortalecimiento de la capacidad de carga de los ecosistemas, con el fin de cumplir con el objetivo del acuerdo (UNFCCC, 2009; Cao, 2010).

Finalmente, en el 2010 se celebra la decimo sexta conferencia de las partes (COP-16) en Cancún, México, de acuerdo a los expertos, esta es una cumbre de transición, es decir, es el marco de partida para la renegociación del protocolo de Kioto, o en un caso más extremo, es la pauta para la creación de un nuevo acuerdo de mayores compromisos, metas mejor planeadas y sobre todo con mecanismos más sólidos. En la conferencia se llegaron a varios acuerdos, todos enfocados a la reducción de emisiones mediante el

correcto manejo forestal: evitar la deforestación, promover el manejo sustentable de los bosques, crear fondos que promuevan el cuidado de los bosques, entre otros.

Es claro ver que los esfuerzos por combatir el calentamiento global han sido muchos, pero no suficientes, aún queda mucho por hacer, estamos entrando en una nueva era donde los compromisos deben asentarse de acuerdo a las posibilidades de cada nación, de tal manera que se puedan cumplir en un horizonte de tiempo razonable, con los recursos disponibles y con plena voluntad de cooperación, incentivando así la participación de más naciones, porque recordemos que este es un problema que no conoce fronteras, nos atañe a todos, no solo a unos cuantos (Barret, 2008).

2.2 Acuerdos internacionales

A continuación se analizan las características de los acuerdos internacionales relacionados con el cambio climático y sus resultados. Los tres principales son, en orden de mención: el protocolo de Kioto, el acuerdo de Copenhague y el acuerdo de Cancún.

2.2.1 Protocolo de Kioto (1997)

El protocolo de Kioto es un instrumento que compromete a los países adheridos a él a reducir sus emisiones de GEI, a través de él las Partes incluidas en el Anexo I se comprometen a lograr objetivos individuales y jurídicamente vinculantes. Sólo las Partes miembro de la Convención que también se adhieran al protocolo se ven obligadas por los compromisos suscritos. Los objetivos de reducción van de 8 a 10% del nivel de emisión registrado en 1990 en un período de compromiso comprendido entre el año 2008 y el 2012 (Cooper, 1998).

Los límites de las emisiones establecidos en de Kioto son una manera de asignar valores monetarios a la atmósfera terrestre que todos compartimos (incluir a la externalidad en el sistema de precios con el objetivo de resolverla), algo que no se había hecho hasta entonces. Las naciones que más han contribuido al calentamiento global han conseguido en general beneficios directos en forma de mayores ganancias comerciales y mejores niveles de vida, pero no han asumido la responsabilidad por los daños causados con sus emisiones en la misma proporción. Los efectos negativos del cambio climático se dejarán sentir en todo el mundo y, se prevé que las consecuencias más graves tengan lugar en los países menos adelantados, que han producido pocas emisiones .

Para compensar las consecuencias de la responsabilidad conjunta pero diferenciada, el acuerdo ofrece flexibilidad en la manera en que los países pueden cumplir sus objetivos. Por ejemplo, pueden prorratear sus emisiones aumentando los sumideros¹⁷, bien en el territorio nacional o en otros países. También pueden pagar por proyectos en el extranjero, cuya finalidad sea reducir conjuntamente el total de emisiones de GEI. El protocolo estableció una serie de mecanismos para asistir a las Partes del Anexo I en el alcance de sus objetivos nacionales de reducción de manera tal que les permita mantener la paridad entre sustentabilidad-costo-efectividad. Los tres mecanismos principales del protocolo de Kioto son el comercio de emisiones, el mecanismo de desarrollo limpio y la implementación conjunta.

Comercio de Emisiones (Emission Trading - ET)

Definido en el artículo 17, permite a los países miembros del Anexo B incrementar sus emisiones mediante la compra de una porción de las asignaciones de otra nación adherida al protocolo. En otras palabras, permitirá a los países que pueden ahorrarse algunas unidades de emisión –emisiones a las que tendrían derecho pero que no han “utilizado”– y vender este exceso de capacidad a los países que superan sus objetivos. El llamado mercado del carbono es al mismo tiempo flexible y realista. Los países que no cumplan sus compromisos podrán “comprar” el cumplimiento, pero el precio puede ser alto. Cuanto mayor sea el costo, mayor será la presión que sientan para utilizar la energía de manera más eficiente y para investigar y promover el desarrollo de fuentes alternativas de energía que tengan emisiones bajas o nulas.

Mecanismo de desarrollo limpio (Clean Development Mechanism - CDM)

Establecido en el artículo 12, ofrece un método para poder incluir a las naciones en desarrollo (Anexo II) dentro del esfuerzo global para construir sistemas de energía más limpios y eficientes. Cabe señalar que el protocolo no fija límites a las emisiones de GEI de los países en desarrollo. No obstante, éstas son cada vez mayores, sobre todo en el caso de los muy poblados, como China, India o Sudáfrica, cuya producción industrial está creciendo con rapidez.

El mecanismo para un desarrollo limpio está lleno de complicados detalles y siglas, pero en forma simplificada brinda a los países industrializados la posibilidad de pagar proyectos que reduzcan o eviten las emisiones en los países más pobres, y a cambio se les adjudican créditos que se pueden aplicar para cumplir sus propios objetivos de

¹⁷ Sumidero, de acuerdo al IPCC (2007) es todo proceso, actividad o mecanismo que detrae de la *atmósfera* un *gas de efecto invernadero*, un *aerosol*, o alguno de sus precursores.

reducción. Los países receptores se benefician de la infusión gratuita de tecnología avanzada que permite a sus fábricas o centrales eléctricas funcionar de manera más eficiente, y por lo tanto con costos más bajos y mayores beneficios. La atmósfera se ve beneficiada porque las emisiones futuras son más bajas que en ausencia de esos dispositivos.

El mecanismo para un desarrollo limpio será supervisado por una junta ejecutiva que se ha establecido ya y que ha aprobado una serie de “metodologías” para proyectos en mayor o menor escala. Para poder ser certificado, un proyecto debe ser aprobado por todas las Partes implicadas, demostrar una capacidad cuantificable y, a largo plazo, reducir las emisiones. Destacando que estas sean adicionales a las que se producirían en su ausencia.

Implementación Conjunta (Joint Implementation - JI)

La implementación conjunta es un programa previsto en el artículo 6 del protocolo, permite a los países industrializados cumplir parte de sus obligaciones de recorte de GEI pagando proyectos que reduzcan las emisiones en otros países. Los gobiernos patrocinadores recibirán créditos que podrán aplicar a sus objetivos nacionales; los Estados receptores obtendrán inversión extranjera y tecnología avanzada (pero no créditos para conseguir sus propios objetivos de emisión; deben hacerlo ellos mismos). El sistema presenta ventajas, como la flexibilidad y la eficiencia. Muchas veces es más barato realizar obras de eficiencia energética en los países en transición, y conseguir mayores recortes de las emisiones de esa manera. La atmósfera se beneficia independientemente del lugar donde ocurran estas reducciones.

El funcionamiento del mecanismo de aplicación conjunta es semejante al del “mecanismo para un desarrollo limpio” – e igualmente complicado –. Para proceder con los proyectos de aplicación conjunta, los países industrializados deben cumplir los requisitos referentes a la presentación de inventarios precisos de las emisiones de GEI y registros detallados de las “unidades” y “créditos” de emisión (pasos que son también necesarios para el comercio internacional de emisiones en el “mercado del carbono”). Si se cumplen estos requisitos, los países pueden realizar proyectos y recibir créditos a partir de 2008.

Si los países industrializados no han establecido todavía registros aprobados y sistemas de inventario de los GEI –complicados obstáculos técnicos y burocráticos que algunas naciones no han conseguido todavía superar– pueden realizar proyectos de aplicación conjunta en el contexto del proceso de “segundo nivel” que supone una mayor supervisión

internacional. Esta supervisión, puede asignarse a empresas privadas, garantizando que las emisiones se reduzcan, certificando que las reducciones se lleven a cabo.

Fortalezas y Debilidades del protocolo de Kioto

Entre las fortalezas del protocolo de Kioto se encuentra la inclusión de las disposiciones para enfoques basados en el mercado, orientados a disminuir los costos del régimen climático mundial, del mismo modo, el protocolo ofrece flexibilidad a los agentes para cumplir sus objetivos nacionales de emisión de la forma que ellos quieran, siempre y cuando operen bajo los mecanismos acordados.

Sin embargo, desde su creación, el protocolo ha sido ampliamente revisado y criticado por los expertos en la materia, puesto que a los ojos de muchos, ha dejado varias cuestiones inconclusas. Por ejemplo, no estableció la forma en la que operarían los mecanismos de mitigación como el CDM o el ET. En esa directriz, existen varias lagunas respecto a la transferencia de tecnología de países industrializados a países en vías de desarrollo, además, no restringe las emisiones de algunas economías emergentes (Stavins, 1998; Nordhaus, 1999; Victor, 2001).

Una de las primeras críticas al protocolo fue realizada por Nordhaus (1999), donde, mediante un análisis económico costo - beneficio, llegó a la conjetura que la implementación del tratado tendría una tasa de retorno de 1 a 7. Es decir, por cada siete dólares invertidos en la puesta en marcha del protocolo, sólo se vería reflejado un dólar en la mitigación, los costos serían 7 veces mayores a los beneficios.

Por otro lado Victor (2001) afirmó que el protocolo de Kioto falló, principalmente, por que la legislación internacional es pobre en cuanto a los mecanismos que sustentan los derechos de propiedad. Situación que empeora cuando el comercio de estos incluye la participación de países carentes de instituciones legales, fuertes e imparciales, como es el caso de los países en desarrollo. La problemática del protocolo indica la necesidad de pensar nuevamente sobre la efectividad de los tratados internacionales como dispositivos reguladores del comportamiento.

La crítica al protocolo es extensa, sin embargo, la mayoría converge a los mismos puntos. Entre las más citadas se encuentran las realizadas por Nordhaus (1999, 2003), Hahn (1999), Cooper (2001), Victor (2001), Grubb (2003) todos ellos afirman que Kioto ha dejado cuatro aspectos inconclusos:

1. Algunos de los principales emisores, tal es el caso de China, India, Brasil, Indonesia y Sudáfrica, entre otros, no se ven limitados en sus emisiones por su estatus de “país en vías de desarrollo”.
2. El número de países que lo han ratificado y del mismo modo se ha comprometido con los acuerdos pactados es relativamente muy pequeño. El problema de la poca participación, eventualmente, traerá como consecuencia que se generen fugas de emisiones, lo cual reducirá considerablemente la proporción costo – efectividad, así como el desempeño del tratado, presionando a las economías en desarrollo a continuar con sus sistemas de producción basados en carbón .
3. La naturaleza del comercio de emisiones está mal enfocada; y muy probablemente será inefectiva, puesto que el comercio de bonos o emisiones necesita ser entre gobiernos y no entre el sector privado .
4. El horizonte temporal del protocolo cuenta con tan solo 5 años, lo cual representa un enfoque relativamente corto para lo que es, fundamentalmente, un problema de largo plazo. Es necesario fomentar un cambio tecnológico que magnifique los efectos de los tratados en el largo plazo.

Resultados del protocolo de Kioto

El protocolo de Kioto fue el primer paso en la respuesta multilateral al cambio climático, pese a sus inconvenientes, es importante destacar tres enseñanzas principales. La primera de ellas es que el nivel de ambición sí importa. Los objetivos que se adoptaron para el primer período de compromiso eran modestos y promediaban alrededor de 5% en el caso de los países desarrollados. La segunda es que el cumplimiento de los objetivos debe ser obligatorio, ya que la mayoría de los países está lejos de cumplir los compromisos asumidos. Finalmente, la tercera lección indica que el marco multilateral debe aglomerar al mayor número de naciones en materia de emisiones (Nordhaus, 2008a).

De acuerdo con el protocolo actual, dos grandes países desarrollados, Australia y Estados Unidos, firmaron el acuerdo, pero no lo ratificaron, situación que permite eximirlos de cumplir las metas al no estar legalmente vinculados. Tampoco existen objetivos cuantitativos para los países en desarrollo. Aunque aún es demasiado pronto para entregar un veredicto final respecto de los resultados, los antecedentes recopilados a la

fecha son poco alentadores. La mayoría de los países está mal encaminada para cumplir los compromisos asumidos y, por si fuera poco, el aumento de las emisiones se ha acelerado a partir del año 2000 (IPCC, 2007b). Podemos encontrar varios ejemplos en los resultados desagregados por país expuestos a continuación¹⁸.

- Los compromisos de reducción de la **Unión Europea** son en promedio de 8%. La reducción real no supera el 2% y las proyecciones de la Agencia Europea del Medio Ambiente sugieren que las políticas actuales no cambiarán el escenario de aquí a 2010. Las emisiones del sector de transporte aumentaron 25% y aquellas provenientes de la generación de calor y electricidad, 6%. Será necesario aumentar considerablemente el suministro de energía renovable para cumplir con los objetivos de Kioto, aunque en la actualidad la UE no está haciendo las inversiones necesarias para cumplir su propia meta de 20% antes de 2020.
- El **Reino Unido** superó el objetivo que estableció en Kioto de reducir las emisiones en 12%, pero no está bien encaminado respecto al objetivo nacional de 20% respecto de los niveles de 1990. La mayor parte de esta reducción se logró antes de 2000 como resultado de las medidas de reestructuración industrial y liberalización del mercado, las cuales redundaron en el reemplazo del carbón por gas natural. No obstante, las emisiones volvieron a aumentar en 2005 y 2006 como resultado del cambio de gas natural y energía nuclear a carbón .
- En **Alemania**, las emisiones habían disminuido 17% en 2004 en comparación con 1990. La reducción refleja profundos recortes entre 1990 y 1995 tras la reunificación y la reestructuración industrial de Alemania Oriental (que explica más de 80% de la reducción total), junto con una baja en las emisiones del sector residencial.
- **España** está muy lejos de lograr los objetivos establecidos. En España, las emisiones aumentaron prácticamente 50% desde 1990 en el marco de un sólido crecimiento económico y una mayor utilización de energía generada por carbón luego de períodos de sequías.
- **Canadá** acordó un objetivo de reducción de 6% en sus emisiones, las que por el contrario aumentaron 27%, razón por la cual el país supera en alrededor de 35% el margen de su objetivo fijado en Kioto. Aunque la intensidad de los gases de efecto invernadero ha disminuido, esta mayor eficiencia se ha visto anulada por el aumento en

¹⁸ Todos los datos fueron obtenidos de la página de internet de la convención marco (UNFCCC) y de NationMaster.com. Ambas direcciones se encuentran disponibles en la bibliografía.

las emisiones generadas por la expansión de la producción de petróleo y gas. Desde 1990, las emisiones netas asociadas con las exportaciones de petróleo y gas han aumentado a más del doble.

- Las emisiones de **Japón** eran 8% superiores a los niveles de 1990 en 2005, no obstante el objetivo de reducción fijado en Kioto era de 6%. Las proyecciones basadas en la tendencia actual indican que el país se desviará de su objetivo prácticamente en 14%. A pesar de que las emisiones industriales se redujeron marginalmente desde 1990, se han registrado grandes aumentos en las emisiones generadas por el transporte (50% en el caso de vehículos de pasajeros) y el sector residencial. De hecho, las emisiones de los hogares crecieron más que la cantidad de hogares.

- **Estados Unidos** es signatario del protocolo de Kioto, pero aún no lo ha ratificado. Si lo hubiera hecho, hasta el año 2010 debería haber reducido sus emisiones en 7% respecto de los niveles de 1990. Sin embargo, las emisiones totales aumentaron 16%. Para 2010, las proyecciones indican que las emisiones superarán en 1,8 Gt los niveles de 1990, tendencia que va en aumento. Las emisiones se incrementaron en todos los sectores importantes, a pesar de la reducción de 21% en la intensidad de los gases de efecto invernadero, según las mediciones de la relación entre emisiones de carbono y PIB.

- Al igual que Estados Unidos, **Australia** no ratificó el protocolo de Kioto y en general sus emisiones aumentaron prácticamente al doble de la tasa que se le habría exigido al país en caso de haber participado en el acuerdo, con un aumento de 21% desde 1990. El alto nivel de dependencia a la energía proveniente de la quema de combustibles fósiles contribuyó a enormes aumentos en el sector de la energía, donde las emisiones de carbono crecieron más de 40% .

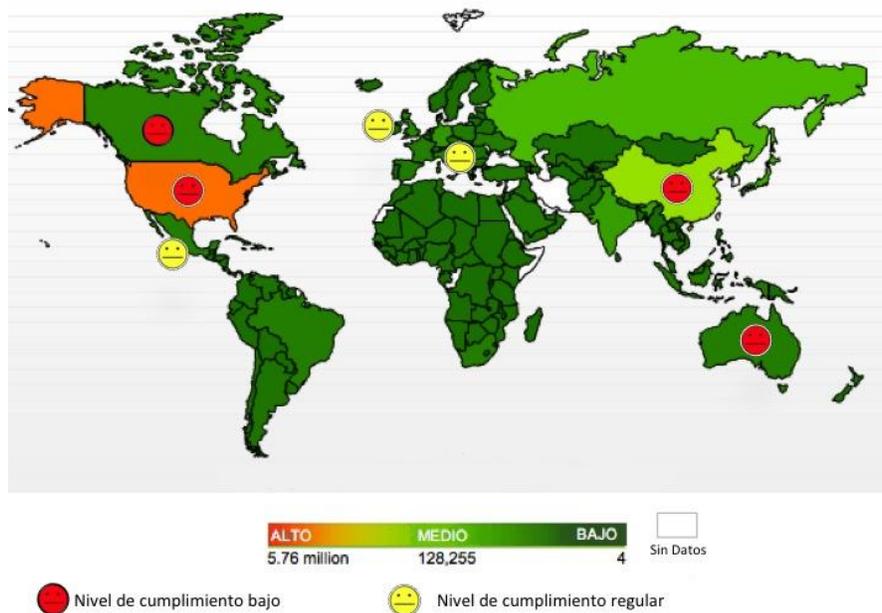


Ilustración 7 Niveles de carbono emitido y cumplimiento de los objetivos del protocolo de Kioto.
Fuente: Elaboración propia con datos de NationMaster (2011)

Recapitulando, el protocolo de Kioto ofrece un marco multilateral que fija límites a las emisiones de GEI. La meta publicitada de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero era de 5% en relación con los niveles de 1990. Si se mide en términos de emisiones mundiales agregadas, se podría afirmar que no fijó metas particularmente ambiciosas. Más aún, los topes cuantitativos no se aplicaron a los países en desarrollo. Además, la decisión de Estados Unidos y de Australia de no ratificar el protocolo limitó aún más la envergadura de las reducciones propuestas.

Desde 1990, considerado año base por el IPCC, el compromiso asumido se traduce en una reducción real de 2,5% en las emisiones vinculadas con la energía respecto de la fecha límite de 2012. El cumplimiento de las metas ha sido decepcionante. En 2004, las emisiones globales de GEI para los países del Anexo I eran 3% inferiores a los niveles de 1990. No obstante, la cifra oculta dos problemas de gran importancia. En primer lugar, desde 1999 las emisiones generales han seguido una trayectoria ascendente, situación que plantea interrogantes respecto de si será posible cumplir la meta global. En segundo lugar, hay grandes variaciones en el desempeño de los países tal como se observa en los resultados anteriormente citados.

Gran parte de la reducción global se debe a enormes reducciones en las emisiones de la federación de Rusia y otras economías en transición (en algunos casos superiores a 30%), resultado que se explica más por efectos de las profundas recesiones económicas en la década de los noventa que por modificaciones en las políticas ambientales. En efecto, la reciente recuperación económica trajo consigo aumentos en las emisiones. Como grupo, los países del Anexo I (principalmente aquellos pertenecientes a la OCDE) han aumentado sus emisiones de gases de efecto invernadero en 11% entre 1990 y 2004 (IPCC, 2007b).

2.2.2 Acuerdo Copenhague (2009)

El acuerdo de Copenhague fue tomado por cuatro países en desarrollo (China, India, Brasil y Sudáfrica) y los Estados Unidos en diciembre de hace dos años, fue comunicado y aceptado posteriormente por la Unión Europea. El texto, no vincula a sus agremiados legalmente, no contiene objetivos cuantitativos ni plazos de cumplimiento (puesto que no prolonga el protocolo de Kioto), a la fecha ha sido criticado por numerosos gobiernos y organizaciones como un rotundo fracaso¹⁹.

El objetivo del acuerdo fue pensado en un principio como "la conclusión de un acuerdo jurídicamente vinculante sobre el clima, válido en todo el mundo, que se aplica a partir de 2012". Debía preparar a los gobiernos para el período post-Kioto. Sin embargo, la versión final del acuerdo incluye aspectos de gran relevancia, aunque con las limitantes antedichas.

Primero, los países se comprometieron a informar y orientar su reducción de emisiones respecto a las que presentaron en la cumbre, siempre respetando la soberanía nacional. En otras palabras, nadie puede auditar lo que cada país reporta. Segundo, el acuerdo mantiene el objetivo de que la temperatura global no suba más de dos grados centígrados. Sobre cuándo las emisiones deberán alcanzar su máximo solo se dice que "lo antes posible" y no se establecen objetivos para 2050. Tampoco se ha incluido la recomendación del IPCC de que las emisiones de los países desarrollados deberían reducirse para 2020 entre un 25% y un 40% sobre el nivel que tenían en 1990.

El pacto alcanzado no resultó ser oficial, para ello debió haber sido aprobado por unanimidad, cosa que no se logró. Empero, como varios mandatarios comentaron, "al

¹⁹ Los principales críticos fueron España y Suecia y algunas organizaciones ambientalistas como Green Peace, los vínculos a las notas periodísticas se encuentran en la bibliografía.

menos” es un avance en materia de acuerdos. Las Partes quedaron que, al año siguiente, en Cancún, tratarían de recuperar las propuestas para poder llegar al anhelado protocolo vinculante que regule la nueva era (Cao, 2010).

2.2.3 Acuerdo de Cancún (2010)

El acuerdo generado en la COP-16 celebrada en Cancún, México, arrojó resultados prometedores, luego de que un año atrás en Copenhague no se llegaron a acuerdos vinculantes que prolongaran la vigencia del protocolo de Kioto, en esta ocasión 193 países asistentes firmaron el acuerdo (a excepción de Bolivia), logrando grandes avances en materia de mitigación y adaptación al cambio climático. A continuación se enlistan los principales puntos contenidos en el acuerdo de Cancún.

1. Se crea un Fondo Verde Climático que contará con un consejo de veinticuatro países miembros de la UNFCCC. Incorporando al compromiso de proporcionar 30.000 millones de dólares de financiación rápida para el período 2008-2012. Además, se reconoce la necesidad de "movilizar 100.000 millones de dólares por año a partir de 2020 para atender las necesidades de los países en desarrollo".
2. Los países acordaron elevar el nivel de ambición en la reducción de emisiones de GEI, y proponen que los países con vínculo jurídico con ese protocolo deberían en 2020 reducir sus emisiones en un rango entre el 25 y el 40% en relación a los niveles de 1990.
3. Los países decidieron aplazar la decisión sobre si habrá o no una segunda fase del Protocolo de Kioto. El documento final pide adoptar "tan pronto como sea posible" una decisión sobre compromisos para una segunda fase pudiendo así garantizar que no habrá una brecha entre el primer y el segundo período de compromisos.
4. Cancún incorpora los compromisos de todos los países en materia de reducción de emisiones al proceso de negociaciones de Naciones Unidas, lo que vincula el Acuerdo de Copenhague a la UNFCCC.
5. Se decidió crear un Marco de Adaptación que pretende potenciar el modo en que se hace frente a los desastres naturales desde la Convención Marco, así como un Comité de Adaptación que proporcionará apoyo técnico.
6. El texto incluye en la Convención la decisión tomada hace un año que establecía una meta climática de un aumento de 2 grados centígrados respecto a niveles

preindustriales para el presente siglo. Sin embargo señala la necesidad de considerar el fortalecimiento del objetivo global a largo plazo, a la luz de la evidencia científica, incluida la posibilidad de bajarla a 1.5 grados.

7. También se alcanzó un compromiso para que, lo antes posible, se fije una fecha para establecer un máximo de emisiones, misma que se pondrá a consideración de la próxima Conferencia climática de 2011 en Durban, Sudáfrica.
8. En transparencia los países decidieron que las acciones de mitigación con apoyo internacional serán sometidas a medición, reporte y verificación "doméstica" e "internacionalmente". Además habrá Consultas y Análisis Internacional "de manera no intrusiva, ni punitiva, y respetuosa de la soberanía nacional" que realizarán expertos.
9. En cuanto al mecanismo de reducción de emisiones por deforestación y degradación de los bosques el acuerdo establece que habrá actividades en ambas áreas, para conservar los bosques, desarrolladas en fases.
10. Se establece un mecanismo de tecnología así como una Red y un Centro de Tecnología Climática encargado de identificar la tecnología más adecuada que podría ser proporcionada a los países que la requieran.

2.3 La era post Kioto, la nueva era

Queda claro que el protocolo de Kioto y los acuerdos posteriores, Copenhague y Cancún, son solamente un instrumento más en la mitigación de los efectos del cambio climático y no representan la panacea del mismo (Aldy, 2010). Hoy en día el tratado de Kioto se encuentra en la antesala del fin, mientras que los otros dos acuerdos no cuentan con la contundencia necesaria para abatir el problema. Aunque es un gran avance, se deben replantear los mecanismos, modificar la estructura de las políticas, teniendo siempre en cuenta una visión orientada al desarrollo sustentable (Victor, 2007).

El término del actual período de vigencia de los compromisos del protocolo de Kioto en 2012 crea una oportunidad para avanzar con anticipación en la mitigación del cambio climático. En el apartado anterior planteamos la necesidad de establecer un marco multilateral que esté dirigido hacia la formulación de metas claramente definidas para el

presupuesto mundial del carbono. Un marco de esta naturaleza deberá combinar metas de largo plazo (una reducción de 50% en los niveles de emisiones de GEI hasta el año 2050 en relación con los niveles de 1990) con metas de rendimiento a mediano plazo establecidas para los períodos sucesivos del compromiso. El marco multilateral también deberá ofrecer orientación práctica para la aplicación del principio de responsabilidad común pero diferenciada e identificar rumbos amplios para los países desarrollados y en desarrollo (Harstad, 2008).

Uno de los principios básicos posterior a 2012 es la fijación de presupuestos nacionales de carbono. Lo que en esencia hacen estos presupuestos es establecer el límite a la cantidad total de emisiones de GEI durante un período de tiempo determinado. Al fijar un presupuesto renovable en períodos de, tres a siete años, los gobiernos pueden conseguir un equilibrio entre la certeza necesaria para cumplir las metas nacionales y globales de reducción de emisiones y la variación anual que dependerá de las fluctuaciones del crecimiento económico, los precios de los combustibles o el clima. Desde el punto de vista de la mitigación, lo verdaderamente importante es la tendencia de las emisiones en el tiempo más que las variaciones anuales (Jaffe, 2010).

En el contexto del cambio climático, la incertidumbre podría transformarse en un obstáculo para la mitigación eficaz de las emisiones. En cualquier democracia, es casi imposible que un gobierno pueda obligar de manera definitiva a sus sucesores a cumplir políticas específicas de mitigación (Stavins, 1997). Sin embargo, incorporar los compromisos multilaterales a la legislación nacional a objeto de cumplir metas de largo plazo es fundamental para asegurar la continuidad de las políticas. Los presupuestos nacionales del carbono también representan unos de los principios básicos de los acuerdos internacionales. Los acuerdos multilaterales, para que sean efectivos, deberán establecerse en base a compromisos compartidos y a la transparencia.

La proliferación de tentativas para fijar metas ha producido algunos resultados destacables. El mismo protocolo de Kioto representa un ejercicio de definición de límites nacionales asociados a metas internacionales de mitigación. La mayoría de los países de la OCDE, a excepción de Australia y Estados Unidos, se han comprometido a cumplir las metas de reducción de emisiones entre 2008 y 2012 en relación con las de 1990. Muchos de estos países incluso se han comprometido a alcanzar metas mayores.

Si bien las metas planteadas son un avance, no representan mas que quimeras, puesto que las herramientas disponibles a la fecha carecen de contundencia, necesaria para

llevar los objetivos a buen puerto (Nordhaus, 2008b). Por ello, los críticos proponen una serie de mecanismos que complementen o reemplacen a los acuerdos ya creados.

Victor (2001) hace referencia a cuatro métodos que, de ser implementados, compensarían las fallas del protocolo de Kioto, o bien podrían sentar las bases para un nuevo acuerdo multilateral legalmente vinculante. El primer mecanismo es llamado “topes y comercio” (**cap and trade**), pretende fijar objetivos medibles en cuanto a las emisiones, del mismo modo pueden salir al mercado para determinar el costo de conseguir esos objetivos. El segundo, denominado “impuesto al carbono” (**carbon tax**) como su nombre lo indica, consiste en aplicar un gravamen, sea ad valorem o específico, al contenido de carbono de los productos internalizando la externalidad y asignándole un precio de mercado. Tercero, llamado “orden y control” (**command & control**) hace énfasis en el papel del gobierno donde su consentimiento permite la intervención directa de las decisiones de las firmas y de los hogares, mediante métodos de convencimiento los conduce a cambiar su comportamiento. Finalmente, la cuarta alternativa podría ser un sistema híbrido, el cual puede compilar varias estrategias, obteniendo una sinergia que reduzca de manera más efectiva las emisiones de GEI (Cooper, 2008).

Cabe señalar que, aunque las medidas anteriores no se encuentran contempladas en ningún acuerdo oficial, han sido ampliamente aceptadas por varios países, principalmente por el bajo costo de implementación en comparación con las medidas oficiales. La herramienta más utilizada a la fecha es el impuesto a las emisiones de carbono, principalmente por ser un gravamen fácilmente recaudable y no necesita de grandes inversiones para echarlo a andar (Pearce, 1991; Poterba, 1991; Ekins, 2001; Victor, 2001, 2007). La siguiente sección detalla sus características y relata la evidencia empírica surgida en los países que lo han implementado.

2.3.1 Los impuestos al carbono

Considerando que aún no se cuenta con la infraestructura necesaria para que los mecanismos planteados en el protocolo de Kioto sean explotados de manera adecuada, una solución simple, sería la implementación de un impuesto sobre las emisiones de carbono. Este gravamen medioambiental pretende limitar su uso (Lackner, 2005). La imposición desalienta las emisiones de contaminantes, haciendo pagar a los contaminadores en proporción a sus emisiones (O'Connor, 1997). El impacto del impuesto

sobre los productos finales aumenta sus precios en proporción a las emisiones que ha provocado su producción, promoviendo el consumo de los productos que hayan inducido menos carbono en su fabricación. Un aumento gradual y planificado del impuesto puede ayudar a orientar las inversiones a largo plazo, dejando tiempo suficiente a los consumidores y a las empresas para adaptarse (Ahmad, 2003).

Entre los instrumentos de la política ambiental, los impuestos ambientales se consideran medioambientalmente efectivos, y eficientes económicamente. La OCDE ha apoyado un uso consistente de estos instrumentos y ha realizado un análisis de su implementación. El Sexto Programa comunitario de acción en materia de Medio Ambiente, aprobado en el año 2002, recomienda el uso de instrumentos económicos (fiscalidad energética, impuestos sobre los recursos y, productos y procesos intensivos en residuos) para mitigar el cambio climático y promover un uso sostenible de los recursos.

Se han conformado modelos nuevos a fin de explorar la cuestión de los impuestos al carbono y prevenir el calentamiento mundial. Una comparación de muchos de estos modelos se presenta en Goulder (1995). Todos ellos estiman el efecto económico de la creación de un impuesto a las emisiones carbónicas.

La evidencia empírica es variada así como extensa, a continuación se rescatan los pormenores más relevantes por país asociados a la implementación de un impuesto a los contenidos de carbono.

Canadá

Estableció en julio de 2009 un impuesto sobre el carbono de 15 dólares canadienses (\$CAN) (alrededor de 160 pesos) por tonelada que irá aumentando gradualmente 5 \$CAN cada año hasta los 18 \$CAN, en 2012. La tarifa se aplica a la importación o al uso de combustibles fósiles en el territorio de la provincia. El impuesto sobre el carbono es progresivo y el gobierno provincial se ha comprometido a reducir los impuestos en una cantidad igual a la cantidad del impuesto sobre el carbono. Para que este impuesto sea aceptado, la provincia se ha centrado en los beneficios de los recortes de impuestos que causa la redistribución.

Dinamarca

La tasa danesa, creada en 1992, es un ejemplo de la aplicación del concepto de impuesto sobre el carbono realmente modulado. El impuesto se aplica a todos (gobiernos, empresas, hogares) y se basa en la cantidad de combustible y electricidad consumidos. El impuesto se regula según el nivel de emisión de carbono de los productos gravados. La

tasa ascienda a 10 dólares por tonelada (en promedio), con tasas reducidas para algunas industrias. Gracias a ese impuesto, las emisiones de carbono se han reducido en un 15% entre 1990 y 2005, a pesar de que el crecimiento económico ha sido uno de los mas fuertes de los países desarrollados durante aquellos años.

Los ingresos del impuesto han sido utilizados para subsidios a las industrias para que inviertan en tecnologías ecológicas. Ese mecanismo ha incitado a las industrias a adaptarse a energías renovables y desarrollar innovaciones. Esta evolución ha sido favorecida por la intervención financiera masiva del gobierno para promover energías renovables, permitiendo una transición rápida de las industrias del carbón hacia las energías verdes.

Finlandia

Finlandia fue el primer país del mundo en introducir un impuesto sobre el carbono en 1990. Es una tasa ecológica que se suma a los impuestos normales sobre la energía. En 2008, la tasa ascendía a 27 dlls por tonelada de carbono. Se aplica tasas normales al petróleo y carburantes de transporte (gasolina, queroseno, diésel), a los combustibles de calefacción y al carbón. Hay una tasa reducida para el gas natural. Desde 1997, no se aplica la tasa sobre la producción sino sobre el consumo de electricidad, con una tasa reducida para las industrias, preservando su competitividad.

Francia

El impuesto sobre el carbono, también conocido como contribución a la clima - energía, aparece en los compromisos asumidos en sus encuentros sobre el medio ambiente. En 2009 todavía estaba en estudio, y se preveía su entrada en vigor para el 2011, sin embargo la ley se ha pospuesto hasta nuevo aviso. El impuesto inicialmente fue fijado en 24 dlls/tonelada de carbono. Será gradual y debería cubrir el 70% de las emisiones de Francia y ayudar a recaudar 4.3 millones de euros al año para ser colocado en un fondo autónomo gestionado por una comisión independiente de vigilancia de los impuestos ecológicos.

Suecia

El impuesto fue introducido en 1991 y se estableció inicialmente en 38 dlls por tonelada. Es un impuesto según la cantidad de combustible consumido (petróleo, gas natural y carbón). La reforma fue introducida en paralelo a la reducción de otros impuestos sobre el consumo de combustible para que los precios al consumidor no variaran.

Todos los impuestos sobre el medio ambiente de Suecia en 2005 representaron el 2,9% del PIB. El aumento regular de la tasa hizo que en octubre de 2009, éste se situaba en los 150 dólares. El efecto principal de la tasa ha sido el uso creciente de las energías renovables, gracias a las exenciones para ese tipo de energía. Hoy esas nuevas fuentes energéticas representan la mitad de la producción total de energía para la calefacción. También la tasa permitió al país reducir sus emisiones de carbono en un 9% desde la creación del impuesto.

Suiza

Suiza introdujo un impuesto sobre el carbono en 2008. El impuesto se aplica a los combustibles fósiles utilizados con fines energéticos, como el carbón para calefacción o el gas natural. Combustibles como la gasolina y el diésel no se ven afectados por el impuesto. Existen exenciones a las empresas que se comprometen a reducir sus emisiones. La cuota es una cantidad de 12 francos por tonelada de carbono (10 dls) en 2008, 24 francos (22.5 dls) en 2009 y 36 francos (34 dls) en enero de 2010.

2.3.2 Implicación de las nuevas políticas en el comercio

A lo largo de este apartado vamos a analizar una serie de cuestiones desde una perspectiva fundamentalmente teórica acerca de la relaciones entre el comercio y el medio ambiente, se presentará la forma en que la protección al ambiente a través de políticas medioambientales puede incidir en el comercio internacional, afectando las relaciones multilaterales. Este apartado es el principal argumento que provee de sustento a nuestra investigación, los impactos potenciales, desde una perspectiva práctica, derivados de la aplicación de un arancel ecológico a México se discutirán en el Capítulo IV.

Uno de los principales trabajos teóricos realizados sobre política medioambiental, es el de Baumol y Oates (1975), en el que se abordan diferentes aspectos de la relación objeto de estudio. El primer tema al que se hace referencia es el de cómo afecta la política medioambiental al comercio internacional en el caso de contaminación nacional. Para ello se parte de un modelo en el que existen 2 países, unos más rico y otro más pobre, que producen un bien que genera contaminación, pretendiendo examinar los efectos a largo plazo de una situación en la que un país adopta medidas para combatir esa contaminación, mientras que el otro decide no adoptarlas. El resultado al que se llega es

que el país que no introduce la política medioambiental mejora su ventaja comparativa en el bien contaminante, lo que le llevaría a mejorar su balanza comercial como resultado de su especialización en ese bien, a costa de convertirse en sumidero internacional de la contaminación generada al producirlo.

Continuando con el análisis, retomamos el tema de la contaminación transnacional, estudiando cuál sería la eficacia de distintas medidas de política medioambiental a la hora de combatirla. Para ello planteamos un modelo teórico internacional en el que existen dos países; la conclusión que obtenemos es que cuando estamos en presencia de contaminación transnacional que no se regula de forma colectiva (por los países contaminantes y los afectados conjuntamente), la no aplicación de aranceles a la importación del bien que provoca la externalidad es un resultado no óptimo, lo que nos lleva a proponer que el arancel impuesto en estas circunstancias debe ser superior para que el país importador maximice sus ganancias del comercio internacional.

La idea es que si un país que genera contaminación transnacional no se aviene a llegar a algún acuerdo internacional para reducirla, los países importadores, por medio de un arancel sobre las importaciones procedentes del país contaminador, pueden ejercer una presión sobre él, mediante una caída en el volumen de sus exportaciones, que podría llevar al país contaminante a reducir esa polución, siempre que el coste de reducirla sea menor que el valor de las importaciones perdidas: de ahí la importancia de que la cantidad de países importadores (y el volumen de sus importaciones sea lo mayor posible) (Ahmad (2003).

Por otro lado, a diferencia de los aranceles meramente proteccionistas, que distorsionan el comercio internacional, perjudicando el bienestar mundial (aunque beneficien al país que los aplica), un arancel ecológico, a través de la eliminación o reducción de la externalidad producida, mejora el bienestar mundial (Baumol y Oates, 1975). El problema está en que las barreras comerciales de tipo ecológico (sean arancelarias o no) no se conviertan al final en un simple elemento proteccionista más.

Si el precio internacional del bien contaminante se incrementara (por la aplicación de un impuesto ecológico sobre ese bien), el bienestar de una economía pequeña exportadora mejoraría, al ver mejorada su relación real de intercambio, si bien debería aplicar ella también un impuesto sobre la producción del bien contaminante. En cuanto a los países importadores, en estas circunstancias, su bienestar se vería empeorado, pero con dos salvedades que pueden llevar a un cambio favorable de la situación ambiental que mejore

el bienestar: que la producción de ese bien se reduzca en beneficio de la de productos menos contaminantes o que existan otros sectores más contaminantes que el del bien mencionado, en cuyo caso la reasignación de factores hacia este sector puede mejorar el medio ambiente lo bastante como para comenzar el previsible empeoramiento de la relación real de intercambio.

Así, cuando un país limite las importaciones procedentes de otro país que está causando daños en su medio natural, los efectos de mejora del medio ambiente que cabe esperar son relativamente pequeños (dependerá del tamaño del otro país y del volumen relativo de las importaciones del país restrictor respecto al total de la importaciones), pudiendo obtenerse cierta mejora en la relación de intercambio, pero a cambio de una caída en el bienestar a nivel mundial²⁰ (Fernández-Bolaños, 2002).

Como cuando se llevan a cabo este tipo de medidas de protección del medio ambiente (sean del tipo que sean: impuestos, mercados de permisos, restricciones a importaciones o exportaciones, subvenciones, etc.) se suelen generar beneficios para algunos países (ya sea por mejoras en su relación real de intercambio o por ingresos fiscales) y pérdidas para otros (en principio, quienes causan la contaminación), siempre cabría pensar en la posibilidad de que, con las ganancias obtenidas, los primeros países compensen a los segundos, si bien, como ya hemos mencionado antes, esto podría incentivar la actividad contaminante, pues los países que la generan podrían percibir las indemnizaciones como incentivos a contaminar más (Fernández-Bolaños, 2002).

Hasta ahora hemos analizado un conjunto de consideraciones generales acerca de los efectos de utilizar la política comercial u otro tipo de instrumentos para mejorar el bienestar económico y ambiental a nivel mundial, llegando a la conclusión de que las medidas proteccionistas son contraproducentes desde una perspectiva teórica, aunque en ocasiones se terminan convirtiendo en la única alternativa válida en la práctica. Sin embargo, parecería más deseable que se adoptase medidas internas por parte de los países contaminantes, acompañadas de posibles compensaciones entre países, siempre en el marco del mayor grado posible de cooperación o coordinación de políticas ambientales en el ámbito internacional, pues esto minimiza los posibles efectos adversos sobre la relación real de intercambio de estas medidas.

²⁰ Siempre que el país contaminador no le corresponda con la misma moneda, es decir, limite las importaciones del país que inicialmente limitó las suyas, lo que podría llevar a una "guerra proteccionista" que limitaría seriamente el bienestar en ambos países, tanto más cuanto más necesarios sean los productos importados para la economía (productiva o consuntiva) de cada uno de los dos países.



Ilustración 8 Diagrama del efecto de un impuesto al carbono. Elaboración propia a partir de Baumol y Oates (1975).

Pensando en el período después de 2012, el desafío es forjar un acuerdo internacional que comprometa a los países emisores más importantes en un esfuerzo a largo plazo destinado a lograr un presupuesto sostenible de carbono para el siglo XXI. Este deberá contemplar horizontes de tiempo mucho más largos para las autoridades a cargo de formular políticas e incluir períodos de compromiso a corto plazo asociados con metas de mediano y largo plazo (Nordhaus, 2008a).

Las reducciones de los países en desarrollo podrían facilitarse mediante disposiciones en materia de transferencias financieras y tecnológicas. Cambiar el rumbo exigirá dar un vuelco trascendental en los patrones de utilización de la energía, tal como la revolución energética lo hizo en su momento con la revolución industrial.

La creciente preocupación sobre el cambio climático ha llevado a que la comunidad internacional realice, poco a poco, iniciativas para enfrentarlo. Lo cual ha ocurrido en varias etapas que se inician con la integración de la evidencia científica y han llegado al establecimiento de obligaciones de reducción de emisiones de GEI para los países más desarrollados, así como iniciativas de cooperación en países subdesarrollados. Estos compromisos, han sido plasmados en varios acuerdos a lo largo de las últimas tres décadas destacando el protocolo de Kioto (1997), el acuerdo de Copenhague (2009) y el acuerdo de Cancún (2010).

Los nuevos instrumentos para corregir las externalidades generadas por el cambio climático podrían ser, (siempre que un acuerdo cooperativo de otro tipo no fuera posible), bien el gravamen de la exportación de bienes causantes de emisiones contaminantes (con lo que se encarecerían en el mercado internacional y se incentivaría a las empresas productoras a contaminar menos), bien la puesta en marcha de mercados de permisos para estas sustancias (en el que la participación de cada país en el mecanismo se podría realizar en función del peso relativo en la exportación del producto causante de la contaminación).

Capítulo III

México y el cambio climático

México contribuye con cerca de 1.5% de las emisiones mundiales de GEI, representando el décimo²¹ país que emite más dióxido de carbono, por quema de combustibles fósiles, a la atmósfera del planeta. De seguir la tendencia actual del consumo de energía, y en un escenario de crecimiento de 5.0%, se estima que para el año 2020, México estará emitiendo cerca del doble de lo actual (SENER, 2010).

El presente capítulo tiene por objetivo presentar una evaluación general de los impactos del cambio climático al interior de la república mexicana, así como las acciones y propuestas llevadas a cabo para mitigar sus efectos.

La primera sección alude a una revisión del desarrollo acontecido en el país durante la segunda mitad del siglo pasado, analizando la forma de crecimiento que forjó las bases de la industria que tenemos hoy en día. Enseguida, se analiza la vulnerabilidad latente ante el cambio climático, en dos aspectos: físico y económico. En congruencia con el capítulo I, primero se establecen las regiones y sus respectivos riesgos latentes, posteriormente se enuncian las principales afectaciones por cada una de las cinco áreas principales: ecosistemas, agua, asentamientos humanos, alimentación y salud.

En la tercera sección, se revisan las propuestas de mitigación y adaptación desarrolladas por el Estado desde que el calentamiento global comenzó a ser considerado como una circunstancia atenuante del desarrollo sostenible. Finalmente, se analizan los sectores clave de la economía mexicana – los más intensivos en el uso de energéticos – y se presenta un compilado de propuestas a favor de una imposición tributaria sobre las emisiones de carbono como solución a la externalidad que representa.

²¹ Representa el décimo lugar según las estadísticas de Nation Master (2011). La referencia a su página de internet se sitúa en la bibliografía.

3.1 Industrialización y consumo energético

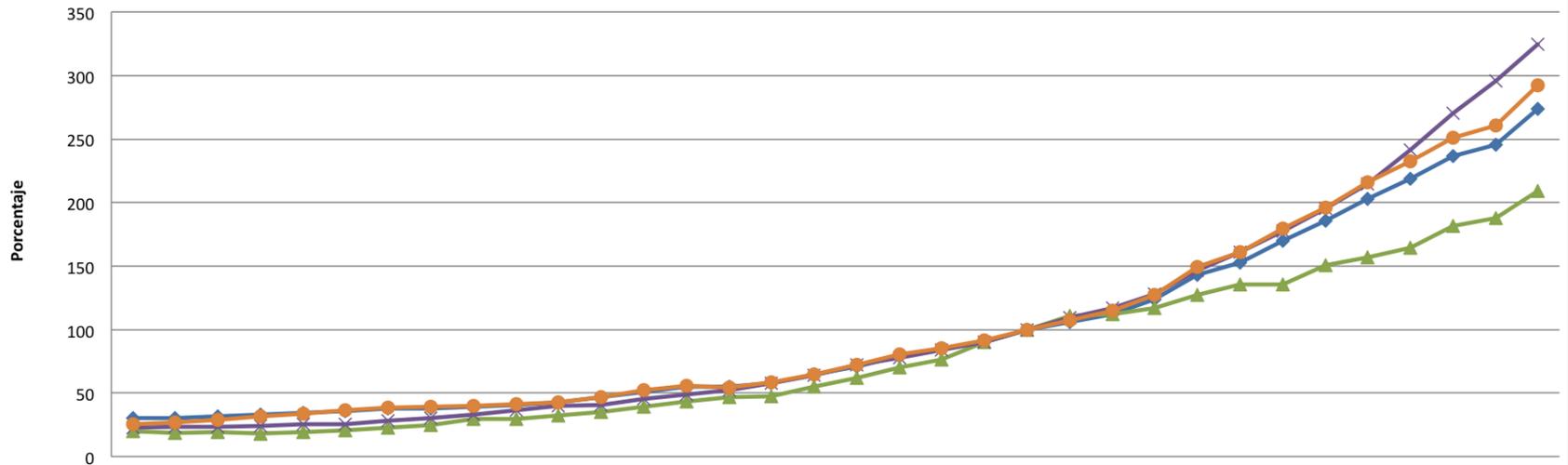
En los pasados 30 años México dejó de ser una economía cerrada, orientada hacia adentro, para convertirse en una de las economías más abiertas del mundo, iniciando un esquema de política económica para fomentar el comercio (Gracida, 2004). En los comienzos de la industrialización el motor de crecimiento era la sustitución de importaciones, había gran intervención estatal en la producción, además, se procuraba la protección de la industria nacional por medio de altos aranceles para las importaciones y subsidios para los factores de producción principales, como los energéticos y el capital (Cordera, 1985). Con este escenario, México se consolidó como un importante productor y exportador de petróleo, creando una dependencia hacia este insumo como fuente de energía primaria, así como de ingresos.

A partir de los años treinta, presionada por la crisis de 1929 a 1933 y el inicio de la segunda guerra mundial, la economía mexicana acelera su proceso transformador: supera el viejo modelo de economía exportadora y ocurren una serie de cambios estructurales. En respuesta a la brusca contracción del sector externo, el eje de acumulación acelera su tránsito de las actividades agromineras de exportación hacia las ramas productivas asentadas en la energía del mercado nacional, donde la industria desempeña un papel cada vez más significativo. Es durante estos años que se internaliza el proceso de crecimiento (Gracida, 1994), trayendo la impronta de los procesos de industrialización y urbanización y una abrupta transición hacia los usos de la energía de intensa generación de emisiones.

Analizando las tendencias más recientes, puede verse que las intensidades energética y de emisión disminuyeron entre 1989 y 2000, pero luego repuntaron en 2003 y 2004 (INE – SEMARNAT, 2006; SENER, 2006). Si el desarrollo económico continúa conforme a los actuales índices de crecimiento del PIB, el nivel de las emisiones se duplicará para 2030; pero si se logran índices de crecimiento más altos (entre 5 y 6% anual), el volumen de emisiones podría fácilmente duplicarse en tan solo 10 años (Masera y Sheinbaum, 2004).

Índice de volumen de producción

1993 = 100



	1939	1940	1941	1942	1943	1944	1945	1946	1947	1948	1949	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972
◆ Total General	30.3	30.2	31.6	33.3	34.7	35.7	38.1	38.1	39.3	40.4	42.4	46.7	51	55.1	54.8	57.7	64.5	70.9	78.9	84.6	90.3	100	106.1	112.4	123.8	143.4	152.8	169.8	185.4	202.6	218.8	236.7	245.7	273.9
▲ Total Petrolífero	19.8	18.3	19.4	18.2	19.5	20.7	22.7	25	29.3	29.4	32.1	34.9	39.3	43.3	46.6	47.6	55.2	61.9	69.9	76.2	90	100	110.7	111.9	117.1	127.3	135.2	135.6	150.5	157.1	164.2	181.9	187.9	208.8
✕ Electricidad	22.8	23.3	23.2	24.1	25.2	25.3	28.2	30.5	33.1	36.5	39.8	40.7	45.2	49.1	52.4	57.8	64	72	77.7	83.7	89.9	100	109.5	116.6	127.8	146.8	160.8	177.4	195.5	214.9	241.5	270.5	295.4	324.6
● Total Manufactura	25.4	27	28.8	31.7	33.4	36.5	38.6	39.3	39.7	41.3	42.8	46.8	52	55.9	54.7	58.7	64.8	71.9	80.4	85.2	91.7	100	107.3	114.7	127.2	149.2	160.7	179.7	195.7	215.9	232.5	251.1	260.9	292.5

Ilustración 9 Elaboración a partir de datos de NAFINSA (1978)

En la ilustración 1 se aprecia que el crecimiento de la producción se acelera, en especial el sector eléctrico y el manufacturero. Dentro del sector industrial fue notable el desarrollo de la industria química y petroquímica que era base de innumerables productos de consumo tales como textiles, fertilizantes para la agricultura y plásticos. El subsidio a los precios de los energéticos fósiles contribuyó directamente a la industrialización y al aumento de la intensidad energética de la economía mexicana (Tello 2007). La combinación de ambos factores dio como resultado una matriz energética²² altamente intensiva en carbono.

La ilustración 2 muestra - en materia de energía - la producción doméstica, el consumo interno, las exportaciones e importaciones del país a lo largo del periodo 1965-2010. Donde la evolución del suministro total de energía es, casi en su totalidad, dominada por la producción doméstica.

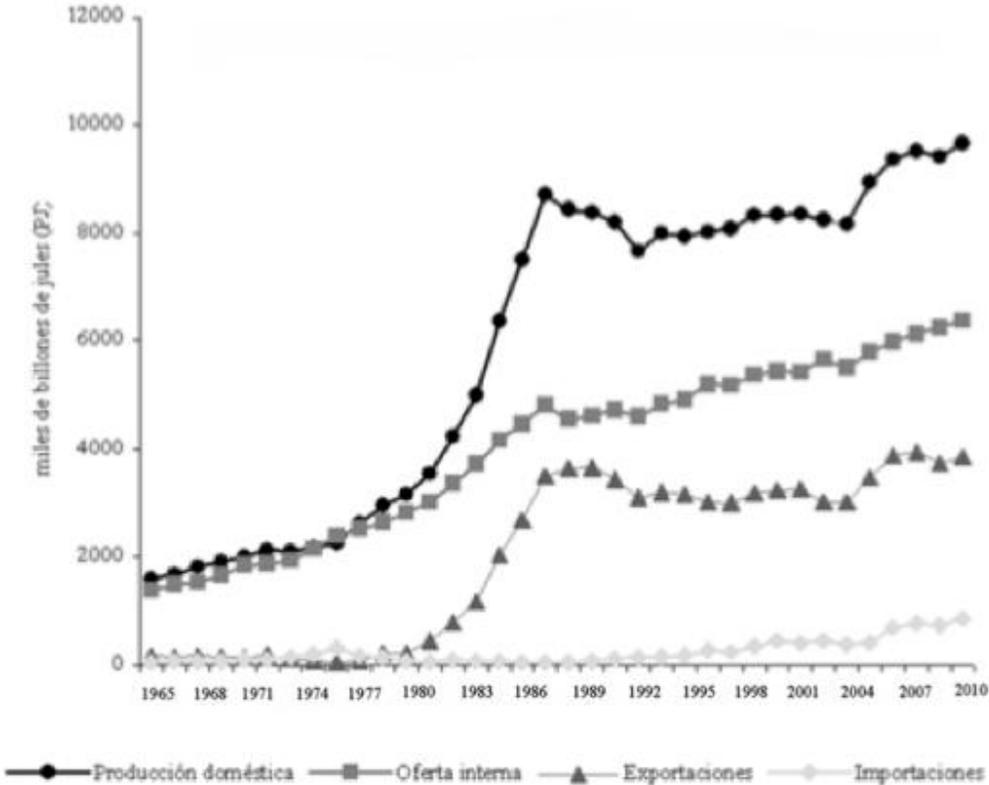


Ilustración 10 Producción doméstica, oferta interna, exportaciones e importaciones de energía en México. Elaborado a partir de datos de Quintanilla (2004).

²² De acuerdo con la SENER (2008) la matriz energética es aquella donde se registran las diferentes fuentes energéticas de un país. Su método de producción, efectividad, destino y tipo de uso.

Se puede apreciar la tendencia a la baja de la intensidad energética a partir de 1990, de acuerdo a Aguayo (2010) esto responde a cuatro factores que han coincidido. En primer lugar, entre 1965 y 1981 el índice de crecimiento anual del consumo de energía era ligeramente superior al del PIB (entre 6 y 7.6% anual), lo cual daba cuenta de la creciente importancia de las industrias con uso intensivo de energía, para 1980 las industrias con altas demandas energéticas ya estaban establecidas, lo que significa que su demanda de energía por unidad adicional de producción comenzaba a descender, mientras tanto se hacían nuevas inversiones en actividades con índices más bajos de energía, tal es el caso del sector servicios.

En segundo lugar, posterior a la crisis de 1982 la economía viró a un curso de crecimiento más lento en comparación con las décadas anteriores. El crecimiento del PIB cayó a 3.5% anual, impidiendo la expansión de la demanda energética. En tercer lugar, el proceso de liberación económica acontecido en la década de los ochenta sumada a un contexto de demanda interna restringida ocasionaron un incremento en la competencia del mercado como una estrechez financiera. Desencadenando cambios técnicos y estructurales que tuvieron lugar a nivel de fábricas y en todo el sector productivo. Finalmente, la reducción del consumo energético puede explicarse por cambios estructurales, técnicos y de comercio. De acuerdo a Aroche (2000) y Jenkins (2001) la evidencia hace pensar que la liberalización ha beneficiado al medio ambiente y que la economía se ha especializado en industrias menos contaminantes.

En el año 2010, la producción doméstica de energía primaria por fuente se estructuró: petróleo crudo y condensados, 69.87%; gas asociado y no asociado, 19.11%; carbón, 2.35%; nuclear, 0.93%; hidráulica, 3.56%; geotermia, 0.64%; bagazo de caña, 0.91%, y leña, 2.63%. La producción doméstica de hidrocarburos (petróleo crudo y gas) representó 88.98% de la producción total doméstica de energía primaria y la mayor emisora

Las importaciones de energía primaria fueron sólo de carbón, y las de energía secundaria fueron: coque, 1.94%; gas licuado, 19.42%; gasolinas, 19.71%; querosinas, 0.99%; diesel, 6.73%; combustóleo, 31.60%; gas natural, 11.65%, y electricidad, 0.45%. En cuanto a las exportaciones de energía primaria, 99.99% correspondieron a petróleo crudo y el resto a carbón. Respecto a la energía secundaria su estructura fue la siguiente: gas licuado, 3.35%; gasolinas, 57.79%; querosinas, 3.34%; diesel, 4.12%; combustóleo, 21.44%; productos no energéticos, 5.82%; gas natural, 3.83%, y electricidad, 0.31%.

De acuerdo con la ilustración 3, el sector eléctrico es el mayor consumidor de energía, seguido, en orden de importancia, por los sectores: transporte, industrial, petrolero (incluye una pequeña contribución de la coquización de carbón), residencial, agropecuario, comercial y el público y de servicios.

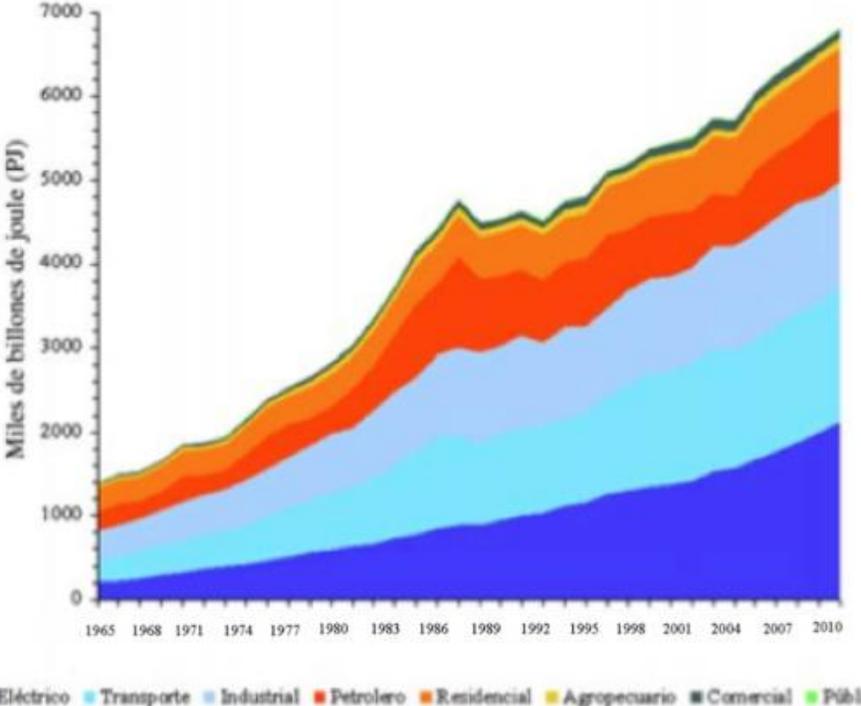


Ilustración 11 Evolución histórica del consumo de energía por sector. Elaborado a partir de datos de Quintanilla (2004).

Ese mismo año, el país emitió poco más de 709 millones de toneladas de carbono (INE, 2011). El sector transporte fue el que contribuyó con la mayor cantidad, 116.2, siguiéndole el sector eléctrico, 111.7; el industrial, 55.8; el petrolero, 48.5; el residencial, 20.2; el agropecuario, 6.4; y el comercial, 4.3 millones de toneladas de carbono.

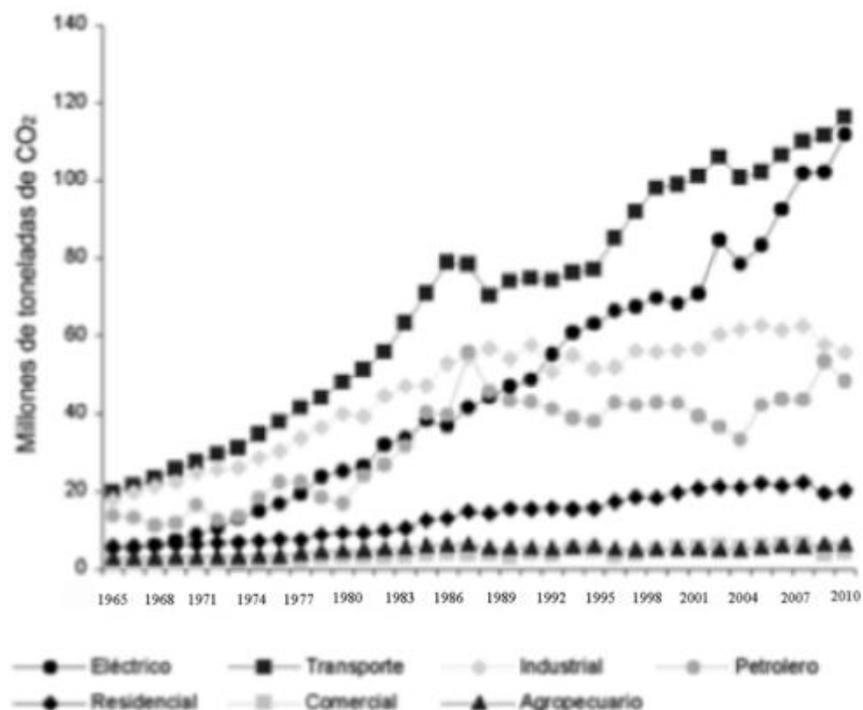


Ilustración 12 Emisiones de carbono provenientes del consumo de combustibles fósiles. Elaborado a partir de datos de Quintanilla (2004).

En el sector transporte, el consumo de gasolinas y diesel en el autotransporte contribuye con 85.1% de las emisiones del sector; el resto tiene su origen en el consumo de querosinas, gas licuado, combustóleo, diesel y gas natural. En el sector eléctrico, el consumo de combustóleo representa 66.1% de las emisiones de carbono, y les siguen: gas natural, 16.7%; carbón, 15.5%, y diesel, 1.7%. En el caso del sector industrial, la participación está dada por: gas natural, 45.8%; combustóleo, 25.6%; coque, 16.4%; diesel, 7.3%; gas licuado, 4.8%; querosinas, 0.2%, y gasolinas con una cantidad muy pequeña. Para el sector petrolero y coquizadoras de carbón, los principales contribuyentes a las emisiones son: gas natural, 65.1%; combustóleo, 15.0%; gasolinas y naftas, 5.4%; diesel, 4.45, y carbón, 3.0%. En el sector residencial: gas licuado, 91.4%; gas natural, 8.1%, y querosinas, 0.5%. En el sector comercial los contribuyentes a las emisiones son: gas licuado, 93.8%, y diesel, 6.2%. Finalmente, para el sector agropecuario la participación es: diesel, 92.5%; gas licuado, 7.5%, y querosinas con una pequeña fracción.

En consecuencia, para determinar la importancia de la contribución a las emisiones de un sector dado de la economía es necesario determinar, con detalle, la mezcla de energéticos que consume (Ruiz, 2008). Estas cifras indican sobre cuáles sectores

convendría incidir en una política de reducción de emisiones para contender con la problemática ambiental del país y sus compromisos internacionales futuros.

Aunado a este comportamiento dinámico tanto de exportaciones como de importaciones, la composición del mercado extranjero creció, diversificándose, a través de los años siguientes. La exportación del petróleo, tan importante en su porcentaje de exportación a principios de los ochenta, disminuyó su cuota a 5%. La participación de las manufacturas creció casi al 90% de las exportaciones totales. Tales modificaciones deberían haberse reflejado en las emisiones contaminantes asociadas a la producción, ya que tales emisiones dependen del nivel de producto, la tecnología empleada (intensidad de la contaminación), así como de la estructura de la producción (participación de cada actividad en el total). Las modificaciones en la composición de la demanda final tienen también consecuencias en el nivel de emisiones, ya que aquellas deberían inhibir o estimular el crecimiento de actividades más o menos contaminantes (Aroche, 2000).

Lo anterior se refleja también en el papel de estas categorías de demanda como fuentes de emisiones contaminantes manufactureras: disminuye el papel del consumo privado, del consumo del gobierno y de la inversión, mientras se eleva el de las exportaciones. Ello es válido para la contaminación total y para la específica a los tres medios considerados, atmósfera, suelo y agua. Simultáneamente se dejan de producir cantidades crecientes de contaminantes en el espacio nacional, puesto que se sustituyen insumos de producción nacional por bienes adquiridos en el exterior. Tales tendencias redundan en mejoras para el medio ambiente, puesto que, por un lado algunas industrias exportadoras parecen ser menos contaminantes y, por otro, las emisiones evitadas representan proporciones importantes de las emisiones contaminantes de la manufactura.

Asimismo, los cambios en la composición de la producción por clase y por rama conducen a que el peso de las industrias más contaminantes en las emisiones tóxicas totales de la manufactura se acreciente; con ello disminuye la presencia de un buen número de ramas en la contaminación manufacturera. Este fenómeno de concentración haría más fácil que la regulación dirigida a estas actividades tuviera más posibilidades de éxito. Si bien no es posible comprobar directamente esta hipótesis, parecería plausible que este resultado también esté influido por el cambio tecnológico, ya que para una buena cantidad de sectores, la tendencia de sus emisiones no parece estar correlacionada con los cambios en su participación en el producto (efecto escala) ni por la composición de éstas al nivel de clase o del producto total (efecto composición) (Aroche, 2000).

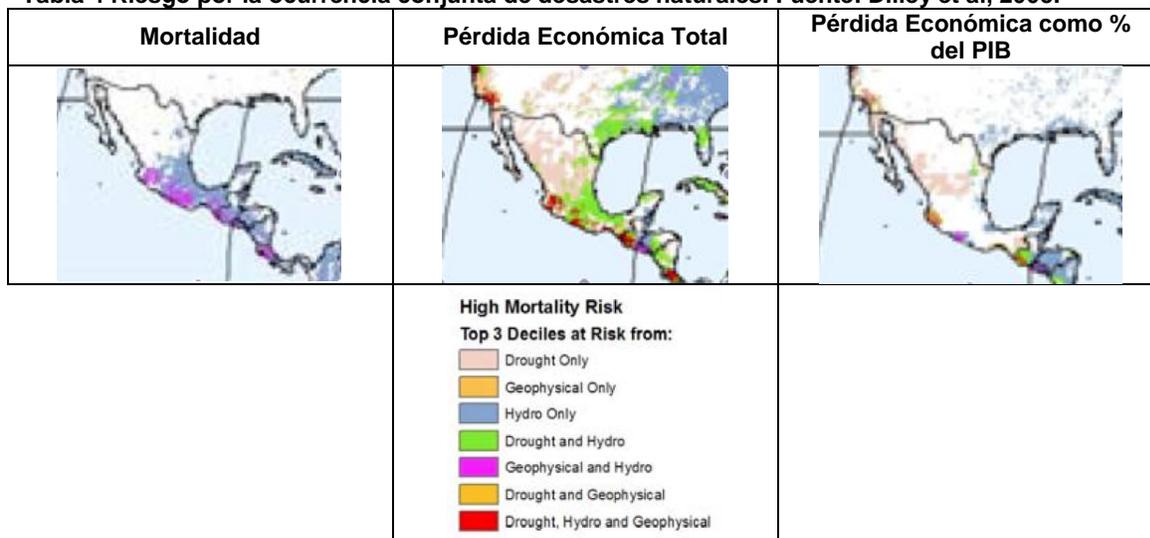
Hoy en día se sabe de los problemas ambientales que generaban esas industrias así como el contenido de emisiones de carbono de cada una, pero en ese entonces era un tema desapercibido, no se percibía como una externalidad negativa, sin embargo, los tiempos han cambiado y se ha vuelto imprescindible examinar nuestro sistema energético en aras de determinar qué tan vulnerables somos al cambio climático. Si continuamos con los métodos de producción con altas emisiones, y nuestra economía depende en gran medida de ellos, si no actuamos de manera previsor, llegará el día en el que los costos de actuar de manera reactiva sean muy elevados y difíciles de afrontar (Galindo, 2009).

3.2 Vulnerabilidad ante el cambio climático

Los impactos del calentamiento global son múltiples, heterogéneos, no lineales, de diferentes magnitudes y ciertamente significativos (Galindo, 2009), por ello al hablar de vulnerabilidad debemos considerar muchas variables, escenarios y sobre todo un alto nivel de incertidumbre sobre sus canales de transmisión y su amplitud específica. Para efectos del presente capítulo, tomaremos en consideración dos tipos de vulnerabilidad: la primera ante el fenómeno en sí, es decir, analizar la fragilidad de nuestro entorno ante el cambio climático; y la segunda, la vulnerabilidad ante las acciones de otros países en su afán de buscar su reducción de emisiones y el cumplimiento de sus obligaciones para con los tratados internacionales de vinculación legal.

El riesgo de ocurrencia de diversos desastres naturales sobre diferentes regiones de México es latente, y se verá acentuado por el fenómeno del cambio climático. De acuerdo a Gay (2003), Emmanuel (2005), Ibararán et al (2007) y Galindo (2009) el cambio climático tiende a incrementar la frecuencia y la intensidad de eventos climatológicos extremos como: huracanes, sequías, tormentas y olas gélidas y de calor. Estos eventos, en ocasiones se tornan en desastres naturales, dependiendo de la magnitud con la que impactan, además, de las características de la región, así como la vulnerabilidad del ecosistema local, la infraestructura, la población expuesta y las actividades económicas que se desempeñan en la zona. La tabla 1 muestra los impactos susceptibles al cambio climático por región.

Tabla 4 Riesgo por la ocurrencia conjunta de desastres naturales. Fuente: Dilley et al, 2005.



Una vez identificadas las zonas y los posibles riesgos latentes en cada una, faltaría describir las actividades desarrolladas en cada región y su afectación de acuerdo a cada tipo de riesgo, de acuerdo a Galindo, Ibararán, y SEMARNAT, los impactos mayores se verán reflejados en: el sector agropecuario, los recursos hídricos, el cambio de uso de suelo, ecosistemas, biodiversidad, los asentamientos humanos y salud.

Tabla 5 Principales afectaciones del cambio climático en México. Galindo (2009).

Alimentos	Agua	Ecosistemas
Aumento en las temperaturas podría causar alteraciones en las cosechas de temporal, siendo benéficos dentro de ciertos rangos y catastróficos en caso de rebasarlos.	Cambio en el régimen de precipitaciones. Sequías. Inundaciones. Escasez para el consumo humano.	Reducción en los bienes y servicios ambientales. Reducción en la resiliencia ²³ de los ecosistemas.

Asentamientos Humanos ²⁴	Salud
Afectación de los espacios construidos (infraestructura). Alta concentración poblacional. Cambios en la estructura productiva.	Desconfort por las altas temperaturas. Mayor probabilidad de contraer cáncer. Incremento de las enfermedades transmitidas por vector ²⁵ .

²³ Vid. Nota 43.

²⁴ Los impactos de un Cambio climático en los asentamientos humanos está en función de la localización específica de cada localidad. En muchos casos, el impacto del Cambio climático en un centro urbano dependerá más de la vulnerabilidad de los sistemas sociales que se ven afectados que de la propia magnitud física de los cambios ambientales.

²⁵ Vector se refiere cuando la transmisión a la población se realiza por medio de un agente intermedio infeccioso, generalmente un insecto (vector) que se desarrolla en ciertas condiciones de temperatura, humedad y presencia de cuerpos de agua.

El segundo tipo de vulnerabilidad puede ser considerado, al igual que el cambio climático, como una externalidad negativa, puesto que no se genera al interior de la economía, es consecuencia de las acciones de otro agente. Para el caso de nuestra investigación, dicha externalidad viene dada por un arancel ecológico. Este impuesto se genera porque, al imponerse un impuesto a las emisiones de carbono en el extranjero, el país que lo implementa genera incentivos para que la producción al interior de su economía se reduzca, se encarecen sus exportaciones y se abaratan sus importaciones. Por lo que debe desincentivar ese comportamiento entre los agentes. La manera más barata de hacerlo es mediante el arancel ecológico, el cual equilibra las condiciones del mercado para los agentes internos y externos, siendo en este caso, México el agente externo afectado.

Entonces, los productos provenientes de México, al ser elaborados con una energía, en su mayoría de origen fósil, tienden a contener más carbono en su huella ecológica, volviéndolos más baratos en comparación con los que sí pagan el impuesto, es por ello que al cargarles un arancel, se elimina el incentivo al dumping ecológico. Sin embargo, es aquí donde se debe decidir si es mejor pagar por contaminar o llevar a cabo una reestructuración de las políticas ambientales, orientándolas al desarrollo sostenible, previendo que los costos de la inacción serán superiores a los de la prevención (Galindo, 2009).



Ilustración 13 Impacto potencial de un arancel económico en México. Elaboración a partir de Baumol y Oates (1975).

3.3 Alternativas de mitigación y adaptación

México se integró a la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) en Marzo de 1994. Entre las condiciones negociadas para esta integración figuraba la aceptación por parte de la OCDE de la no-inclusión de México en el Anexo I de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC, por sus siglas en inglés), adoptada en 1992. En ese mismo contexto, México aceptó salir de inmediato del Grupo de los 77 y China, a efectos de cualquier negociación internacional. Estas circunstancias determinaron el relativo aislamiento inicial de nuestro país en algunas negociaciones multilaterales, como la relativa al cambio climático global. En el marco de los acuerdos ambientales multilaterales, no se incorporaba al listado de los países desarrollados, al tiempo que se desvinculaba de la agrupación negociadora por medio de la cual había defendido tradicionalmente sus intereses como país en desarrollo.

En el plano internacional, en el periodo en el que se negoció el Protocolo de Kioto México se vio sometido a presiones por parte de países desarrollados para incorporarse al Anexo I de la UNFCCC, con base en su adscripción a la OCDE. En los meses siguientes a la adopción del mencionado Protocolo, las presiones apuntaron sobre todo hacia la posibilidad de que México asumiera compromisos “voluntarios” de índole cuantitativa, en relación con las emisiones de gases de efecto invernadero regulados por ese instrumento.

En el plano nacional, en los meses que antecedieron a la reunión de Kioto algunos funcionarios mexicanos, dentro y fuera de la entonces Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), expresaron puntos de vista diversos respecto a los compromisos que debería asumir nuestro país en el marco del naciente régimen climático global. Se experimentaron algunos problemas de coordinación entre cauces de diálogo promovidos por el Instituto Nacional de Ecología y por otras dependencias internas de la SEMARNAP. Para resolverlos, a partir de 1997 se unificó en una sola instancia el Comité Intersecretarial para el Cambio Climático, el espacio para la concertación intersectorial con vistas a las negociaciones internacionales sobre el tema, la coordinación de la acción climática por parte del sector público, la interlocución con el Poder Legislativo y la promoción de un diálogo nacional. Se acordó que la posición de país se definiría por consenso en el marco del Comité de referencia.

Entre las principales decisiones estratégicas adoptadas en el seno del Comité en el periodo 1997- 2000, figuran las siguientes:

- Fomentar e intensificar la investigación relativa a las implicaciones del cambio climático para nuestro país, incluyendo el modelaje económico de medidas de mitigación.
- Organizar foros de discusión con distintas instancias, incluyendo a las Comisiones del Congreso y a diversas instituciones empresariales.
- Asentar y reforzar en el INE la capacidad institucional de gestión en el tema de cambio climático.
- Disminuir, mediante una acción intersectorial coordinada, la tasa de crecimiento de las emisiones de gases de efecto invernadero controladas por el Protocolo de Kioto.
- Intensificar las tareas correspondientes a las autoridades nacionales, en particular la elaboración de un Programa Nacional de Acción Climática, la actualización del Primer Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero, y la preparación de la Segunda Comunicación Nacional ante la UNFCCC.
- Promover la ratificación del Protocolo de Kioto ante el Senado de la República.
- Promover la creación por decreto de una Comisión de Cambio Climático;
- Impulsar las oportunidades de desarrollo para el país que pudieran derivar de los mecanismos de flexibilidad considerados por el protocolo de Kioto, en concreto del Mecanismo de Desarrollo Limpio.
- Enfatizar las opciones de mitigación centradas en los sumideros de carbono, estableciendo todas aquellas restricciones que permitieran garantizar la eficacia y la integridad ambiental de las acciones en el sector forestal.
- Rechazar, por el momento, la posibilidad de adoptar compromisos cuantitativos, jurídicamente vinculantes, de contención o reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, fundamentando este rechazo en consideraciones prácticas, jurídicas y de equidad.
- Fortalecer la capacidad técnica del equipo negociador, precisando las posiciones nacionales en relación con los múltiples temas objeto de negociación internacional.
- Abogar en las negociaciones por el logro de convergencias y sinergias entre Convenciones afines, especialmente las de cambio climático, biodiversidad y lucha contra la desertificación.

- Ampliar el margen de maniobra en la negociación, mediante asociación con otros países que sustentaran puntos de vista semejantes, saliendo así del aislacionismo que representaba nuestra auto-exclusión del G-77 y China y la condición de no-Anexo I en las instancias propias de los países desarrollados.

Aunque no todos los objetivos señalados pudieron cubrirse a tiempo o en forma satisfactoria, la estrategia mencionada, acordada con bastante laboriosidad en el Comité Intersecretarial, se llevó a cabo con razonable eficacia.

Con independencia de lo que resultara de una evaluación integral de sus logros y de sus limitaciones, cabe señalar aquí que dicha estrategia transformó de manera radical el trato que recibió México en los foros internacionales sobre cambio climático. De ocupar un lugar sin importancia por no asumir responsabilidades que supuestamente le correspondían, México pasó a ser considerado como un socio responsable y constructivo, invitado a todos los foros de alto nivel y consultado con asiduidad y deferencia. Desaparecieron en la práctica las presiones internacionales para que nuestro país asumiera de inmediato compromisos ajenos a aquellos que especificaba la UNFCCC para el conjunto de sus Partes.

En la COP-6, celebrada en La Haya días antes de que concluyera la administración del presidente Zedillo, México recibió del presidente de la COP, el ministro holandés Jan Pronk, el encargo de desarrollar consultas y facilitar avances hacia algún consenso multilateral en lo que resultó uno de los temas de mayor conflictividad en la negociación: la consideración de los sumideros de carbono en el marco del Protocolo de Kyoto. Integrado por nuestro país, Corea del Sur (el otro miembro de la OCDE no inscrito en el Anexo I) y Suiza (uno de los países del Anexo I cuyos representantes habían contribuido tiempo atrás a la presión internacional sobre México), el grupo de negociación denominado Environmental Integrity Group (EIG) empezó a operar a partir de septiembre del año 2000, en la Reunión de órganos subsidiarios de la UNFCCC celebrada en Lyon, Francia, con pleno reconocimiento por parte de las instancias de la Convención. Impensable dos o tres años antes, el EIG se construyó sobre un entendimiento acumulado, permitió reforzar de manera notable la capacidad de sus integrantes para incidir en las negociaciones en curso, y demostró que países con profundas diferencias geográficas, económicas, sociales y culturales podían ponerse de acuerdo sobre la base de defender la viabilidad y la integridad ambiental del régimen climático. Por la dimensión de su territorio y de su población, México fue durante mucho tiempo el mayor país de

cuantos habían ratificado el Protocolo de Kioto; fue también de los primeros países no-Anexo I en presentar su Primera Comunicación nacional y el primer país no-Anexo I en presentar una Segunda Comunicación nacional completa.

México ha realizado esfuerzos importantes, en torno a la conformación de una política ambiental para enfrentar los desafíos del Cambio climático. Sin embargo, el gobierno mexicano ha identificado la necesidad de reducir sus emisiones de efecto invernadero sin afectar el crecimiento económico y el desarrollo. Como parte de este proceso, las autoridades mexicanas ya han hecho pública la intención de que México reduzca voluntariamente sus emisiones en un 50% hacia el 2050 tomando como base el año 2002 (Samaniego, 2002). Estaría supeditado al cumplimiento de ciertas condiciones financieras, tecnológicas y en general de cooperación y de cumplimiento de la comunidad internacional.

3.3.1 Evaluación de los costos de la mitigación y adaptación

Para poder evaluar el impacto del costo de la reducción del carbono, es necesario evaluar, de forma desagregada, los insumos de combustibles fósiles en los diferentes procesos de producción e identificar sus impactos en la formación de precios por sectores. De acuerdo a Ruiz (2008), mediante la matriz insumo producto (MIP) y el método de extracción²⁶, podemos identificar a los sectores clave de la economía para, después de hacer la desagregación de las emisiones de GEI por sector, comparar si los principales sectores económicos corresponden a los principales emisores. Luego, lleva a cabo un análisis de sensibilidad en cada uno de los 79 sectores de la MIP para obtener dos estadísticas más: la primera es la reducción en unidades físicas, mientras que la segunda es un indicador del nivel de aumento en los costos, ambos derivados del incremento en los precios relativos de las emisiones de GEI.

Derivado del estudio de Ruiz (2008) se rescatan dos conclusiones. Primero, existen 25 sectores clave en la generación de GEI que en conjunto suman el 98% del total de emisiones. De estos, 17 resultan ser los principales sectores de la economía, por lo que una variación en el precio de cualquiera de ellos tendrá como consecuencia un

²⁶ Para una descripción más detallada sobre el método, refiérase a Ruiz (2008).

desencadenamiento hacia atrás, alterando de manera significativa el equilibrio de los mercados. La tabla 2 muestra los 25 sectores, su intensidad en carbono, porcentaje de contribución al cambio climático dentro del país, su posible reducción en unidades físicas y el aumento en los costos de producción en caso de un aumento en los costos de las emisiones de GEI.

Tabla 6 Principales ramas económicas emisoras de GEI. Fuente Ruíz (2008)

Rama	Gg CO ₂ eq.	
Generación, transmisión y suministro de energía eléctrica	120,844.7	21.5
Autotransporte de carga	52,860.5	9.4
Aprovechamiento forestal	51,500.0	9.1
Transporte terrestre de pasajeros, excepto por ferrocarril	51,431.7	9.1
Fabricación de productos a base de minerales no metálicos	40,156.7	7.1
Manejo de desechos y servicios de remediación	37,256.0	6.6
Extracción de petróleo y gas	37,253.4	6.6
Ganadería	37,249.7	6.6
Fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón	36,940.8	6.6
Agua y suministro de gas por ductos al consumidor final	30,063.1	5.3
Industrias metálicas básicas	11,079.7	2.0
Industria química	8,475.9	1.5
Agricultura	7,479.1	1.3
Industria alimentaria	7,052.0	1.3
Transporte aéreo	6,346.6	1.1
Minería de minerales metálicos y no metálicos excepto petróleo y gas	2,637.2	0.5
Fab. de equipo de comp., comun., med. y de otros equipos, compo. y accs. electrónicos	2,375.7	0.4
Transporte por agua	2,296.1	0.4
Industria del papel	1,643.7	0.3
Transporte por ferrocarril	1,567.2	0.3
Fab. de equipo de generación eléctrica y aparatos y accs. eléctricos	1,397.0	0.2
Fabricación de prendas de vestir	1,382.1	0.2
Industria de las bebidas y del tabaco	1,373.9	0.2
Fabricación de productos metálicos	1,281.8	0.2
Comercio	1,252.5	0.2
TOTAL	553,197.0	98.2

Segundo, el sector energético es el más importante para la economía como difusor de los efectos negativos de la contaminación y, por ello, es el sector en el que la reducción de esos efectos (externalidades negativas) resulta más alto el costo en términos de disminución de producción sin cambio tecnológico y de gasto efectivo con cambio tecnológico. De la importancia de este sector se desprende la necesidad de que el Estado no sólo supervise sus operaciones, sino haga efectivas reglas estrictas para aumentar de la eficiencia productiva y realice las inversiones y gastos necesarios para adoptar tecnologías reductoras de GEI, en tanto se desarrollan paralelamente fuentes alternativas de energía (Ruíz, 2008).

México es el décimo emisor de GEI, lo cual lo vuelve sumamente vulnerable a las consecuencias del cambio climático (NationMaster, 2011). Además, cuenta con un sistema energético con altos contenidos de carbono, eso significa que, aunque cambie innove en procesos productivos, la energía contenida en los productos seguirá representando una proporción muy grande de la huella ecológica.

Las afectaciones se verán reflejadas en los sistemas físicos, biológicos y económicos, puesto que todos se encuentran interrelacionados. Aunque estas también pueden provenir de fuera cuando un país cualquiera busque reducir sus emisiones, y para ello aplica un impuesto al carbono y un arancel externo que evite distorsiones (Speck, 1999).

La suposición anterior cobra sentido al analizar el entorno político: si un país del Anexo I del Protocolo de Kioto pretende reducir sus emisiones y emplea métodos legislativos para hacerlo, los diversos actores de la economía se verían perjudicados, puesto que ellos absorberían parte del impuesto. Con ello, un país que no se encuentre vinculado legalmente a reducir sus emisiones – ya sea porque no ha ratificado el Protocolo o porque no se encuentra adherido a él – tendría una ventaja competitiva al ofrecer productos más baratos por contener mayor volumen de carbono. Entonces, la política del impuesto los obligaría, en caso de querer seguir en el mercado, a reducir sus emisiones para que el producto mantenga la paridad comercial.

Capítulo IV

Evaluación de un arancel ecológico mediante un modelo de equilibrio general computable: efectos sobre la economía mexicana.

Evaluar los efectos de un arancel ecológico es el objetivo del presente capítulo. Para ello utilizaremos un modelo de equilibrio general computable (MEGC), el cual traza relaciones de mercado entre los agentes que conforman la economía y, ante cambios en las variables exógenas, permite aislar y cuantificar estos efectos. Sin embargo, para poder aplicar esta metodología, es preciso contar con una matriz de contabilidad social (SAM, por sus siglas en inglés) y las formas estructurales del modelo.

El Capítulo IV consta de cuatro apartados. Primero, se explica el proceso de obtención de una SAM, junto con todos los elementos que se deben extraer de la misma para ser incluidos en el modelo. La segunda parte define la forma funcional del modelo, los supuestos abordados y la desagregación de flujos económicos que integran su núcleo. Finalmente, en la tercera parte se presentan los resultados obtenidos al simular una política de corte arancelario fijada en contra de México por parte de un socio comercial que busca reducir la circulación de carbono al interior de su economía.

4.1 La matriz de contabilidad social (SAM)

Una SAM es una tabla que representa, de manera simplificada, las transacciones entre los agentes – industrias, consumidores, gobierno – de la economía. Estas se llevan a cabo en los mercados de bienes y servicios nacionales o extranjeros. Dependiendo el nivel de agregación, pueden llegar a ser tan extensas como sea necesario. La información contenida en estas matrices es el punto de partida para la mayoría de los MEGC (Rutherford, 1994).

Modelar los datos provenientes de las cuentas nacionales puede llegar a ser un proceso difícil. A menudo, contienen más información de la necesaria para un MEGC. Es por ello que esta sección pretende mostrar los pasos seguidos para actualizar e interpretar la SAM que emplearemos en nuestro modelo. Partiremos de la matriz Insumo Producto (IO, por sus siglas en inglés) del año 2003 para la economía mexicana.

4.1.1 Diseño de la SAM

La matriz IO muestra la producción y el uso de los productos básicos entre sectores de la economía. En este caso, la matriz mexicana contiene 17 sectores²⁷ (enlistados en la tabla 1), por convenir a los intereses de nuestro análisis²⁸, sin embargo, pueden haber matrices con un nivel de desagregación superior a 100 o más sectores. Cada sector utiliza los productos de otros como insumos intermedios. La matriz IO también incluye los factores de producción tales como capital y mano de obra, los cuales son adquiridos por las industrias y ofrecidos por los hogares.

Tabla 7 Sectores incluidos en la SAMEX-2003

Extracción de petróleo y gas (EPG)	Derivados del petróleo y refinación (DPR)	Transporte (TRN)	Suministro de agua y gas
Construcción (CON)	Comunicaciones (COM)	Minería Metálica y no Metálica (MMN)	Agricultura (AGC)
Manejo de desechos (MDD)	Ganadería (GAN)	Industria de bebidas y tabaco (ITB)	Aprovechamiento forestal (APF)
Industria química (IQM)	Industria de vestido (IDV)	Generación y transmisión de energía (GTE)	Fabricación equipos médicos y de cómputo (FEV)
Gobierno (GOV)			

²⁷ Estos 17 sectores son los mayores generadores de emisiones de GEI de acuerdo con Ruiz (2008), además, son los que transfieren los costos de mitigación del cambio climático, es decir, cualquier política que pretenda desincentivar el uso del carbono, tendrá efectos regresivos en estos sectores, trasladando los costos al resto de la economía.

²⁸ Los demás sectores fueron eliminados o agregados en otro apartado por dos razones. Primero, porque su relación con el empleo del carbono era mínima y; segundo, su eliminación favorece la simplicidad del modelo y permite entender mejor los efectos del arancel ecológico.

Las actividades del gobierno y los hogares también juegan un papel central en la SAM. Estas actividades incluyen elementos tales como impuestos y subvenciones, ahorro de los hogares y la inversión pública o privada. El gobierno a menudo representa una parte sustancial de la economía en los países en desarrollo, por lo que las transferencias entre empresas, hogares e instituciones suelen estar incluidas.

La tabla 1 muestra el diseño general de una SAM cuadrada²⁹. La sub-matriz "A" muestra la producción industrial y el uso de materias primas, esta es la parte central de la SAM. La sub-matriz "B" contiene los datos de consumo final, mostrando las cuentas asociadas a los productos finales adquiridos por cada agente. Las exportaciones son consideradas como un bien final asociadas a un comprador externo. Mientras que las importaciones se consideran como insumos para uso intermedio o de producción final. En las sub-matrices "C" y "D" se enlistan las importaciones y las ventas obtenidas por las exportaciones.

Los factores de producción y otros tipos de dotaciones se incluyen en las sub-matrices "E" y "F". La "E" representa la de mano de obra y capital para la industria y la "F" representa la mayor parte de los ingresos de los hogares. Las transferencias institucionales, impuestos, comercio y transporte, así como cualquier otra transacción se ubican en los apartados "G" y "H" de la SAM.

Tabla 8 Representación general de una SAM cuadrada (Hosoe, 2010).

	USO INTERMEDIO Sectores productivos 1 2 ...j... n	USO FINAL		
		Consumo privado	Consumo de gobierno	Exportaciones
Producción doméstica por sector 1 2 . i . n	A		B	
Comercio	C		D	
Valor añadido Capital Trabajo	E		F	
Transferencias Impuestos Otros	G		H	

²⁹ La SAM también se puede representar de forma rectangular. En vez de utilizar la notación Fila / Columna para compras y ventas como en la SAM cuadrada, la SAM rectangular utiliza cantidades positivas y negativas para representar las salidas y las entradas respectivamente. Para nuestro estudio emplearemos una SAM rectangular.

4.1.2 SAM México 2003 (SAMEX-2003)

La forma reducida para la SAM de México referida a 2003 se muestra en la Tabla 2, esta es una matriz cuadrada, porque contiene el mismo número de filas y columnas. La suma de filas y la suma de las columnas, debe ser igual para cualquier sector de la SAM. La SAMEX-2003 cuenta con información detallada de impuestos por sector, un tipo de trabajo (formal), dos tipos de empresas y dos clases de capital (público y privado). Para esta matriz no se incorporó una desagregación por deciles de ingreso para los hogares porque nuestro análisis se centra en cuestiones de eficiencia en lugar de impactos redistributivos. A continuación analizaremos los cambios que se realizaron en la SAM, mientras se construía el modelo ALEXIM-2003, llegando a obtener una SAM rectangular.

Tabla 9 SAM cuadrada México 2003 (Sectores sin desagregación).

	Manufactura	Servicios	Gobierno	Trabajo Formal	Capital	Impuestos Indirectos	IVA	Comercio	Transporte
Manufactura	15418	11206.1	1112.6						
Servicios	8007.9	31629.5	5102.3						
Gobierno									
L Formal	17489.8	34174.2	10610.1						
Capital	6551.1	20766.1	2026.4						
Otros imp indirectos	364.8	877.4	188.8						
IVA	958.7	3227.2							
Tarifas	258.7	842.6							
Comercio	6133.8	-6133.8							
Transferencias	930.7	-930.7							
Imp indirectos	2385.6	119.9							
Subsidios	-81.9	-47.5							
Imp Directos									
Hogares				62282.7	6350.7				
Gobierno					2742.9	1429.5	4186.9	1100.7	
E. Pública					5782.8				
E. Privada					14468.5				
RDM	5467.1	15525.7		3.1					
Acumulación									
Var. Stock									
Inv. Publica									
Inv Privada									

Tabla 2 (continuación) SAM cuadrada México 2003.

	Imp indir	Subsidios	Imp direc	Hogares	Gob	E. pub	E. Priv	RDM	Acum	Var Stock	Inv pub	Inv priv
Manufactura				24108.5				10704.8		778.5	550.3	
Servicios				40940.5				4602.1		-219.8	16168.1	
Gobierno				916.9	18122.5							
L Formal								12.4				
Capital												
Otros imp indirectos												
IVA												
Tarifas												
Comercio												
Transferencias												
Imp indirectos												
Subsidios												

Imp Directos		1555.5	48.5	4133.1		
Hogares		115.2	4706.1	604.2	8881.3	4178.8
Gobierno		5593.1	6647.1	1061.1	2453.8	203.9
E. Pública		442.5		109.2	713.3	33.6
E. Privada		7714.7	2177.5	950.6	11098.9	736.1
RDM			678.5	163.4	2489.6	
Acumulación		5727.7	-3823.7	4143.5	7375.2	3855.4
Var. Stock						559.7
Inv. Pública			5030.7			
Inv. Privada						16718.4

4.1.3 Gestión de los datos SAMEX -2003

Fue necesario realizar algunos ajustes en la SAMEX-2003 para poder elaborar una hoja de datos que fuera consistente con el MEGC. De acuerdo a Rutherford (1994) GAMS proporciona un ambiente adecuado para la extracción de los datos del modelo, por lo que se procedió a importar la matriz de Excel a GAMS para poder obtener consistencia en los datos y generar los parámetros necesarios para la calibración del modelo. Para la actualización de los coeficientes técnicos se utilizó la técnica RAS³⁰ propuesta por Stone (1963).

Este método se basa en modificar una matriz de partida, la cual se multiplica por coeficientes correctores tanto por filas como por columnas, de manera tal, que los totales (también por filas y columnas) se aproximen, lo más exactamente posible, a valores conocidos. Por ello, a partir de una matriz de coeficientes técnicos inicial se estima una nueva referida a un momento posterior, en el que se conocen, al menos, las sumas de sus filas y columnas (Bacharach, 1970). El método RAS se basa lo que se denomina un ajuste biproporcional, ya que se efectúa una doble corrección: tanto en los agregados por filas como por columnas.

Tabla 10 SAM rectangular para ALEXIM-2003.

	Industria manufacturas	Industria servicios	Gasto de Gobierno	Agente Gobierno	Inversión	Consumo	Total
Manufactura	44976.4	-10910.2	-1436.7		-1918.7	-30710.8	0
Servicios	-9120.6	68626.7	-4778.0		-20389.9	-34338.3	0
Gasto de Gobierno			19039.2	-18122.5		-916.6	0
Exportaciones	4690.9	-10376.3		6344.3		-658.9	0
L formal	-18863.3	-31686.5	-10168.5			60718.3	0
K privado	-3728.1	-16818.4				20546.4	0
K público			-2026.3	2026.3			0
Recursos	-2637.6					2637.6	0
IVA	-1571.1	-2615.2		4186.3			0
TM	-349.6	-751		1100.6			0
TL	329	784.5	-441.5	1555.1			0
TK	-1135.1	-2998.9		4134			0
IndTX	-2758.7	860.1		3806.9			0
Transporte	945.2	945.2					0

³⁰ Para una discusión más detallada sobre la técnica RAS refiérase a Robinson (2000) en la bibliografía.

Comercio	-8229.1	8229.1				0
Inversión			-5030.8	22308.5	-17277.7	0
Total	0	0	0	0	0	0

4.1.4 Consistencia SAMEX-2003

En el apartado anterior se verificó la consistencia de la SAM, sin embargo, luego de incluir y ajustar diversas cuentas como la inversión o el capital a través del método de RAS, se debe verificar una vez más la consistencia, evitando resultados espurios. Para ello, se crea un conjunto ficticio, basado en el supuesto de Armington³¹, este nuevo bien combina la producción nacional y las importaciones. El producto resultado de esta combinación es el bien, A_j , el cual se utiliza para consumo intermedio o bien, para demanda final. La ecuación (1) representa a este conjunto y verifica el balance de la oferta y demanda. A_j es una combinación de producción interna, importaciones y (hacia el interior de México) costos de comercio y transporte.

$$A_j = D_j + M_j P_j^M + \sum_m \dot{A} (Mrg_j^D - Mrg_j^S) \dots (1)$$

Como A_j se suministra para la demanda intermedia y final, se debe cumplir que

$$A_j - \sum_i \dot{A} ID_{ij} - C_j - I_j - G_j = 0 \dots (2)$$

En este punto, si la SAM no cumple con los balances requeridos (suma de columnas igual a suma de renglones) quiere decir que el balanceo no fue el adecuado y se tendría que repetir el proceso. Sin embargo para la SAMEX-2003 no hubo problema en la consistencia de los datos.

En la siguiente sección se describirán las formas funcionales del modelo, y los supuestos abordados. Además del planteamiento de las relaciones entre los agentes económicos

4.2 Modelo de equilibrio general computable estático (ALEXIM-2003)

El modelo pretende recrear un modelo Arrow – Debreu (1954) de equilibrio económico³². Donde cada consumidor tiene una dotación inicial de mano de obra, capital y recursos, así como un conjunto de preferencias resultado de las funciones de demanda para cada producto. Todos los consumidores se combinan en un "agente representativo", con demanda agregada y una dotación total. La demanda del mercado (compuesta por la suma del consumo y la demanda intermedia) dependerá de los precios y de que se

³¹ El supuesto de Armington se basa en las elasticidades de sustitución entre los bienes....

³² Para una discusión más detallada acerca del modelo de equilibrio general planteado por Arrow – Debreu refiérase a Arrow, Debreu (1954) en la bibliografía.

cumpla la ley de Walras³³. Es decir, para cualquier conjunto de precios, el gasto del consumidor es igual a los ingresos de los mismos.

También se toma el supuesto de que la tecnología de producción y las funciones de producción presenta rendimientos constantes a escala. De esta manera los productores maximizan sus beneficios y los beneficios conjuntos son cero, por lo que no hay incentivos de salir o entrar al mercado. Además, las funciones de demanda –tanto de factores como de bienes – deben presentar homogeneidad de grado cero en precios (es decir, si se duplican los precios se duplican los beneficios) lo que implica que sólo los precios relativos son importantes, por lo que el nivel absoluto de precios no tiene ningún impacto en el resultado del equilibrio.

El equilibrio en este modelo se caracteriza por un conjunto de precios relativos (fijando un precio numérico) y los niveles de producción de cada sector de tal manera que la demanda del mercado es igual a la oferta para todos los bienes. Como se asume la maximización de los beneficios combinada con los rendimientos constantes a escala, es posible concluir que hay actividad (o técnica de minimización de costos) que mejore el bienestar en los puntos de equilibrio. Mathiesen (1985) ha demostrado que un modelo de Arrow-Debreu puede formularse y resolverse como un problema de complementariedad. Por lo tanto, el equilibrio se puede definir mediante tres tipos de ecuaciones: El vaciado de los mercados, beneficios cero y el balance del ingreso.

4.2.1 Los flujos económicos en ALEXIM-2003

La relación entre los distintos sectores y los consumidores en ALEXIM-2003 se muestra en la Ilustración 1. Los impuestos se omiten en este apartado para simplificar el esquema.

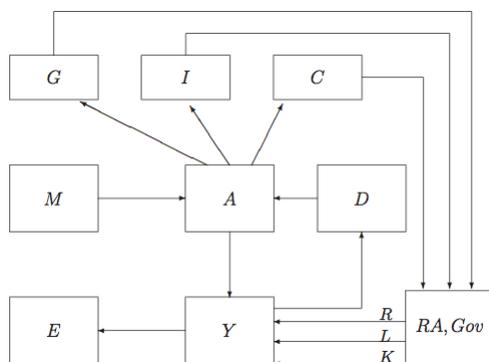


Ilustración 14 Flujos económicos en ALEXIM-2003. Fuente Light (2001).

³³ Para una demostración detallada de la ley de Walras refiérase a Walras (1954) en la bibliografía.

La producción, “Y” combina tres factores: capital “K”, trabajo “L”, e inversión “R”, y los insumos intermedios “A”, para producir bienes que van al mercado interno “D” o al mercado de exportación “E”. Un bien Armington “A” (Armington, 1969) es una combinación de los productos nacionales “D” y las importaciones “M”. Los bienes Armington son el producto de consumo básico. Estos se utilizan en la industria como insumo intermedio y son también los bienes de consumo final de los hogares “C”, el gobierno “G”, y la inversión “I”. Los consumidores representativos “RA” y el gobierno “Gov”, poseen una dotación de factores de producción (L, K, R), que venden a la industria “Y”. Ellos también son los consumidores finales, quienes utilizan los ingresos de las ventas de los factores para comprar bienes Armington “C” a través de “A”, para invertir “I”, o para la creación de servicios públicos creados por el gobierno “G”.

Para la programación del modelo, se asignó una simbología específica a este flujo económico, evitando ambigüedad en el modelo, esta se detalla en el apéndice 1.

4.2.2 Formas funcionales de ALEXIM-2003.

Para el modelo estático se adopta la función de elasticidad de sustitución constante (CES). Debido a que son ampliamente aceptadas por los economistas porque representan en buena medida a las preferencias, además pueden ser definidas por sus condiciones de primer y segundo orden. Esto significa que la ubicación (precio y cantidad), la pendiente (tasa marginal de sustitución), y la curvatura (o convexidad) caracterizan completamente la forma funcional, sea de producción o de consumo.

Dentro del modelo en GAMS se utilizó un sub programa llamado MPSGE, este es una herramienta de modelado, que acepta las funciones CES y, además, evita tener que incluir la ecuación explícita, permitiéndonos concentrar el análisis en política y no en la escritura de las ecuaciones. Solo basta con indicarle al modelo las conexiones entre los sectores con sus respectivas elasticidades para que genere el equilibrio entre los agentes. Las elasticidades para el modelo fueron obtenidas de Argminton (1969) y se expresan en el siguiente diagrama siendo S la elasticidad de sustitución y h la de transformación.

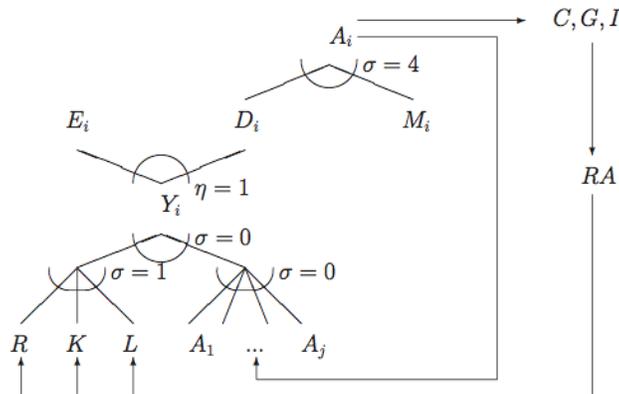


Ilustración 15 Elasticidades del modelo ALEXIM-2003. Fuente Light (2001)

Función de producción

Entradas (Input). Los bienes se producen de acuerdo a una función tecnológica anidada de Leontief – Cobb Douglas. Donde los insumos intermedios y el valor agregado se sitúan en el nivel superior.

$$Y_i = \min \left\{ \min_j \left[\frac{x_{ji}}{a_{ji}} \right], \frac{V_i}{b_i} \right\} \dots (3)$$

El valor agregado representa una combinación en una función Cobb – Douglas de los recursos de mano de obra, capital y recursos específicos.

$$V_i = L_i^{a_F} K_i^{a_i} R_i^{b_F} \dots (4)$$

donde los rendimientos constantes a escala implican $a_F + a_i + b + g = 1$.

Salidas (Output). Cada sector produce dos tipos de productos: para consumo interno “ D_i ” y para exportación “ E_i ”. Se supone que ambos bienes son sustitutos imperfectos, y tienen una elasticidad constante de transformación. La formulación algebraica de esta función de transformación viene dada por:

$$Y_i = g(D_i, E_i) = a_i^D D_i^{1+\frac{1}{h}} + (1 - a_i^D) E_i^{1+\frac{1}{h}} \dots (5)$$

donde a_i^D es el valor de referencia de las ventas domésticas en el total de la producción por sector e i y h corresponden a los insumos de entrada en el modelo.

Importaciones. El modelo adopta una representación de Armington para la demanda de importaciones. Los bienes Armington “ A_i ” se producen mediante la combinación de bienes nacionales con las importaciones del mismo sector. Estos bienes se consideran como sustitutos imperfectos. Su forma funcional es:

$$A_i = \zeta a_i^M M_i^{1-\frac{1}{\sigma}} + (1 - a_i^M) D_i^{1-\frac{1}{\sigma}} \frac{1}{\sigma} \dots (6)$$

Balanza Comercial

El tipo de cambio real (τ) es determinado por la oferta de las exportaciones y la demanda de importaciones, y se determina en unidades de moneda extranjera.

$$\sum_i \tau^{-E} E_i + B = \sum_i \tau^{-M} M_i \dots (7)$$

Manteniendo todos los sectores ceteris paribus, un aumento en las importaciones incrementará τ , reflejando un incremento en la demanda de moneda extranjera. El parámetro B denota el equilibrio fijado exógenamente por la cantidad que aparece en las cuentas. Debido al supuesto de tomar a México como una pequeña economía abierta, los precios de importación y exportación (τ^{-E}, τ^{-M}) se fijan de manera exógena.

Consumo

Consumo Final. Un agente representativo “RA” tiene una dotación inicial de factores: capital, trabajo y recursos. Este agente demanda inversión, bienes privados y públicos. La inversión y los bienes públicos se consideran variables exógenas, mientras que la demanda privada se determina por el comportamiento de maximización de la utilidad. Su función de utilidad tipo Cobb Douglas viene dada por:

$$U(A_i) = \tilde{O} \prod_i A_i^{\alpha_i} \text{ donde } \sum_i \alpha_i = 1 \dots (8)$$

El consumidor maximiza su utilidad sujeta a su restricción presupuestaria:

$$\max_{A_i} U(A_i) \text{ s. a}$$

$$\sum_i p_i A_i \leq p_K K + p_L (L_I + L_F) + p_R R + \text{trn} - I \dots (9)$$

Inversión

En la formulación del modelo se plantea que la inversión se mantiene constante en los niveles del año base. Las inversiones se agrupan en un solo conjunto, luego se distribuye

entre los sectores productivos y el gobierno de acuerdo con las cuentas del año base. Los fondos de inversión provienen de los hogares y el gobierno.

Gobierno

El gobierno gasta dinero adquiriendo bienes y servicios e inversiones. Estas son adquiridas mediante los ingresos fiscales, renta del capital y transferencias extranjeras. Los impuestos tienen la siguiente estructura.

Los insumos de producción están sujetos a tres tipos de impuestos, “ vat_i ” para el IVA, t_F para el trabajo y t_K para el capital. Las aportaciones de recursos son específicas de cada sector, por lo tanto, sus insumos son fijos y el impuesto se aplica a la cantidad. Tanto el trabajo como el capital son sensibles ante una variación en los precios. Por lo tanto, la variación en los tipos de impuesto ocasiona una pérdida de eficiencia la cual se captura como un costo. El costo de producción más el impuesto quedaría:

$$Cost_i^Y = \hat{A}_j p_j x_{ji} + (1 + vat_i) w_F (1 + t_F) L_i^F + w_i L_i^I + (1 + t_K) (rkK_i + r_i \bar{R}_i) \dots (10)$$

Mientras que el valor de la producción luego del impuesto será:

$$Value_i^Y = (1 + t_i^Y) (p_i^D D_i + p_i^X X_i) \dots (11)$$

En equilibrio, el costo de la producción luego de impuestos es igual al valor del total producido por cada sector, esto representa la condición de cero beneficios en las condiciones del mercado.

Los aranceles hacia las importaciones se incluyen en la función de costos de los bienes Argminton y esta cantidad se asigna al gobierno, luego se resta la cantidad para representar la pérdida de bienestar ocasionada por el arancel ecológico. Su precio quedaría como:

$$p_i = \frac{\partial C_i^M}{\partial p_i} \frac{p_i^M (1 + t_i^M)^{1-s}}{p_i} + \frac{\partial C_i^D}{\partial p_i} \frac{p_i^D}{p_i} \dots (12)$$

La tasa del impuesto de referencia aplicado a los insumos de trabajo, t_F , se basa en el pago de impuestos directos de los hogares y las remuneraciones al trabajo, ambos registrados en la SAM. Este impuesto en México ronda el 15%. La tasa del impuesto referencial aplicado al capital privado, c_T , se basa en el pago de impuestos directos de las empresas privadas y los pagos brutos de capital en todos los sectores no gubernamentales. La tasa del impuesto ronda el 17%.

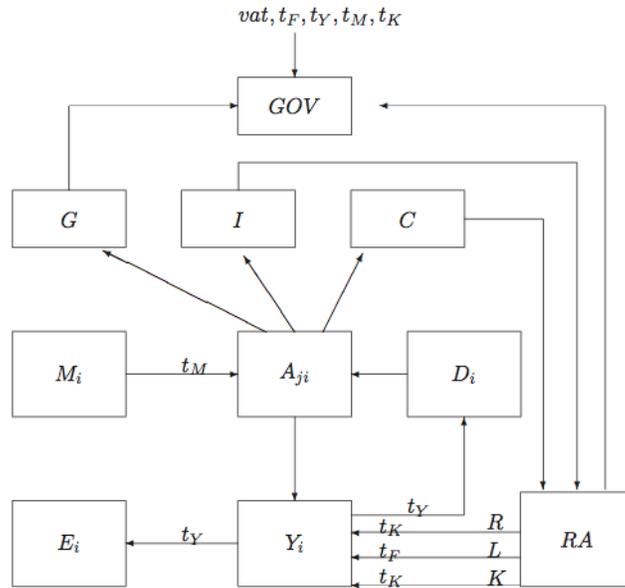


Ilustración 16 Flujo de impuestos en ALEXIM-2003. Fuente Miles (2001)

4.2.3 Condiciones de equilibrio

Tres ecuaciones definen el equilibrio de Arrow-Debreu en nuestro modelo.

Beneficios cero:

$$Cost_i(\mathbf{p}) \leq Rev_i(\mathbf{p}) \quad \forall Y_i \dots (13)$$

Esta primera restricción especifica que, en equilibrio, ningún productor obtiene un "exceso" de beneficios, es decir, el valor de los insumos por actividad deberá ser igual o mayor que el valor del producto total. La variable complementaria a esta condición es Y_i .

Manteniendo todo lo demás sin cambio, si los precios del bien i aumentan, el nivel de producción aumenta hasta el nivel donde se iguala el costo marginal con el ingreso marginal.

Vaciado de los mercados

$$D_i + M_i \leq \hat{A}_j A_j + E_i + RA_i + GOV_i \quad \forall p_i \dots (14)$$

La segunda condición implica que, a precios de equilibrio, la oferta de cualquier bien debe ser igual o superior al exceso de demanda de los productores y consumidores. La ecuación (14) se refiere a las mercancías, una restricción similar es aplicable a los bienes de capital, mano de obra y recursos. Las variables correspondientes para el vaciado de

los mercados son los precios (p_i, p_F, p_K, P_R, w) . Estos se ajustan hasta que la oferta es igual a la demanda de un determinado producto o factor.

Oferta igual a demanda

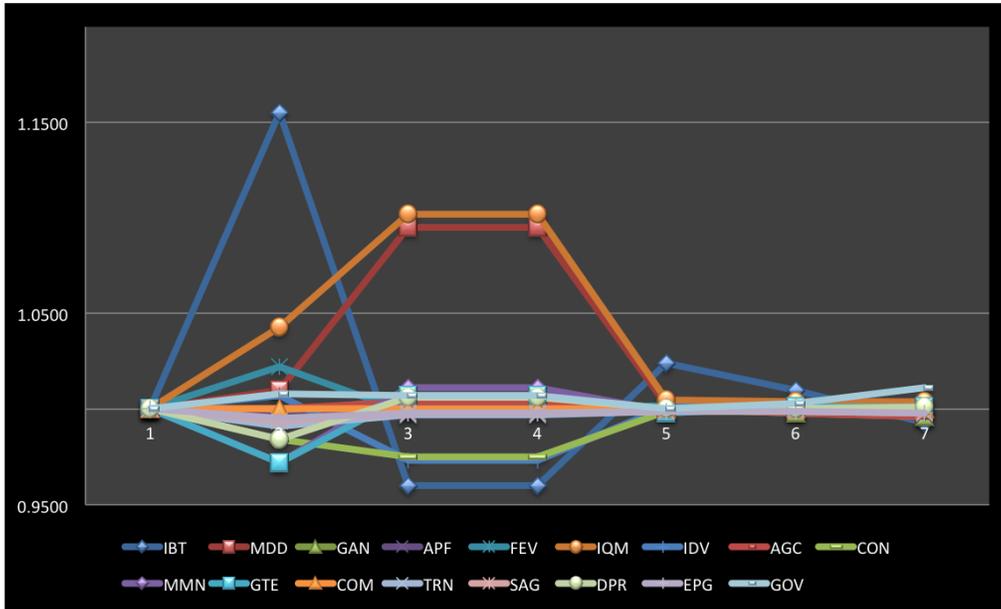
$$\sum_i p_i A_i^3 w \bar{L} + p_K \bar{K} + p_R \bar{R} + trn - I = GOV, RA$$

La tercera condición es que, en un equilibrio, el valor de los ingresos de cada agente debe ser igual al valor total de los gastos. Las funciones aquí representadas cumplen el supuesto de la no saciedad, por lo que la ley de Walras siempre se mantiene.

4.3 Resultados

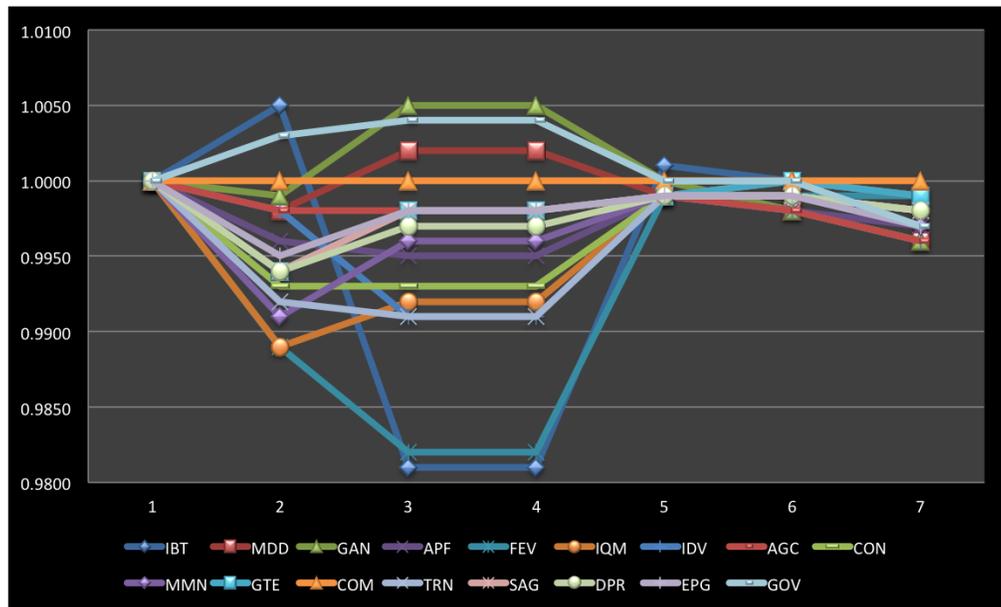
En el modelo ALEXIM-2003 se aplicó un impuesto gradual sobre las exportaciones en 7 etapas, la primera corresponde al estado de equilibrio inicial de la economía replicado a través de la SAMEX-2003. Las etapas subsecuentes (2 a 7) varían gradualmente el impuesto hasta llegar a un 10% sobre el total exportado al RDM. Todos los datos se encuentran representados en variaciones porcentuales respecto del equilibrio, es decir, el estado inicial viene dado por el numerario 1 y las variaciones se encuentran en un intervalo comprendido entre $0 < x < 1$ para disminuciones y $1 < x < 2$ para aumentos.

La gráfica 1 muestra la variación en el nivel de producción total (incluyendo bienes domésticos e importados), podemos ver que, en cierta medida, se comprueba la hipótesis que, ante un aumento en el costo de nuestras importaciones se genera un incremento en la demanda de bienes y servicios nacionales, pero no en todos ellos, contrario al planteamiento inicial que preveía un aumento generalizado. Los más favorecidos en un principio son la industria de bebidas y tabaco, junto con la industria química y el manejo de desechos. Se puede apreciar que, a medida que el impuesto aumenta, la producción se va estandarizando, asimilando los costos implícitos, sin embargo, la mayoría de los sectores queda por encima del precio inicial, es decir, se tiene un encarecimiento en la producción nacional de aproximadamente 2% luego de que se aplica un arancel del 10%.



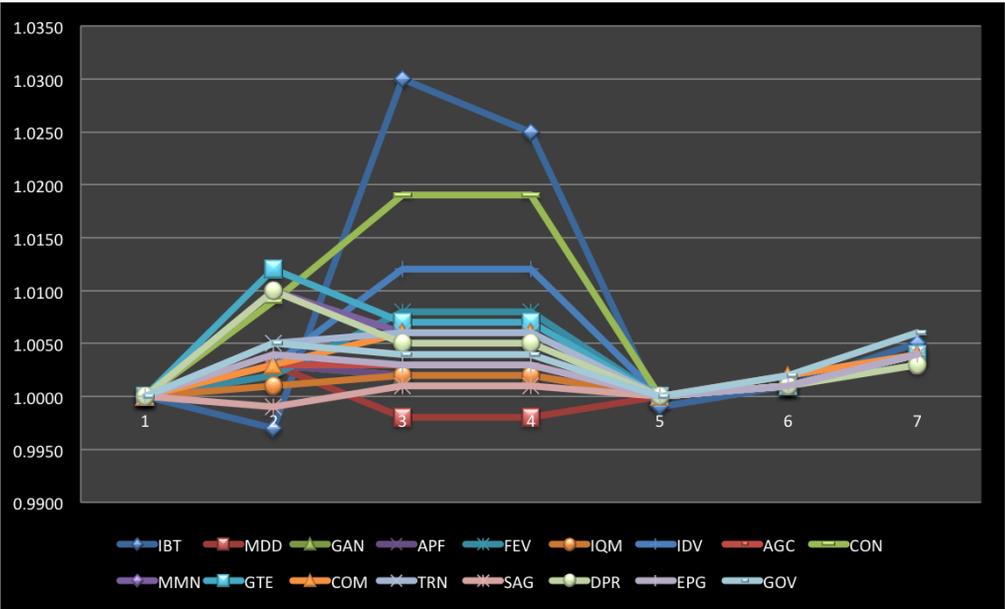
Gráfica 1 Variación en el nivel de producción. Fuente elaboración del autor.

Por el lado de la demanda agregada, tenemos una distribución muy variada, donde en un principio hay sectores que se ven favorecidos a ciertos niveles. Sin embargo, cuando el impuesto llega a su tope de 10%, todos los sectores quedan por debajo de la demanda inicial. Esto concuerda totalmente con la teoría planteada en el capítulo II, donde se afirma que ante un gravamen ecológico restrictivo, los bienes de la economía exportadora se encarecen por lo que no son demandados por la economía impositora, por lo que al aumentar sus precios (véase gráfico 1) se reducirá la demanda.



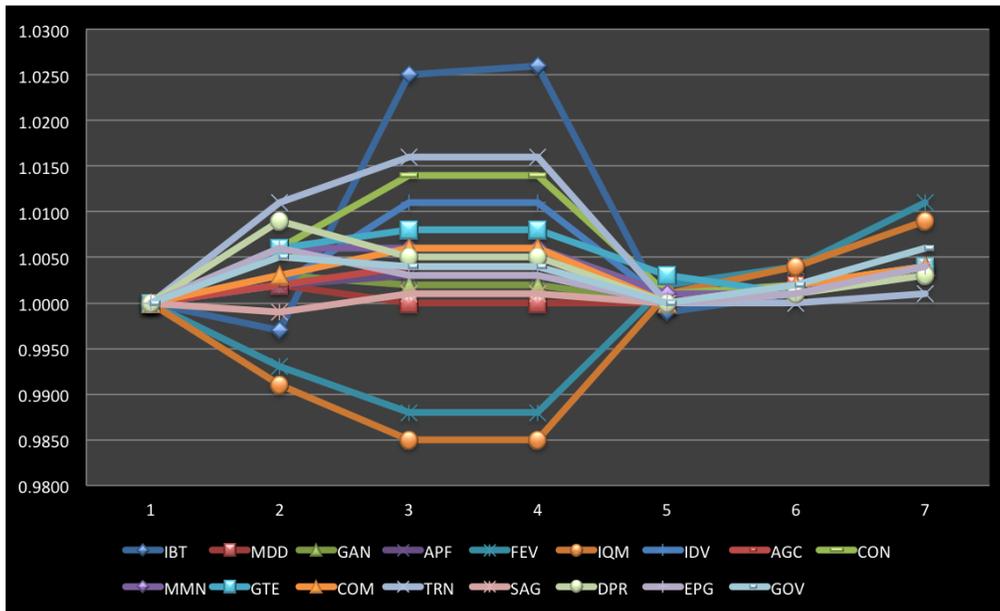
Gráfica 2 Variación de la demanda agregada. Fuente elaboración del autor

El precio de la producción total, mostrado en el gráfico 3, se ve afectado con la imposición del arancel ecológico. Si bien, en un principio el aumento es pequeño, rondando el 2% en la mayoría de los sectores (aunque hay algunos que se ven favorecidos como la industria del tabaco, el manejo de desechos y el suministro de agua y gas), al final de la imposición, todos reportan un aumento significativo en los precios que va de 4 a 7%. Esto cobra sentido con la reducción en la producción de la gráfica. De este gráfico se concluye que un aumento en los precios relativos de los bienes y servicios ocasionará que su demanda se vea reducida.



Gráfica 3 Precio de la producción total

El gráfico 4 muestra la variación en el precio del bien intermedio, el cual presenta un aumento que va del 2 al 11% respecto del equilibrio inicial, corroborando la hipótesis preliminar: un impuesto al carbono genera un aumento en el precio de los bienes y servicios de la economía que lo implementa, encareciendo sus exportaciones y por tanto el precio de nuestras importaciones.



Gráfica 4 Variación en el precio del bien intermedio. Fuente elaboración del autor.

El comportamiento de las exportaciones y las importaciones es acorde al planteado en la hipótesis, el gráfico 5 representa la relación que las series muestran, primero con la implantación del impuesto al carbono y posteriormente con la introducción del arancel ecológico.

En un primer momento, cuando se implanta el impuesto al carbono, los bienes y servicios extranjeros se encarecen, por lo que los agentes dejan de consumir al interior de su economía y comienzan a buscar sustitutos al extranjero, además, su balanza comercial se ve deteriorada porque, al tener precios más elevados, se reduce la demanda de sus bienes. México, al no pagar el impuesto, tiene una ventaja de costos sobre la economía extranjera, y por ende sus exportaciones mejoran considerablemente. Esto se representa en las simulaciones 1 a 3 del gráfico 5.

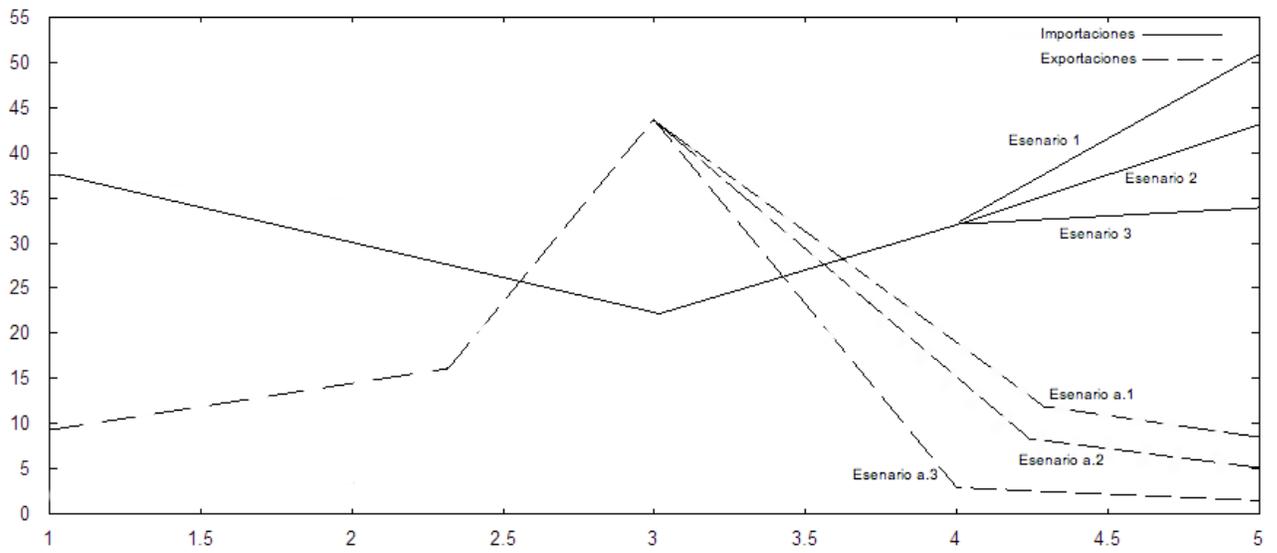
Estos incentivos generados por el impuesto al carbono, pueden verse resarcidos por otra herramienta como un arancel ecológico. Este arancel, como se revisó en el capítulo II, pretende eliminar, en la medida de lo posible, las distorsiones al mercado y, de acuerdo a las simulaciones lo logra en buena medida, pero como todo impuesto, genera nuevas distorsiones que ahora afectan de manera negativa a México.

De la simulación 3 a la simulación 5 se muestran las afectaciones que el arancel tiene al interior de la economía mexicana, primero, las exportaciones caen, porque ahora se tiene que pagar un arancel, lo que aumenta el costo de nuestras exportaciones, reduciendo su

volumen. Por el lado de las importaciones provenientes del extranjero, vemos que estas vuelven a aumentar, esto porque supusimos que México tiene incentivos a subir sus precios para invertir en investigación y desarrollo para poder cumplir con sus objetivos de reducción de emisiones, con lo que los bienes nacionales se vuelven un poco más costos, porque ahora cargan el costo de quien contamina paga.

Los aumentos o disminuciones en el nivel de exportaciones e importaciones dependerá del grado de elasticidad de la demanda. Para las importaciones mexicanas, tenemos que estas pueden crecer más que un nivel inicial si suponemos que México tiene una curva muy inelástica por los bienes extranjeros (escenario 1), transfiriéndose el costo del arancel directamente al consumidor. De igual manera, pueden aumentar un poco si la curva de demanda es semi elástica (escenario 2), repartiendo el costo del impuesto entre consumidores y productores. O bien, pueden caer a menos que el nivel inicial si la curva de demanda es completamente elástica (escenario 3), donde el impuesto es absorbido en su totalidad por el productor extranjero.

Respecto a las exportaciones, también se recrearon tres escenarios posibles, el razonamiento es similar al anterior. En un primer escenario (a.1) las exportaciones se mantienen iguales, suponiendo que el arancel es absorbido en su totalidad por el consumidor extranjero puesto que posee una curva de demanda inelástica. Para el escenario (a.2) las exportaciones caen poco menos que en el equilibrio, debido a que el arancel se reparte entre consumidor y productor, aquí las preferencias de los consumidores extranjeros se representan por una curva de demanda semi elástica. Finalmente, el escenario (a.3) hace referencia a una curva extranjera de demanda completamente inelástica, con lo que las exportaciones caen en la misma medida que el impuesto, aquí el productor asume por completo el productor nacional.



Gráfica 5 Variación en las importaciones y las exportaciones.

Conclusiones

Hoy día el cambio climático es uno de los problemas centrales de la humanidad. Aunque existe cierto grado de incertidumbre en cuanto a su velocidad de incidencia, las consecuencias observadas marcan la antesala de lo que puede ser una de las mayores externalidades por su escala y nivel de incidencia. De acuerdo con el informe Stern (2008), las consecuencias de la inacción serán tanto más graves si no se toman medidas inmediatas para reducir las emisiones.

A lo largo del estudio se revisaron las acciones más relevantes llevadas a cabo por los países para reducir su contaminación. Una herramienta que ha cobrado más popularidad entre los analistas por su fácil implementación son los impuestos al carbono. Se puede decir que son de fácil recaudación, quien consume el bien que se grava paga el impuesto y quien más consume, más paga. Hay autores que han propuesto su uso ante el relativo fracaso de Kioto. Pero como se verá, si esto se llevara a cabo, sin duda se generarían ciertos inconvenientes hacia la economía que lo implemente. Primero, como los consumidores son racionales, ante un aumento en los precios reducirían la demanda, por lo que el consumo interno se vería afectado. De igual manera, los productores al ver sus costos aumentados, buscarían la manera de no cargar con esa imposición. Una de ellas podría ser buscar un sustituto en el extranjero que le represente un mejor margen de ganancia que producirlo en su país, la otra opción es llevarse su producción a otro país donde la normatividad en materia de regulación ambiental sea más laxa.

Como el gobierno extranjero pretende reducir sus emisiones, pero no está dispuesto a subarrendar su producción nacional a un “paraíso” contaminante; ni tampoco quiere que sus mercados se llenen de productos con altos contenidos de carbono, tiene que eliminar los incentivos que creó con el impuesto. Es por ello que no sería difícil que el gravamen al carbono pudiera venir acompañado de un arancel al carbono. Este arancel elimina las pretensiones de los productores de querer salir a producir fuera y luego importar, puesto que, el costo a afrontar en esta situación sería mayor al de quedarse y cumplir con la normatividad. Sin embargo, el incentivo de sus consumidores, de adquirir bienes más baratos en otras economías continúa, estos bienes ya no están disponibles al precio inicial, el arancel se encarga de romper con la competitividad creada por el impuesto al

carbono hacia estos bienes. Este escenario fue considerado como solo una posibilidad en el estudio de Baumol y Oates hace cerca de 35 años, sin embargo, como se revisó en apartados anteriores, la posibilidad se ve cada vez más cercana.

Mediante el MEGC, pudimos comprobar la hipótesis planteada al inicio, un arancel ecológico, aumentará los precios dentro de la economía mexicana vía la balanza comercial. En un primer momento, suponiendo a la economía mexicana como una pequeña economía abierta, si la aplicación del arancel ecológico, se ve favorecida en las exportaciones y perjudicada en las importaciones. Las exportaciones crecen porque, al no pagar el impuesto, se vuelven más competitivas, en comparación con quienes sí lo pagan. Mientras tanto, las importaciones decaen, debido a que los productores extranjeros tienen que hacer frente al impuesto al carbono, lo que encarece sus bienes y servicios.

Con la implementación del arancel ecológico, se generan nuevas consecuencias para México, la mayoría negativas. Con un gravamen del 10% sobre las exportaciones, la producción nacional aumenta un 2% para cubrir el exceso de demanda que se generó por la reducción de las importaciones. Esto trae como consecuencia un aumento en los precios de alrededor de 5%. Ante un aumento en los precios de los bienes extranjeros, la demanda agregada se ve perjudicada en la mayoría de los sectores, con caídas que van desde el 1 al 5 %, siendo el sector comunicaciones el único que no varía. Con estas dos consecuencias, los precios se ven encarecidos entre 4 y 7%.

Ante estas nuevas formas de reducir la contaminación, México se encuentra “desprotegido”, principalmente porque se han dejado muchas cosas de lado. Si bien ha existido un cambio tecnológico que ha favorecido en buena medida a la reducción de las emisiones contaminantes, aún se continúa utilizando energías con altos contenidos de emisiones, con lo que la huella de carbono del país no disminuye. El no poder reducir el contenido de emisiones de nuestros bienes y servicios, nos deja en una posición vulnerable ante las acciones de países que ejecuten acciones para dejar de contaminar. Estas acciones vienen acompañadas de elementos que “motivan” a los contaminadores a dejar de hacerlo o a pagar por continuar contaminando.

Como se revisó en el capítulo 4, un arancel ecológico, tendría repercusiones en la balanza de pagos de México, alterando el equilibrio de la economía, encareciendo nuestros productos. Definitivamente presionaría a México a dejar de contaminar o a pagar por ello. Por estas razones, las acciones que se decidan en materia ambiental, deberán

estar encaminadas a reducir esta vulnerabilidad. A presentar alternativas de cambio tecnológico para que en un futuro, cualquier acción extranjera no afecte negativamente a nuestra economía. Como bien señala el informe Stern (2010) para México, los costos de actuar previsoramente serán menores que los de actuar reactivamente.

Bibliografía

Ahmad, N. and A. Wyckoff (2003), “Carbon Dioxide Emissions Embodied in International Trade of Goods”, *OECD Science, Technology and Industry Working Papers*, 2003/15, OECD Publishing. doi: 10.1787/421482436815

Aldy, Joseph E. and Robert N. Stavins. 2010. *Post-Kyoto International Climate Policy: Implementing Architectures for Agreement*. New York: Cambridge University Press.

Aldy, Joseph E., R. Baron, and L. Tubiana. 2003. “Addressing Cost: The Political Economy of Climate Change.” In: *Beyond Kyoto: Advancing the International Effort Against Climate Change*, ed. Elliot Diringer. Arlington, Virginia: Pew Center on Global Climate Change, pp. 85-110.

Aldy, Joseph E., Scott Barrett, and Robert N. Stavins. 2003. “Thirteen Plus One: A Comparison of Global Climate Policy Architectures.” *Climate Policy* 3(4):373–97.

Armington, P.S. (1969) “A Theory of Demand for Products Distinguished by Place of Production.” *International Monetary Fund Staff Papers* 16, 159-76.

Aroche-Reyes F. (2000). Reformas estructurales y composición de las emisiones contaminantes industriales. Ambiente y Desarrollo, CEPAL, N.U., Santiago de Chile.

Arrow, K.J., and G. Debreu (1954) “Existence of an Equilibrium for a Competitive Economy.” *Econometrica*, 22, 265-90.

Azqueta, D., M. A. Ramírez, et al. (2007). *Introducción a la Economía Ambiental*. Madrid, Mc Graw-Hill Interamericana de España, S. A. U.

Barrett, Scott, and Robert N. Stavins. 2003. “Increasing Participation and Compliance in International Climate Change Agreements.” *International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics* 3(4): 349–76.

Barrett, Scott. 2008. “A Portfolio System of Climate Treaties.” Discussion Paper 08-13, Harvard Project on International Climate Agreements, Belfer Center for Science and International Affairs, Harvard Kennedy School, October.

Baumol W. J. Y W. E. Oates. (1975) *La teoría de la política económica del medio ambiente*. New Jersey, Antoni Bosch.

Bosetti, Valentina, and Jeffrey Frankel. 2010. “Global Climate Policy Architecture and Political Feasibility: Specific Formulas and Emissions Targets to Attain 460 ppm CO₂ Concentrations.” *Review of Environmental Economics and Policy* (this issue).

Boyd, R., Krutilla, K. y Viscusi, W.K. (1995) “Energy taxation as a policy instrument to reduce CO₂ emissions: A net benefit analysis”, *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 29, pp. 1-24.

Cao, Jing. 2010. “Beyond Copenhagen: Reconciling International Fairness, Economic Development, and Climate Protection.” *Review of Environmental Economics and Policy* (this issue).

Comisión Europea (1992) "Propuesta de directiva del consejo por la que se crea un impuesto sobre las emisiones de dióxido de carbono y la energía", COM (92) 226 final, 30 de Junio.

Comisión Europea (1993) "Stable Money-Sound Finances. Community public perspective of EMU", *European Economy*, n. 53.

Comisión Europea (1995) "Propuesta modificada de directiva del consejo por la que se crea un impuesto sobre las emisiones de dióxido de carbono y sobre la energía", COM (95) 172 final, 10 de Mayo.

Comisión Europea (1997) "Propuesta de directiva del consejo por la que se reestructura la estructura comunitaria de imposición de los productos energéticos", COM (97) final, 12 de Marzo.

Cooper, Richard. 1998. "Toward a Real Treaty on Global Warming," *Foreign Affairs* 77(2): 66–79.

Cooper, Richard. 2001. "The Kyoto Protocol: A Flawed Concept." FEEM Working Paper No. 52.2001, July.

Cooper, Richard. 2008. "The Case for Charges on Greenhouse Gas Emissions." Discussion Paper 08-10, Harvard Project on International Climate Agreements, Belfer Center for Science and International Affairs, Harvard Kennedy School, October.

Cordera, R. (1985). Desarrollo y crisis de la economía mexicana. México, Fondo de Cultura Económica.

Cornes, R. and T. Sandler (1986). The theory of externalities, public goods, and club goods. United States of America, Cambridge University Press.

Cuevas, Fernando and Julie Lennox (2009), *Informe de factibilidad. Economía del cambio climático en Centroamérica* (LC/MEX/L.897), Mexico City, Economic Commission for Latin America and the Caribbean, ECLAC subregional headquarters in Mexico.

Dilley, M., R.S.Chen, U. Deichmann, A.L. Learner-Lam y M. Arnold (2005), Natural Disaster Hotspots: A Global Risk Analysis, Disaster Risk Management. Series No. 5, World Bank, Washington DC.

Edmonds, J. , S. H. Kim, C. N. McCracken, R. D. Sands, and M. A. Wise. 1997. *Return to 1990: The Cost of Mitigating United States Carbon Emissions in the Post-2000 Period*. Washington, D.C.: Pacific Northwest National Laboratory, operated by Battelle Memorial Institute.

Ekins, P. y Barker, T. (2001) "Carbon taxes and carbon emissions trading", *Journal of Economic Surveys*, vol. 15, n. 3, pp. 325-376.

Emmanuel, K. (2005), Increasing Destructiveness of Tropical Cyclones over the past 30 years, *Nature* 436, 686-688.

Frankel, Jeffrey. 1999. "Greenhouse Gas Emissions." *Policy Brief* No. 52. Washington, D.C.: Brookings Institution.

Frankel, Jeffrey. 2005. "You're Getting Warmer: The Most Feasible Path for Addressing Global Climate Change Does Run Through Kyoto." In: *Trade and the Environment in the Perspective of the EU Enlargement*, ed. M. Tamborra and J. Maxwell. Cheltenham, United Kingdom: Edward Elgar, pp. 37-58.

Frankel, Jeffrey. 2008. "An elaborated proposal for global climate policy architecture: Specific formulas and emission targets for all countries in all decades," Discussion Paper 2008-08, Cambridge, MA: Harvard Project on International Climate Agreements, October.

Fernández, A. Y Julia Martínez. 2004. Las comunicaciones nacionales del cambio climático. En: Cambio climático: una visión desde México. Julia Martínez y Adrián Fernández Coordinadores. México, Distrito Federal. INE y SEMARNAT.

Fujigaki, E. (1997). La industria mexicana y su historia, siglos XVIIIm XIX y XX. México, Facultad de Economía.

Galindo, L.M. (2009), *La economía del cambio climático en México*, Mexico City, Secretariat of the Environment and Natural Resources (SEMARNAT).

Gay, C., et al. 2003. Integrated Assessment of Social Vulnerability and Adaptation to Climate Variability and Change Among Farmers in Mexico and Argentina. UNDEP- START Project, Funded by GEF.

Gracida, E. M. (2004). El desarrollismo. México, OCEANO.

Grubb, Michael. 2003. "The Economics of the Kyoto Protocol," *World Economics* 4(3): 143–89.

Goulder, L.H, (1995), Effects of Carbon Taxes in an Economy with Prior Tax Distortions: An Intertemporal General Equilibrium Analysis, *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 2, pp. 157-183.

Hahn, Robert W. and Robert N. Stavins 2010. "The Effect of Allowance Allocations on Cap-and-Trade System Performance." Harvard Kennedy School Faculty Research Working Paper Series RWP10-010. Cambridge, Massachusetts.

Hahn, Robert W., and Robert N. Stavins. 1999. *What Has the Kyoto Protocol Wrought? The Real Architecture of International Tradable Permit Markets*. Washington, D.C.: American Enterprise Institute Press.

Harstad, Bard. 2008. "How to Negotiate and Update Climate Agreements." Discussion Paper 08-19, Harvard Project on International Climate Agreements, Belfer Center for Science and International Affairs, Harvard Kennedy School, November.

Hosoe, N., Kenji Gasawa, Hideo Hashimoto (2010). Textbook of computable general equilibrium modelling. Programming and simulations. Ed. Palgrave macmillan.

Ibarrarán, María E., Boyd, R.(2007), Los impuestos al carbono y la economía mexicana. El efecto del cumplimiento de las restricciones impuestas por el calentamiento global. El caso de México. *El Trimestre Económico*, 233-268

International Energy Agency (2010) *CO2 emissions from fuel combustion* (2000 edition), OECD/IEA, Paris.

International Energy Agency (2010) *Energy Balances of OECD Countries. 1998-1999*. OECD/IEA, Paris.

IPCC (1996a). Intergovernmental Panel on Climate Change, *Climate Change 1995: The Science of Climate Change. The Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, J.P. Houghton, L.G. Meira Filho, B.A. Callendar, A. Kattenberg, and K. Maskell (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, UK.

IPCC (1996b). Intergovernmental Panel on Climate Change, *Climate Change 1995: Impacts, Adaptation, and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analysis. The Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, R.T. Watson, M.C. Zinyowera, R.H. Moss, eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK.

IPCC (1996c). Intergovernmental Panel on Climate Change *Climate Change 1995: Economic and Cross-Cutting Issues. The Contribution of Working Group III to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, J.P. Bruce, H. Lee, and E.F. Haites, eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK.

IPCC (2007a), *Climate Change 2007 - The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC*, Cambridge University Press.

IPCC (2007b), *Climate Change 2007- Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the IPCC*, Cambridge University Press.

Jaffe, Judson, and Robert N. Stavins. 2010. "Linkage of Tradable Permit Systems in International Climate Policy Architecture." Joseph E. Aldy and Robert N. Stavins, eds., *Post-Kyoto International Climate Policy: Implementing Architectures for Agreement*, pp. 119-150. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press.

Jenkins, R. (2001), "Globalisation, trade liberalisation and industrial pollution in Latin America", in *Industry and Environment in Latin America*, ed. Rhys Jenkins (London: Routledge Research Global Environmental Change,2001) 13.

Lackner, Klaus. 2005. "Carbon Management Technology." Paper presented at "Global Warming: Looking Beyond Kyoto," Yale University, New Haven, Connecticut, October 21-22.

Leggett, J. (1990). *El Calentamiento del Planeta: Informe de Greenpeace*. United States of America, Fondo de Cultura Económica.

Light, M. (2001). *An General Equilibrium Model for tax policy*. (Unpublished).

Masera, O. y Sheibaum, C. (2004). Mitigación de emisiones de carbono y prioridades de desarrollo nacional. En: *Cambio climático: una visión desde México*. Julia Martínez y Adrián Fernández Coordinadores. México, Distrito Federal. INE y SEMARNAT.

Mendelsohn, Robert. 2008. "The Policy Implications of Climate Change Impacts." In: *Global Warming: Looking Beyond Kyoto*, ed. Ernesto Zedillo. Washington, DC: Center for the Study of Globalization, Yale University and Brookings Institution Press, pp. 82-88.

- Nafinsa (1974). Nacional Financiera, S. A. Statistics on the Mexican economy.
- Nakicenovic, N. and R. Swart, eds. 2000. *Intergovernmental Panel on Climate Change Special Report on Emissions Scenarios*. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press.
- Nakicenovic, Nebojsa, W. Nordhaus, R. Richels, and F. Toth, eds. (1996). *Climate Change: Integrating Science, Economics, and Policy*, IIASA, CP-96-1, 1996. National Academy of Sciences [1983]. *Changing Climate*, Washington, D. C., National Academy Press.
- NationMaster. Disponible en www.nationmaster.com
- Newell, Richard G. 2008. "International Climate Technology Strategies." Discussion Paper 08-12, Harvard Project on International Climate Agreements, Belfer Center for Science and International Affairs, Harvard Kennedy School, October.
- Nordhaus, W. D. and J. G. Boyer (1999). "Requiem for Kyoto: An Economic Analysis of the Kyoto Protocol."
- Nordhaus, William D. (2008a). "Economic Analyses of Kyoto Protocol: Is There Life After Kyoto?" In: *Global Warming: Looking Beyond Kyoto*, ed. Ernesto Zedillo. Washington, DC: Center for the Study of Globalization, Yale University and Brookings Institution Press, pp. 91-100.
- Nordhaus, W. (2008b), *A Question of Balance: Economic Modeling of Global Warming*, Yale Press. Nordhaus, W. and J. Boyer (2000), *Warming the World: Economic Models of Global Warming*, Cambridge, Massachusetts, MIT Press.
- O'Connor, M. (1997), "The internalization of environmental costs: implementing the Polluter Pays principle in the European Union", *International Journal of Environment and Pollution*, Vol. 7, n. 4, pp. 450-482.
- OECD (1993), *OECD Economic Studies: Special Issue on the Economic Costs of Reducing CO2 Emissions*, No. 19, Winter 1992, OECD, Paris.
- OECD (1995), *Global Warming: Economic Dimensions and Policy Responses*, OECD, Paris.
- Organization for Economic Co-operation and Development (OECD) (1997) *Evaluating Economic Instruments for Environmental Policy*. OECD, Paris.
- OECD (1999). Action Against Climate Change The Kyoto Protocol and Beyond. United States of America, OECD.
- OECD (1999). National Climate Policies and the Kyoto Protocol. United States of America, OECD.
- Pearce, D. (1991) "The role of carbon taxes in adjusting to global warming", *Economic Journal*, vol. 101, pp. 938-948.
- Poterba, J. (1991) "Tax policy to combat global warming", En Dornbusch, R. y Poterba, J. (Eds.) *Global Warming: Economic Policy Responses*. MIT Press, Cambridge MA, pp. 71-98.

Quintanilla, J. 2004. Escenarios de emisiones futuras en el sistema energético mexicano. En: Cambio climático: una visión desde México. Julia Martínez y Adrián Fernández Coordinadores. México, Distrito Federal. INE y SEMARNAT.

Reilly, J. M. and M. Anderson (1992). Economic Issues in Global Climate Change. United States of America, Westview Press.

Ruíz, P. (2008). Distribución de los costos del cambio climático - un enfoque insumo producto -, SEMARNAT.

Rutherford, T.F. (1994) "Applied general equilibrium modeling with MPSGE as a GAMS sub- system." In T.Rutherford, ed., The GAMS/MPSGE and GAMS/MILES User Notes. Washington: GAMS Development Corporation.

Samaniego, J.L. (coord.) (2009), "Cambio climático y desarrollo en América Latina y el Caribe. Una reseña", *Project documents*, No. 232 (LC/W.232), Santiago, Chile, Economic Commission for Latin America and the Caribbean (ECLAC).

Samaniego, J.L. and L.M. Galindo (2009a), "Escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a combustible fósiles en América Latina: una aproximación empírica", Santiago, Chile, Economic Commission for Latin America and the Caribbean (ECLAC), unpublished.

SENER (Secretaría de energía) (2010). www.sener.gob.mx/portal/cambio_climatico.html

Shogren, Jay F., and Michael A. Toman. 2000. "Climate Change Policy." In: *Public Policies for Environmental Protection*, Second Edition, ed. Paul R. Portney and Robert N. Stavins. Washington, DC: Resources for the Future, pp. 125-168.

Speck, S. (1999) "Energy and carbon taxes and their distributional implications", *Energy Policy*, vol. 27, pp. 659-667.

Stavins, Robert N. 1997. "Policy Instruments for Climate Change: How Can National Governments Address a Global Problem?" *The University of Chicago Legal Forum*, 1997, pp. 293-329.

Stavins, Robert N. 1998. "What Can We Learn from the Grand Policy Experiment? Lessons from SO2 Allowance Trading." *Journal of Economic Perspectives*, 12(3): 69-88.

Stern, N. (2008), "The economics of climate change", *American Economic Review*, vol. 98, No. 2. (2007), *The Economics of Climate Change. The Stern Review*, London, Cambridge University Press.

Tickner, J., Carolyn Raffensperger, Nancy Myers. The precautionary principle in action. A Handbook. Written for the science and environmental health network.

UNFCCC (1992). Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático. Conferences of the Parties. UNFCCC. Nueva York: 50.

UNFCCC (1997). Protocolo de Kyoto. Conference of the Parties 3 Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático. UNFCCC. Kyoto, UNFCCC: 31.

UNFCCC (2006). Manual Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático, UNFCCC.

UNFCCC (2006). Manual, Dependencia de Asuntos Intergubernamentales y Jurídicos de la Secretaría del Cambio Climático.

Victor, David G. 2001. *The Collapse of the Kyoto Protocol and the Struggle to Slow Global Warming*. Princeton, New Jersey: Princeton University Press.

Victor, David G. 2007. "Fragmented carbon markets and reluctant nations: Implications for the design of effective architectures," In: *Architectures for Agreement: Addressing Global Climate Change in the Post-Kyoto World*, ed. Joseph E. Aldy and Robert N. Stavins. New York: Cambridge University Press, pp. 133-172.

Walras, L (1954). *Elements of pure economics*. Routledge Library Editions.

Apéndice I

Simbología ALEXIM-2003

Elemento	Descripción
$i \text{ o } j$	Sectores (enlistados en la tabla 8)
l	Trabajo
k	Capital
m	Tipos de comercio
Y_i	Producción del bien i (total)
x_{ij}	Bien intermedio i para productor en el sector j
L_i	Nivel de trabajo en el sector i
K_i	Nivel de capital en el sector i
\bar{R}_i	Nivel de recursos en el sector i
A_i	Demanda bien Armington (importaciones y producción nacional)
E_i	Exportaciones del bien i
D_i	Producción nacional del bien i
M_i	Importaciones del bien i
I_i	Consumo de inversión de i
G_i	Consumo del gobierno
C_i	Consumo hogares
a_{ij}	Parámetros de intercambio entre factores
t_i, t_F, t_K	Impuestos a producción, trabajo y capital
vat_i	Impuesto al valor agregado
p_i	Precio del bien Armington
w_i	Salarios
r_K	Precio capital
px	Precio sector externo

Apéndice II

Código de Programación

```
$title MEGC ALEXIM - 2003
$title Reservados todos los derechos.

set      r      Columnas SAM /1*36/;

alias (r,c);

set      s      Sectores /
IBT      Industria de bebidas y tabaco
MDD      Manejo de desechos
GAN      Ganaderia
APF      Aprovechamiento Forestal
FEV      Fabricacion equipo medico y de computo
IQM      Industria quimica
IDV      Industria de vestido
AGC      Agricultura
CON      Construccion
MMN      Mineria metalica y no metalica
GTE      Generacion y transmision de energia
COM      Comunicaciones
TRN      Transporte
SAG      Suministro agua y gas
DPR      Derivados del petroleo y refinacion
EPG      Extraccion de petroleo y gas
GOV      Servicios de gobierno /;

set map(*,r)      Mapeando a las columnas de la SAM /
IBT.1      Industria bebidas y tabaco
MDD.2      Manejo de desechos
GAN.3      Ganaderia
APF.4      Aprovechamiento Forestal
FEV.5      Fabricacion equipo medico y de computo
IQM.6      Industria quimica
IDV.7      Industria de vestido
AGC.8      Agricultura
CON.9      Construccion
MMN.10     Mineria metalica y no metalica
GTE.11     Generacion y transmision de energia
COM.12     Comunicaciones
TRN.13     Transporte
SAG.14     Suministro agua y gas
DPR.15     Derivados del petroleo y refinacion
EPG.16     Extraccion de petroleo y gas
GOV.17     Servicios de gobierno /;

$include sam.dat
```

```

display sam
parameter chksam(r)  Verificando la consistencia de la SAM;
chksam(r)=sum(c,sam(r,c)-sam(c,r));
display "consistencia de la SAM:", chksam;

*      Escalando la SAM:

sam(r,c) = sam(r,c)/1000;

alias (s,ss);

set      l      Trabajo /formal/,
         k      Tipos de capital /public, private/,
         m      Tipo de intercambio /trade, commerce/;

parameter
         d0(s)      Oferta interna
         x0(s)      Exportaciones
         ty(s)      Tasa de impuestos indirectos
         id0(s,ss)  Demanda intermedia
         rd0(s)     Impuestos netos por sector
         ld0(l,s)   Salarios netos por sector
         rk0(k,s)   Pagos por el capital
         vat(s)     Impuesto al valor agregado (IVA)
         pk0(k,s)   Precio del capital
         pl0(l,s)   Precio del trabajo
         tk(k)      Impuestos al capital
         tl(l)      Impuestos al trabajo

         a0(s)      Oferta bienes Argmington
         ms0(m,s)   Oferta marginal
         md0(m,s)   Demanda marginal
         m0(s)      Importaciones por sector
         tm(s)      Impuesto a las importaciones
         pm0(s)     Precio de referencia de las importaciones

         i0(s)      Demanda de inversion

         g0(s)      Demanda del gobierno
         govtinv    Demanda de inversion del gobierno
         govtk(k)   Ingresos del gobierno por capital
         govtrn     Transferencias del gobierno

         c0(s)      Demanda de los hogares (consumo)
         hhinv      Demanda de los hogares (inversion)
         hhk(k)     Ingresos netos de los hogares
         hhtrn      Transferencias de los hogares
         ls0(l)     Oferta de trabajo de los hogares

         vatrev     Ingresos derivados del iva por sector

```

```

        indtax          Pagos de impuestos indirectos por setor
(después del iva)
        wagetax         Impuestos directos al trabajo
        capitalex       Impuestos directos sobre ingresos del
capital;

$if not set resource $set resource 1
$if not set etrndx   $set etrndx 20
$if not set etrn1   $set etrn1 1
$if not set esubdm  $set esubdm 0
$if not set esubkl  $set esubkl 1

loop((s,ss,r,c)$map(s,r)*map(ss,c)), id0(s,ss) = sam(r,c); sam(r,c)
= 0;);

loop((s,c)$map(s,c),

*      Componentes de la demanda final:

c0(s) = sam(c,"28"); sam(c,"28") = 0;
g0(s) = sam(c,"29"); sam(c,"29") = 0;
x0(s) = sam(c,"32"); sam(c,"32") = 0;
i0(s) = sam(c,"34")+sam(c,"35")+sam(c,"36");
sam(c,"34")=0; sam(c,"35")=0; sam(c,"36")=0;

*      Demanda bienes extranjeros:

md0("trade",s) = max(0, sam("24",c));
ms0("trade",s) = max(0, -sam("24",c));
sam("24",c) = 0;

md0("commerce",s) = max(0, sam("23",c));
ms0("commerce",s) = max(0, -sam("23",c));
sam("23",c) = 0;

*      Ingresos por impuestos:

vatrev(s) = sam("21",c); sam("21",c) = 0;
indtax(s) = sam("20",c)+sam("25",c)+sam("26",c);
sam("20",c)=0;sam("25",c)=0;sam("26",c)=0;

*      Tarifas a las importaciones:

m0(s) = sam("32",c); sam("32",c) = 0;
tm(s)$m0(s) = sam("22",c)/m0(s); sam("22",c) = 0;
pm0(s) = 1 + tm(s);

*      Ingresos por pagos a salarios y capital:

wagetax = sam("27","28");
capitalex = sam("27","31");

```

```

*      Ingresos por impuestos al trabajo:

      ld0("formal",s) = sam("18",c); sam("18",c) = 0;

*      Ingresos por impuestos al capital:

      rk0("private",s) = sam("19",c); sam("19",c)=0;

);

*      Calculando los impuestos en el equilibrio:

tl("formal") = wagetax / (sum(s, ld0("formal",s))-wagetax);
ld0(l,s) = ld0(l,s) / (1+tl(l));

rk0("public","gov") = rk0("private","gov");
rk0("private","gov") = 0;
tk("private") = capitaltax / (sum(s, rk0("private",s))-capitaltax);
rk0(k,s) = rk0(k,s) / (1 + tk(k));
vat(s) = vatre(s) / (sum(l,ld0(l,s))+sum(k,rk0(k,s)));

parameter      rshare(s)      Reversion del capital por sector/

* Valores tomados aleatoriamente *

      GOV      0.25,
      MDD      0.5,
      GAN      0.75,
      APF      .25,
      FEV      0.2,
      IQM      0.1,
      EPG      0.75,
      AGC      0.25,
      CON      0.3,
      MMN      0.5,
      GTE      0.7,
      COM      0.8,
      TRN      0.1,
      SAG      0.2,
      DPR      0.4,
      IDV      0.9,
      IBT      0.45 /;

rd0(s) = %resource% * rshare(s) * sum(k, rk0(k,s));
rk0(k,s) = (1- %resource% * rshare(s)) * rk0(k,s);
pl0(l,s) = 1 + vat(s) + tl(l);
pk0(k,s) = 1 + vat(s) + tk(k);

d0(s) = sum(ss, id0(ss,s))

```

```

+ rd0(s)*pk0("private",s)
+ sum(l, ld0(l,s)*pl0(l,s))
+ sum(k, rk0(k,s)*pk0(k,s))
- x0(s) + indtax(s);
ty(s) = indtax(s) / (d0(s) + x0(s));

parameter mktchk          Consistencia en los sectores;

a0(s) = d0(s) + m0(s)*pm0(s) + sum(m, md0(m,s)-ms0(m,s));
mktchk(s) = a0(s) - sum(ss, id0(s,ss)) - c0(s) - i0(s) - g0(s);
display mktchk;

govtk("public") = sum(s, rk0("public",s));
hhk("private") = sum(s, rk0("private",s));
govtinv = sam("35","29");
hhinv = sum(s, i0(s)) - govtinv;

*      Oferta de trabajo igual a demanda de trabajo:

ls0(l) = sum(s, ld0(l,s));

*      Transferencias de gobierno:

govttrn = sum(s, g0(s)) + govtinv - sum(k, govtk(k))
- sum(s, ty(s)*(d0(s)+x0(s)))
- sum(s,
      rd0(s)*(vat(s)+tk("private"))
      + sum(l, ld0(l,s)*(vat(s)+tl(l)))
      + sum(k, rk0(k,s)*(vat(s)+tk(k)))
      + tm(s)*m0(s));

*      Transferencias de los hogares:

hhtrn = sum(s, c0(s)) + hhinv
- sum(k, hhk(k)) - sum(l, ls0(l)) - sum(s, rd0(s));

scalar glvl      Nivel de gasto publico /1/;

set      ti      Impuestos / vat, ty, tm, tl, tk /;

$ontext

$model:ALEXIM

$sectors:
y(s)      ! Produccion
a(s)      ! Demanda agregada
inv       ! Inversion
cl        ! Nivel de consumo
ls        ! Oferta de trabajo

$commodities:

```

```

pd(s)    ! Precio bien domestico
p(s)     ! Precio bien intermedio (Argminton)
rk(k)    ! Tasa retorno capital
pm(m)    ! Precio comercio y transporte
pfx      ! Tipo de cambio
pinv     ! Precio inversion
w(l)     ! Salarios al trabajo
pc       ! IPC
pr(s)$rd0(s) ! Factores de retorno a la industria
wage     ! salarios

```

\$consumers:

```

hh       ! Hogares
govt    ! Gobierno

```

\$auxiliary:

```

tau(ti) ! Multiplicador del impuesto
kstock  ! Stock de capital

```

* Impuestos aplicados a la produccion:

```

*   ty:      Impuestos indirectos
*   vat:     Impuesto al valor agregado
*   tk:      Impuesto directo al capital
*   tl:      Impuesto directo al trabajo

```

\$prod:y(s) s:0 t:%etrndx% va:%esubkl%

```

o:pd(s) q:d0(s)          a:govt n:tau("ty") m:ty(s)
o:pfx   q:x0(s)          a:govt n:tau("ty") m:ty(s)
i:p(ss) q:id0(ss,s)
i:pr(s) q:rd0(s)         a:govt n:tau("vat") m:vat(s)
n:tau("tk") m:tk("private") p:pk0("private",s) va:
i:w(l)   q:ld0(l,s)      a:govt n:tau("vat") m:vat(s)
n:tau("tl") m:tl(l) p:pl0(l,s) va:
i:rk(k)  q:rk0(k,s)      a:govt n:tau("vat") m:vat(s)
n:tau("tk") m:tk(k) p:pk0(k,s) va:

```

* Oferta agregada

\$prod:a(s) s:0 t:0 dm:%esubdm%

```

o:p(s)   q:a0(s)
o:pm(m)  q:ms0(m,s)
i:pm(m)  q:md0(m,s)
i:pfx    q:m0(s) a:govt n:tau("tm") m:tm(s) p:pm0(s) dm:
i:pd(s)  q:d0(s) dm:

```

* Inversi{on por sector:

\$prod:inv

```

o:pinv   q:(sum(s,i0(s)))
i:p(s)   q:i0(s)

```

```

*           Transacciones de los hogares

$demand:hh
  d:pc           q:(sum(s,c0(s)))
  e:px           q:hhtrn
  e:wage         q:(sum(l,ls0(l)))
  e:pr(s)        q:rd0(s)
  e:pinv         q:(-hhinv)       r:kstock
  e:rk(k)        q:hhk(k)         r:kstock

$prod:cl  s:1
  o:pc           q:(sum(s, c0(s)))
  i:p(s)         q:c0(s)

$prod:ls  t:%etrnl%
  o:w(l)         q:ls0(l)
  i:wage         q:(sum(l,ls0(l)))

*           Transacciones del gobierno

$demand:govt
  d:p(s)         q:g0(s)
  e:px           q:govttrn
  e:pinv         q:(-govtinv)    r:kstock
  e:rk(k)        q:govtk(k)     r:kstock

$constraint:tau(ti)
  y("GOV") =e= glvl;

$constraint:kstock
  pinv =e= rk("private");

$offtext
$sysinclude mpsgeset ALEXIM

parameter      taxrates          Impuestos a1o base;

taxrates(s,"tm") = round(100 * tm(s));
taxrates(s,"ty") = round(100 * ty(s));
taxrates(s,"vat") = round(100 * vat(s));
option taxrates:0;
display taxrates, tl, tk;

tau.fx(ti) = 1;
kstock.fx = 1;

parameter      revenue Ingresos por impuestos
               report  Resumen costos por ingresos;

```

```

revenue("ty") = sum(s, ty(s)*(d0(s)+x0(s)));
revenue("tk") = sum(s, sum(k, tk(k)*rk0(k,s)) +
tk("private")*rd0(s));
revenue("vat") = sum(s,
(rd0(s)+sum(l,ld0(l,s))+sum(k,rk0(k,s)))*vat(s));
revenue("tl") = sum(s, sum(l,ld0(l,s)*tl(l)));
revenue("tm") = sum(s, m0(s)*tm(s));
display revenue;

parameter gdp;
gdp(s) = rd0(s)+sum(l,ld0(l,s))+sum(k,rk0(k,s));

option mcp=path;

*      Equilibrio inicial:

ALEXIM.iterlim = 0;
$include ALEXIM.gen
solve ALEXIM using mcp;
ALEXIM.iterlim = 8000;

*      Añadiendo el arancel ecologico:

alias (ti,taxinst);

parameter
      tolerance      Tolerancia
      results        Resumen de resultados;

loop(taxinst,

      tau.fx(taxinst) = 1.1;

$include ALEXIM.gen

      solve ALEXIM using mcp;

      tolerance(taxinst) = ALEXIM.objval;

      results(taxinst,"Importaciones") = 100 *
      (y.l("gov") -
1)*(d0("gov")+x0("gov"))/(0.1*revenue(taxinst));

      results(taxinst,"Exportaciones")$(y.l("gov")-1) = ((1-
cl.l)*sum(s,c0(s))/
      ((y.l("gov")-1)*(d0("gov")+x0("gov"))));

      results(taxinst,"kstock") = 100 * (kstock.l-1);

```

```
tau.fx(taxinst) = 1;  
);  
display results;  
$libinclude plot results
```