

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE ECONOMÍA

PROGRAMA DE ECONOMÍA DEL MEDIO AMBIENTE
Y RECURSOS NATURALES

ARTÍCULO PUBLICABLE

**Los Países en Desarrollo Frente al Mercado de Carbono:
Un Modelo Teórico**

ANDREA JARAMILLO LÓPEZ

Asesores: DRA. ANA MARÍA IBÁÑEZ
DR. FERNANDO JARAMILLO

Bogotá, marzo de 2003

1. INTRODUCCIÓN

La Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMCC) tiene como fin controlar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) que causan el cambio climático, sin sacrificar el crecimiento económico de los países involucrados. De ésta última condición surgen dos elementos clave: primero, se estableció –bajo el principio de responsabilidad compartida pero diferenciada- que los únicos países obligados a reducir sus emisiones en el primer período de cumplimiento (2008-2012) son los países industrializados, excluyendo así a los países en desarrollo¹. Segundo, con el objetivo de minimizar el costo de cumplimiento de los países industrializados, se creó un mercado de derechos de emisión que permite aprovechar las reducciones globales logradas a un menor costo². Así, aunque por el momento los países en desarrollo no están obligados a reducir sus emisiones, el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) les permite participar en el mercado de carbono al mitigar sus emisiones de GEI y vender los derechos de emisión resultantes.

Mediante el planteamiento de un modelo teórico para un país en desarrollo, este trabajo busca analizar dos elementos principales: primero, las decisiones de producción y cómo estas se ven afectadas con la imposición de restricciones en las emisiones de GEI; los resultados demostrarán la ineficiencia de introducir límites a la compra de derechos de emisión vendidos bajo el MDL. Segundo, los factores que afectan su decisión de participación en el mercado de carbono; en el momento de decidir sobre la cantidad de derechos de emisión a vender, es esencial que los países en desarrollo tengan en cuenta no solo los beneficios que les brinda el MDL sino el costo de sus futuras obligaciones de reducción. El modelo presentado toma como base el modelo de crecimiento económico y contaminación de Forster (1973), analizado por Selden y Song (1995).

Debido a que actualmente los países industrializados son los únicos que deben cumplir con las obligaciones ambientales impuestas por el Protocolo de Kyoto, la vasta literatura que existe sobre el tema se concentra en analizar los distintos problemas desde el punto de vista de las naciones industrializadas, enfocándose en el primer período de cumplimiento, 2008-2012. Este

¹ Aunque no se ha establecido el período en cuál los países en desarrollo deben asumir sus obligaciones ambientales, es claro que por ser el cambio climático un problema global, todos los países deben cumplir actualmente o en el futuro con una meta de reducciones, para así lograr una disminución importante en las emisiones de GEI).

² En la sección 3.3 se explica el instrumento de derechos negociables (o derechos de emisión en el caso del control de los GEI).

trabajo busca hacer un aporte a un campo relativamente olvidado: las decisiones que deben enfrentar tanto al corto como al largo plazo los países en desarrollo. Así, el objetivo general es el de, mediante el planteamiento de un modelo teórico, analizar las decisiones que enfrentan los países en desarrollo frente al mercado de carbono, con miras a maximizar sus beneficios de participar en el Mecanismo de Desarrollo Limpio.

El artículo está dividido en cinco secciones principales. La segunda sección de antecedentes trata el problema del cambio climático, sus consecuencias, y el acuerdo internacional que surge como respuesta a éste problema global: la Convención Marco de Cambio Climático y el Protocolo de Kyoto que se desprende de ésta primera. Tercero, se analizarán los distintos instrumentos que se utilizan en el control de la contaminación, lo cuál permitirá entender por qué el instrumento de derechos negociables es la mejor opción en el control de los GEI. En la cuarta sección se presentarán los principales problemas que pueden surgir de los tres mecanismos flexibles –todos basados en el concepto de derechos de emisión- que introduce el Protocolo de Kyoto. Finalmente, con base en los fundamentos presentados en las secciones anteriores, se plantea el modelo teórico en la quinta sección, y se analizan sus resultados.

2. ANTECEDENTES

2.1 El Cambio Climático

El calentamiento global ocurre a medida que los gases de efecto invernadero que se encuentran en la atmósfera terrestre absorben la radiación infrarroja (calor) proveniente de la tierra y la reemiten nuevamente hacia ésta. Al no permitir que la radiación escape al espacio, se genera un incremento en la temperatura global. Aunque este proceso natural ocurre para mantener la temperatura terrestre en el rango estrecho necesario para conservar la vida en la tierra como hoy la conocemos, la acumulación de GEI por encima de los niveles naturales ha causado un aumento en la temperatura global, lo que se denomina cambio climático. Esto a su vez, genera cambios regionales y globales en el clima y en parámetros climáticos como la temperatura, la precipitación, y la humedad de los suelos.

El concepto de cambio climático es un tema relativamente nuevo en la agenda internacional, cobrando importancia únicamente hasta finales de la década de los ochenta. Desde el siglo XIX, los científicos tienen conocimiento que el dióxido de carbono (CO₂) que se encuentra en la atmósfera retiene calor proveniente del sol, causando aumentos en la temperatura

de la tierra. Sin embargo, tal hecho se ignoró por varios años ya que se suponía que todos los incrementos en los niveles de CO₂ eran absorbidos por los océanos. Entre 1957 y 1958 cuando se decidió probar la veracidad de este supuesto, se demostró que las concentraciones del gas estaban aumentando de forma sostenida. Igualmente, se encontró que otros gases comunes –que hoy en día pertenecen a los denominados gases de efecto invernadero- podían tener el mismo efecto sobre el clima (Anderson, 1999).

El calentamiento global puede acarrear serios problemas tanto en el plano ambiental como económico. Por una parte, podría llevar a la pérdida de especies y áreas forestales, y volver más severos y frecuentes eventos climáticos extremos como sequías, heladas, huracanes y tormentas. Adicionalmente, podría provocar un aumento en el nivel del mar, tornando inhabitables amplias regiones costeras y fluviales. Por otra parte, el aumento sostenido de temperaturas altas podría resultar en un aumento en los niveles de mortalidad y morbilidad de la población, al generar una mayor dispersión geográfica de organismos portadores de enfermedades como el mosquito. Asimismo, se podría llegar a la pérdida de tierras aptas para la agricultura.

Aunque los gases de efecto invernadero son generados tanto en procesos naturales como antrópicos³, existe una gran discusión sobre la importancia que tienen las emisiones de GEI causadas por el hombre, sobre el cambio en la temperatura de la tierra. Por dicho motivo, en 1988 las Naciones Unidas estableció el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (Intergovernmental Panel on Climate Change -IPCC), un grupo conformado por algunos de los científicos más prestigiosos del mundo, cuyo fin es el de generar información que permita esclarecer dudas sobre el tema relacionado al cambio climático.

Pese a que no existe información sobre el efecto exacto que las emisiones causadas por el hombre tienen sobre el calentamiento global, el IPCC concluyó que hay evidencia razonable para considerar que el efecto es significativo. Debido a actividades humanas como el uso de combustibles fósiles, el cambio en el uso de la tierra y las prácticas agrícolas, las concentraciones atmosféricas del dióxido de carbono, metano y óxido nítrico han crecido, desde épocas pre-industriales, en 30, 145 y 15 por ciento respectivamente (valores de 1992). Adicionalmente, aunque en la actualidad los gases hidrofluorocarbonos (HFCs), perfluorocarbonos (PFCs) y hexafluoruro de sulfuro (SF₆) contribuyen relativamente poco al calentamiento global, se proyecta un incremento significativo en sus niveles en la atmósfera para el siglo XXI (IPCC

³ Antrópico o antropogénico se refiere a algo causado por el hombre.

Working Group I, 1995)⁴. De esta manera, el promedio de temperatura global ha aumentado entre 0.3 y 0.6°C desde finales del siglo XIX y se calcula un incremento en la temperatura media global entre 1 y 3.5°C para el 2100. Acompañado a esto, se pronostica un aumento asociado en el nivel del mar entre 15 y 95 cm, generando posibles inundaciones, sequías y temperaturas extremas (IPCC Working Group II, 1995).

Aunque aún existe incertidumbre acerca de los efectos del cambio climático y de los beneficios y costos asociados a este, lo que sí se tiene claro es que la única manera de reducir el riesgo de enfrentar sus consecuencias es llevar a cabo reducciones globales en las emisiones de GEI. Esto se traduce en la necesidad de establecer acuerdos internacionales para que los países asuman y cumplan con sus compromisos de reducción.

2.2 La Convención Marco de Cambio Climático

La Convención Marco de Cambio aparece como respuesta a esta necesidad⁵, creando un acuerdo a nivel internacional –basado en el principio de precaución⁶- que limita las emisiones de GEI de los países industrializados y con economías en transición⁷. Este acuerdo firmado el 9 de mayo de 1992 tiene como objetivo “estabilizar las concentraciones de GEI en la atmósfera, a un nivel que prevenga interferencias antropogénicas peligrosas sobre el sistema climático. Dicho nivel debe cumplirse en un período determinado de tiempo, suficiente para permitir a los ecosistemas adaptarse de forma natural al cambio climático, asegurar que la producción de alimentos no sea amenazada, y permitir que prosiga el proceso de desarrollo económico de forma sostenible”⁸.

“Reconociendo que la mayor parte de las emisiones históricas y actuales de GEI provienen de los países industrializados, que las emisiones per cápita de los países en desarrollo todavía son relativamente bajas, y que la participación en las emisiones de GEI originada en los

⁴ El aumento en el nivel de emisiones de estos gases se debe a su uso como sustitutos de los clorofluorocarbonos (CFCs), controlados en la Convención de Viena para la Protección de la Capa de Ozono.

⁵ Es de notarse que éste no es el primer acuerdo que se formula a nivel internacional para el control de las emisiones de GEI. En 1985 se instauró la Convención de Viena para la Protección de la Capa de Ozono, de donde se desprende el Protocolo de Montreal sobre Sustancias que Destruyen la Capa de Ozono. Por esta razón, la CMCC especifica que se compromete a reducir o prevenir las emisiones antrópicas de gases de efecto invernadero que no estén controlados bajo el Protocolo de Montreal.

⁶ Principio de precaución: cuando el efecto de una causa presente es incierto pero puede ser muy dañino o irreversible, es prudente actuar inmediatamente para suprimir las causas en las que se puede actuar (IDEE, 1998).

⁷ Los países con economías en transición son aquellos que anteriormente pertenecían a la antigua Unión Soviética. De ahora en adelante nos referimos a los países industrializados como el conjunto de países desarrollados y con economías en transición.

⁸ Convención Marco de Cambio Climático: Art.2.

países en desarrollo aumentará en concordancia con sus necesidades sociales y de desarrollo"⁹, la CMCC establece un conjunto de responsabilidades comunes para todos los países pertenecientes a la Convención y una serie de responsabilidades adicionales para los países industrializados y con economías en transición; estos últimos se denominan países del Anexo I¹⁰. De esta manera todos los países que ratifiquen la Convención deberán, entre otros, tener un inventario nacional de emisiones antrópicas de los GEI no controlados por el Protocolo de Montreal. Por otra parte, en adición a esto, los países del Anexo I deben, entre otras cosas, adoptar políticas nacionales que limiten las emisiones antrópicas de GEI y proveer nuevos y adicionales recursos financieros para cubrir los costos totales incurridos por parte de los países en desarrollo en la reducción de dichas emisiones¹¹.

2.3 El Protocolo de Kyoto

La función principal del Protocolo de Kyoto es la de establecer compromisos concretos para que los países pertenecientes al Anexo I reduzcan sus emisiones de GEI y cumplan con el objetivo de la CMCC: estabilizar las concentraciones de GEI en la atmósfera¹². En este sentido, el Protocolo asigna un límite de emisiones diferenciado para cada país del Anexo I y propone que entre el período 2008 y 2012, las emisiones antrópicas agregadas se reduzcan a mínimo un nivel global equivalente a 5.2 por ciento menos que el nivel de emisiones de 1990¹³. Adicionalmente, dado que el Protocolo de Montreal cubre los GEI responsables del agotamiento de la capa de ozono, el Protocolo de Kyoto define una canasta de seis GEI para ser controlados por la CMCC¹⁴.

La CMCC establece que “las políticas y medidas para el control del cambio climático deben ser costo-efectivas para así asegurar beneficios globales al menor costo posible”¹⁵. Para lograr este cometido, el Protocolo de Kyoto ha incorporado tres mecanismos flexibles¹⁶. El

⁹ Convención Marco de Cambio Climático: introducción, párrafo 3.

¹⁰ El grupo de países del Anexo I está conformado por 36 países industrializados o con economías en transición que inicialmente acordaron en la Conferencia de Río de Janeiro de 1992, estabilizar sus emisiones de dióxido de carbono a niveles de 1990 para el año 2000.

¹¹ Convención Marco de Cambio Climático: Art. 4.

¹² El Protocolo de Kyoto se hará efectivo tan pronto sea ratificado por mínimo 55 países, representando mínimo 55 por ciento del total de emisiones de 1990 provenientes de los países industrializados.

¹³ Protocolo de Kyoto: Art. 3.1.

¹⁴ La canasta de seis GEI controlados por el Protocolo de Kyoto son: dióxido de carbono (CO₂), óxido nitroso (N₂O), metano (CH₄), hidrofluorocarbonos (HFCs), perfluorocarbonos (PFCs) y hexafluoruro de sulfuro (SF₆).

¹⁵ Convención Marco de Cambio Climático: Art. 3.3.

¹⁶ Los mecanismos se consideran “flexibles” porque permiten a los países sobrepasar sus fronteras para realizar actividades encaminadas a reducir emisiones de GEI.

*intercambio de emisiones*¹⁷ permite que los países del Anexo I¹⁸ adquieran los certificados generados por la reducción en las emisiones de GEI en otros países del Anexo I; en este caso se intercambian Unidades de Monto Asignado. La segunda opción denominada *implementación conjunta*¹⁹, acredita Unidades de Reducción de Emisiones generadas en proyectos que reducen las emisiones de GEI dentro de un país del Anexo I, a otro país del Anexo I que invierte en dicho proyecto. Por último, el *Mecanismo de Desarrollo Limpio*²⁰ permite a los países del Anexo I obtener Certificados de Emisiones Reducidas (CERs) generadas por la reducción de emisiones en países en desarrollo.

Dado que la CMCC establece que las medidas que se adopten para controlar el cambio climático deben ser costo-efectivas, es importante profundizar en la teoría sobre instrumentos que permiten un control de la calidad del medio ambiente, para ver que tan factible es lograr dicha meta bajo el Protocolo de Kyoto, y cuál es el mejor instrumento para esto.

3. INSTRUMENTOS PARA EL CONTROL DE LAS EMISIONES DE GEI

Con el fin de evitar las consecuencias de un cambio climático, se deben controlar las emisiones de gases de efecto invernadero que llegan a la atmósfera. Para esto, es necesario recurrir a mecanismos que permiten imponer un límite sobre las descargas a la atmósfera. Adicionalmente, dada la naturaleza de los GEI de ser contaminantes uniformes²¹, los mecanismos se deben adoptar en el ámbito internacional para alcanzar un control efectivo de las emisiones. De no establecerse un instrumento internacional vinculante, los países no tendrán el incentivo de desembolsar recursos para controlar las emisiones, ya que se beneficiarán de las acciones que asuman los demás países²².

Asimismo, el instrumento que se adopte debe minimizar los costos de alcanzar los objetivos establecidos por la Convención, de forma que se provean incentivos para la participación de los distintos países en el control del cambio climático. A continuación, se estudiarán tres mecanismos utilizados para el control de la contaminación –políticas de comando

¹⁷ Protocolo de Kyoto: Art. 17.

¹⁸ Aunque el Protocolo se refiere a países del “Anexo B”, los seguiremos denominando “Anexo I” para evitar confusiones. El término Anexo B permite incluir a los países en desarrollo que se incorporen de manera voluntaria a las obligaciones de reducción de emisiones de GEI. En la literatura por lo general se usan los dos términos indistintamente.

¹⁹ Protocolo de Kyoto: Art. 6.

²⁰ Protocolo de Kyoto: Art. 12.

²¹ La magnitud del cambio de temperatura producto de las emisiones de GEI no depende del lugar donde se emiten dichos gases sino del aumento en la concentración del contaminante en la atmósfera.

y control, impuestos pigouvianos y costo-efectivos, y permisos negociables- y se analizará su acoplamiento a los requerimientos de la Convención: resultados costo-efectivos²³ y aplicabilidad a acuerdos internacionales.

3.1 Políticas de comando y control

En primera instancia, nos ocuparemos de las políticas de comando y control. Bajo este mecanismo, la autoridad ambiental establecería límites de emisión iguales para cada una de las fuentes que busca controlar. Sin embargo, dado que ésta imposición de estándares específicos no tiene en cuenta los costos marginales de reducción de cada fuente, genera inequidades a través del sector regulado; la fuente debe asumir sus propios costos de reducción, sin importar su magnitud: el costo de reducir una unidad de emisión proveniente de una fábrica con un estándar tecnológico relativamente alto, puede ser significativamente mayor del que asumirá una fábrica con tecnología menos limpia. Dado que la autoridad ambiental no tiene la información acerca del costo marginal de reducción de cada fuente, no es factible que imponga estándares individuales que logren minimizar los costos de cumplimiento.

3.2 Impuestos Pigouvianos y Costo-Efectivos

Una segunda alternativa es la adopción de políticas fiscales. Los impuestos pigouvianos son uno de los instrumentos incluidos en la teoría económica para el control de actividades generadoras de externalidades. Dado que el nivel apropiado para el cobro de dicha tarifa es aquel donde el daño marginal neto producido por la actividad contaminante es igual al beneficio marginal de una reducción en el nivel de contaminación, bajo éste instrumento se alcanzará un punto óptimo de emisiones (Baumol y Oates, 1975). Sin embargo, en la realidad no es factible obtener la información del daño marginal neto producido por la contaminación, y por lo tanto se ha propuesto una alternativa: el impuesto costo-efectivo.

Bajo el enfoque de impuesto costo-efectivo se selecciona una tarifa que se espera lleve a la obtención de un conjunto de estándares aceptables de calidad ambiental a un mínimo costo²⁴. En contraste con un impuesto pigouviano, no se requieren datos exactos sobre los costos o daños de la contaminación, sino únicamente cifras sobre los niveles actuales de esta. Si el impuesto que se asigna inicialmente no reduce el nivel de contaminación que satisfaga los estándares

²² Es decir, existirán problemas de *free rider*.

²³ Costo-efectividad implica alcanzar la meta ambiental al mínimo costo posible.

²⁴ La escogencia de dichos estándares ambientales, por lo general, se basa en evidencias recogidas sobre los efectos negativos de la contaminación.

preestablecidos, se fija un nuevo nivel de impuesto. Se espera de esta manera, mediante las iteraciones realizadas, estimar el nivel apropiado de impuesto necesario que permita alcanzar la meta ambiental.

Al fijar una tarifa sobre el nivel de emisiones, se aprovecha la diferencia en los costos de reducción de las distintas fuentes: las fuentes con menores costos realizarán una mayor cantidad de reducciones de las que logran las fuentes con mayores costos, con el mismo nivel de tarifa. Así, se permite alcanzar a un mínimo costo, las metas ambientales impuestas. Una marcada ventaja de los impuestos costo-efectivos sobre los permisos (o derechos) negociables, que se estudiarán más adelante, es que estos primeros no requieren condiciones de competencia perfecta para lograr un resultado costo-eficiente, solo se requiere que las fuentes contaminadoras minimicen sus costos de producción y sean tomadoras de precios con respecto a los insumos.

Aunque los impuestos costo-efectivos son un instrumento costo-efectivo, su aplicación se dificultaría en el caso del control de las emisiones globales de GEI. Por un lado, políticamente es difícil realizar cambios frecuentes en el nivel de tarifa. Adicionalmente, no se podría determinar que las metas se alcancen entre el 2008 y el 2012 como lo establece el Protocolo, ya que el nivel de impuesto debe variar hasta que –por medio de un proceso iterativo- se logre la meta establecida de calidad ambiental.

Finalmente, aunque tanto los impuestos como permisos de emisión pueden servir como mecanismos de transferencia de recursos y tecnologías de países industrializados a países en desarrollo, en el caso de los permisos, esta relación es más directa. Al comprar permisos de países en desarrollo, los países industrializados no solo incentivan la innovación tecnológica sino que la financian. Para que ocurra lo mismo en el caso de los impuestos, es necesario llegar a un común acuerdo de usar parte de los recursos recolectados para lograr dicho cometido. Estas transferencias son críticas para incentivar a los países en desarrollo a comprometerse en la reducción de emisiones de GEI (Baert, 1997).

3.3 Derechos Negociables

Una tercer alternativa a los impuestos costo-efectivos en el manejo de la calidad ambiental es, como ya lo mencionamos, el mecanismo de derechos negociables propuestos por J.H. Dales en 1968. Por medio de este instrumento, se cede el derecho de emitir una unidad de externalidad –en este caso una unidad de GEI. Así, la fuente contaminante puede optar por comprar el permiso

para emitir la unidad de contaminación o dejar de generar dicha unidad, de forma que se disminuyan sus costos financieros.

La implementación de los permisos negociables requiere varios pasos, como lo explican Hahn y Hester (1989). En primera medida, se establece una meta de calidad ambiental que es luego definida en términos de las emisiones totales permitidas. Después, los permisos se distribuyen entre las fuentes, permitiéndole a cada fuente una cantidad específica de contaminación. Finalmente, se autoriza el intercambio de permisos entre éstas. Asumiendo que las fuentes minimizan sus costos totales de producción, existe información perfecta y el mercado de permisos negociables es competitivo, los costos totales de alcanzar el estándar ambiental serán minimizados, llevando a un resultado costo-efectivo.

A medida que se desarrolla un mercado para estos permisos, surge un precio de despeje de mercado que le indica a las fuentes contaminantes el costo de oportunidad de sus emisiones. Así, las fuentes internalizarán los costos provenientes de los daños ambientales que generan. Como todas las fuentes se enfrentan al mismo precio por permiso, el comportamiento de minimización de costos resultaría al igualarse el costo marginal de reducir las emisiones entre las distintas fuentes (Baumol y Oates, 1975).

Los beneficios de adoptar un sistema de intercambio de emisiones entre naciones para cumplir con las metas establecidas por la CMCC han sido analizados en diversos estudios. Barrett (1992) demostró que los costos de reducir las emisiones de GEI para los países de la Unión Europea son 50 veces más altos si cada país asume sus propias obligaciones de manera independiente. Por otra parte, según Burniaux et al. (1992), el permitir intercambio entre regiones reduce los costos de cumplimiento globales en un 50 por ciento.

Aunque cada país definirá finalmente la forma en la que implementará el sistema de permisos negociables bajo el Protocolo de Kyoto, queda establecido que es preferible la adopción de un instrumento económico frente a un instrumento de intervención directa²⁵. Adicionalmente, para el caso del control de las emisiones de GEI, como se explico anteriormente, es superior un sistema de intercambio de emisiones frente a la imposición de un impuesto costo-efectivo nacional o internacional.

²⁵ Los instrumentos de intervención directa o políticas de comando y control establecen ciertas normas y/o estándares a los cuales las fuentes se deben acoger bajo el riesgo de sanciones. Los instrumentos económicos por su parte, crean un sistema de incentivos económicos que llevan a los actores económicos a cumplir libremente con las metas ambientales.

4. EL INTERCAMBIO DE EMISIONES EN EL PROTOCOLO DE KYOTO

Aunque el instrumento de derechos negociables es el que más se ajusta a las necesidades establecidas en la CMCC, esto no implica que no surgirán problemas que son propios a este instrumento de mercado. A continuación se presentarán los problemas más comunes asociados a los derechos negociables y cómo se relacionan éstos a los tres mecanismos flexibles dentro del Protocolo de Kyoto que son, en últimas, versiones alternativas del mismo concepto de permisos o derechos negociables.

Algunos cuestionan el desempeño que pueden tener los tres mecanismos flexibles en el control de las emisiones de GEI, dentro de un entorno global. Uno de los temas que más discusión ha generado es la posibilidad que algunos países tengan poder de mercado, lo cuál generaría ineficiencias en el mercado de permisos negociables. En el momento mismo en que se distribuyen los permisos negociables, si el mercado es incapaz de llegar a un equilibrio competitivo, se pierde su potencial de alcanzar un objetivo de forma costo-efectiva. El que se cumpla dicho potencial, según Hahn (1984), depende entre otros del diseño del mercado y del grado de influencia que puedan ejercer las fuentes individuales sobre el mercado.

En este sentido, Rusia podría ejercer poder de mercado al restringir su oferta de derechos de emisión. Aunque Rusia hace parte de los países del Anexo I, cuando se desarrollaron las negociaciones en torno a la meta que asumiría cada país dentro del Protocolo de Kyoto, los negociadores rusos lograron que se les definiera un nivel de emisiones permitido muy por encima de los niveles de emisión que realmente alcanzaría el país en 2012; los derechos de emisión excedentes que resultaron de esto se denominan *aire caliente*. Al ser estos derechos excedentes propiedad del gobierno ruso, es posible que de manera centralizada el gobierno limite la oferta de sus derechos de emisión, con el fin de causar un incremento en el precio de mercado. Bajo esta situación el instrumento de permisos negociables no llevaría a una minimización de los costos²⁶.

Sin embargo, según Hahn y Hester (1989), aunque el dominio del mercado puede influir de manera negativa en la eficacia del sistema de permisos negociables, aún en estos casos un mercado puede tener ventajas significativas sobre un sistema que no permite el intercambio entre empresas (o países en este caso). Esta conclusión esta basada en el supuesto que las fuentes intercambiarán permisos negociables únicamente si pueden ahorrar dinero. De esta manera,

²⁶ Dado que, en últimas, los costos totales de reducción serían mayores que los que se tendrían bajo un escenario de competencia perfecta.

aunque la habilidad de algunas naciones de ejercer poder de mercado puede influir en la distribución de las ganancias del intercambio, el ahorro total en recursos puede seguir siendo significativo.

Otro problema que puede surgir bajo los tres mecanismos es el de la existencia de altos costos de transacción, los que imposibilitan la realización de un intercambio que lleve a resultados costo-eficientes. Dado que las partes recurren al intercambio de emisiones únicamente si esto se traduce en un ahorro de recursos, un proceso costoso podría disminuir y hasta eliminar el valor del intercambio. Adicionalmente, según Hahn (1983), puede existir poco intercambio entre las distintas fuentes, debido en algunos casos a derechos mal definidos o por la existencia de incertidumbre sobre los precios.

Existe preocupación sobre la posibilidad que el mercado de permisos negociables bajo el Protocolo de Kyoto tenga ineficiencias, producto de los altos costos de transacción. En el pasado, únicamente programas de intercambio de permisos con bajos costos de transacción han sido exitosos en disminuir de forma sustancial los costos de cumplir con las metas establecidas (Tietenberg, et al., 1998). En el caso de los permisos negociables adoptados en la reducción de las emisiones de GEI, los costos de transacción están compuestos por varios elementos entre los cuáles se encuentran los costos monetarios incurridos en los procedimientos de verificación, certificación y registro de las emisiones reducidas por el proyecto. Asimismo, con respecto a las negociaciones, se debe tener en cuenta los costos, posiblemente altos, en que se incurren al buscar fuentes para efectuar el intercambio de permisos, y el costo de asegurarse en contra de posibles pérdidas en la negociación (Baert, 1997).

A continuación se presentará el modelo teórico que busca analizar las decisiones que enfrenta un país en desarrollo frente al mercado de carbono. Se analizará la situación de un país pequeño que actúa como tomador de precio, por lo que no se incorpora el concepto de poder de mercado. Los costos de transacción tampoco se ven reflejados directamente como una variable en el modelo, sino indirectamente dentro de los costos que asumen los países para generar los derechos de emisión.

5. LOS PAÍSES EN DESARROLLO EN EL MERCADO DE CARBONO: UN MODELO TEÓRICO

El mercado de carbono es un mercado creado por la Convención Marco de Cambio Climático y las demás instancias que se desprenden de ésta primera. En este sentido, las reglas

finales para el funcionamiento de los mecanismos flexibles aún están en proceso de consolidación, y los países todavía están definiendo los sistemas domésticos de intercambio de emisiones y las reglas internas que adoptarán para participar en dicho mercado²⁷. Aprovechando esta coyuntura, el modelo teórico se utilizará primero, para resaltar la importancia de mantener la flexibilidad introducida por los mecanismos de Kyoto, específicamente por el MDL. Esto, con el fin de dar argumentos teóricos en contra de los límites a la compra de CERs que algunos países del Anexo I están pensando imponer en sus sistemas internos de intercambio de emisiones. Segundo, el modelo planteado busca llamar la atención sobre la necesidad de tener en cuenta la meta de reducción que los países en desarrollo enfrentarán en el futuro, en la decisión presente de vender CERs.

En este orden de ideas, primero se estudiarán las decisiones de producción del país en desarrollo –en este caso, en relación a la generación de permisos de emisión-, y como éstas se ven afectadas con las obligaciones futuras de cumplimiento. Posteriormente, se analizarán las variables que afectarán la decisión de vender permisos mediante el Mecanismo de Desarrollo Limpio.

A continuación se plantea el problema del planificador central de un país en desarrollo que participa en el mercado de Kyoto mediante el MDL, y esta obligado a cumplir con una meta de reducción de emisiones propia en el segundo período de cumplimiento. Para formular dicho modelo se utilizó como base el modelo de Forster (1973) que relaciona el crecimiento económico y la contaminación. En el modelo de Forster, el planificador central busca las trayectorias óptimas de capital (K), consumo (C), gasto en mitigación (E) –e implícitamente contaminación (P)- que le permiten maximizar la utilidad; la utilidad está en función del consumo y la contaminación: $U(C,P)$. A su vez, la contaminación depende del capital y el gasto en mitigación $P(K,E)$ donde: $\partial P/\partial K > 0$, $\partial P/\partial E < 0$, $\partial^2 P/\partial K^2 \geq 0$ y $\partial^2 P/\partial E^2 > 0$. El problema del planificador central es entonces maximizar la utilidad $U(C,P(K,E))$, sujeto a la inversión neta \dot{K} , donde $\dot{K} = \phi(K) - \delta K - C - E$, siendo $\phi(K)$ la función de producción y δ la depreciación del capital.

²⁷ Por ejemplo, los países industrializados deben determinar cómo repartirán las obligaciones de reducción entre sus sectores productivos y la flexibilidad que se introducirá en el cumplimiento de la meta: ¿se impondrá un límite sobre el intercambio de emisiones con el fin de incentivar los esfuerzos domésticos de mitigación?

En el modelo que se plantea en este trabajo, el planificador central buscará maximizar la utilidad, que en este caso solo está en función directa del consumo. La contaminación por su parte, se incluye en la restricción ambiental que define la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero que el país debe reducir. Adicional a esta restricción, la maximización de la utilidad también esta sujeta a la función de consumo en cada período.

Modelo I: Problema del planificador central bajo el mercado de Kyoto

$$\max U(C_1, C_2)$$

$$\text{s.a } C_1 = \phi(K_1^u; g) + xP_1 \left[\bar{E} - E(K_1^u, M_1; b) \right] - M_1 - K_2$$

$$C_2 = \phi(K_2; g) + P_2 Q - M_2$$

$$z \bar{E} = (1-x) \left[\bar{E} - E(K_1^u, M_1; b) \right] + \left[\bar{E} - E(K_2, M_2; b) \right] - Q$$

donde:

U	Función de utilidad	M_t	Actividades de mitigación en el período t
C_t	Consumo en el período t	g	Nivel de avance tecnológico en la producción
ϕ	Función de producción	b	Nivel de avance tecnológico en las actividades de mitigación
E	Función de emisiones de GEI	x	Porcentaje de derechos de emisión (CERs) que se venden en $t=1$
\bar{E}	Emisiones línea base	Q	Derechos de emisión vendidos (o comprados si $Q_2 < 0$) en $t=2$
K_1	Capital disponible para producir en $t=1$	P_t	Precio de los derechos de emisión en t
K_1^u	Capital utilizado para producir en $t=1$	z	Porcentaje de emisiones línea base que se deben reducir
K_2	Capital disponible para producir en $t=2$		

Bajo este primer modelo, se supone un país con economía cerrada con excepción del intercambio de emisiones que se realiza dentro del marco de la CMCC; se supone también información perfecta. Para analizar el efecto del mercado de Kyoto sobre un país en desarrollo planteamos dos períodos. En el primero, aunque no esta obligado a reducir sus emisiones de GEI, el país puede participar mediante el Mecanismo de Desarrollo Limpio y vender Certificados de Emisiones Reducidas. En el segundo período, el país esta obligado a asumir una meta de reducción propia.

El planificador central busca entonces maximizar la utilidad –que es aditivamente separable en el consumo en cada período- donde $\partial U / \partial C_t > 0$, sujeto a las restricciones de consumo en cada período y la meta ambiental. Tomando como base la ecuación de inversión neta de Forster, tenemos que el cambio en capital K se define por:

$$K_{t+1} - K_t = \phi(K_t, g) - C_t - M_t - \delta K_t$$

donde C es consumo y M es gasto en mitigación. Suponiendo que la depreciación δ es igual a 1, e introduciendo los ingresos por la venta de derechos de emisión en cada período, obtenemos las restricciones de consumo de cada período.

La producción ϕ depende del capital utilizado en la producción K_t^u , donde $\partial\phi/\partial K_t^u > 0$, y de la variable exógena g , indicador del nivel de avance tecnológico en la producción: $\partial\phi/\partial g > 0$. Por el lado de las emisiones de gases de efecto invernadero E_t , estas se ven incrementadas a medida que se utiliza un mayor nivel de capital en la producción, y como es de esperarse, se disminuyen entre mayor el gasto en actividades de mitigación, M_t . A su vez, b es el nivel de avance tecnológico en mitigación: $\partial E_t/\partial b < 0$. La reducción en las emisiones de GEI logradas a nivel doméstico por lo tanto, es equivalente a las emisiones de línea base²⁸, \bar{E} , menos las emisiones que realmente se generan, E_t .

El país en desarrollo tiene dos opciones para generar una reducción en sus emisiones en $t=1$: una opción es realizar actividades de mitigación, M_1 , y la otra es utilizar una menor cantidad de capital que permite una menor emisión de GEI, donde $K_1^u \leq K_1$. Así, su consumo en el primer período dependerá de la producción y de los ingresos por la venta de CERs (donde x es el porcentaje de reducciones que se venden y P_1 es el precio de éstas), menos los gastos en actividades de mitigación y el capital que se utilizará el siguiente período, K_2 . En el segundo período el país en desarrollo podrá únicamente reducir sus emisiones mediante las actividades de mitigación; el no utilizar el capital K_2 creará ineficiencias al no existir un tercer período para su aprovechamiento. El consumo en dicho período dependerá de los ingresos por producción y por la venta de derechos de emisión excedentes Q ²⁹ (donde P_2 es el precio de venta), y de los gastos en actividades de mitigación.

En $t=2$ el país estará obligado a reducir sus emisiones de GEI en un porcentaje de sus emisiones de línea base \bar{E} . De esta manera, estará obligado a cumplir con una meta equivalente a

²⁸ La línea base se define como un punto de referencia que estima los niveles de emisión de GEI que se alcanzarían en la ausencia de las restricciones impuestas por la CMCC y el Protocolo de Kyoto, de acuerdo a las circunstancias técnicas y económicas del país. En otras palabras, las emisiones de línea base son aquellas que ocurrirían en un escenario *business as usual*.

²⁹ Si $Q > 0$, las reducciones excedentes se venden. Por otra parte, si $Q < 0$ le fue necesario al país comprar reducciones en el mercado internacional para cumplir con la meta de reducción establecida.

$z\bar{E}$ donde z es un porcentaje asignado dentro de las negociaciones de cambio climático y $z\bar{E}$ se entiende como el total de emisiones que el país está obligado a reducir. Así, el país en desarrollo cumplirá con la meta ambiental mediante las reducciones logradas (y no vendidas) en $t=1$: $(1-x)\left[\bar{E}-E(K_1^U, M_1; b)\right]$; más las reducciones alcanzadas en $t=2$: $\left[\bar{E}-E(K_2, M_2; b)\right]$; menos los derechos de emisión vendidos en el segundo período: Q .

Al resolver el modelo se obtienen las condiciones de primer orden:

$$(I.1) \quad \phi_{K_1^u}(K_1^u; g) - P_1 E_{K_1^u}(K_1^u, M_1; b) = 0$$

$$(I.2) \quad P_1 E_{M_1}(K_1^u, M_1; b) + 1 = 0$$

$$(I.3) \quad \phi_{K_2}(K_2; g) - P_2 E_{K_2}(K_2, M_2; b) - P_2/P_1 = 0$$

$$(I.4) \quad P_2 E_{M_2}(K_2, M_2; b) + 1 = 0$$

$$(I.5) \quad U_{C_1} = \frac{\lambda}{P_1}$$

$$(I.6) \quad U_{C_2} = \frac{\lambda}{P_2}$$

$$(I.7) \quad (1-x)\left[\bar{E}-E_1(K_1^u, M_1; b)\right] + \left[\bar{E}-E_2(K_2, M_2; b)\right] - Q - z\bar{E} = 0$$

donde $\phi_{K_1^u}$ se refiere a la derivada de la función de producción con respecto a K_1^u , E_{M_1} la derivada de la función de emisión con respecto a M_1 y así sucesivamente. Intuitivamente, de las condiciones (I.5) y (I.6) obtenemos: $U_{C_1}/U_{C_2} = P_2/P_1$ lo cuál nos indica que la tasa marginal de sustitución esta en función de la relación de precios; es decir, que a medida que se incrementa el precio P_2 , el país estará dispuesto a sacrificar utilidad (consumo) en el primer período dado que esto implicará mayor utilidad en el segundo (lo contrario también es cierto).

Para determinar el efecto de las variables exógenas pertinentes al análisis, sobre las variables endógenas, utilizamos el método de estática comparativa. Con el fin de obtener los resultados que se presentan a continuación, se definen primero los signos de las derivadas que se suponen en el análisis. Con respecto a la producción, ésta se ve incrementada a medida que se

utiliza un mayor nivel de capital: $\phi_{K_1^u} > 0$ y $\phi_{K_2} > 0$, y se suponen rendimientos decrecientes en la producción: $\phi_{K_1^u K_1^u} < 0$ y $\phi_{K_1^u K_2} < 0$. Con respecto a las emisiones, éstas se ven incrementadas a medida que se utiliza un mayor nivel de capital: $E_{K_1^u} > 0$, $E_{K_2} > 0$, y se disminuyen con mayores gastos de mitigación: $E_{M_1} < 0$, $E_{M_2} < 0$. Las segundas derivadas de las emisiones con respecto al capital $E_{K_1^u K_1^u} > 0$, $E_{K_2 K_2} > 0$, y al gasto en mitigación, $E_{M_1 M_1} > 0$, $E_{M_2 M_2} > 0$, se suponen positivas, tal como lo presenta Forster (1973) y Selden y Song (1995)³⁰. Finalmente, dado que se busca analizar el efecto directo de las variables exógenas sobre las endógenas, se supone que las derivadas cruzadas son equivalentes a cero. A continuación analizamos los resultados.

5.1 El impacto del mercado de Kyoto sobre la producción

Iniciamos nuestro análisis estudiando el primer paso para participar en el mercado de carbono: la generación de derechos de emisión. Específicamente, queremos mirar el impacto del precio de los derechos de emisión y la meta de reducción futura, sobre las decisiones de producción; es decir, sobre las variables capital K_t y gasto en actividades de mitigación M_t . Nos enfocamos entonces en el efecto que tienen las variables pertinentes al análisis: P_1 el precio de venta de los CERs, P_2 el precio de venta de las reducciones en $t=2$ y z , el porcentaje del total de emisiones línea base que el país está obligado a reducir.

¿El país tendrá en cuenta el precio de los derechos de emisión en sus decisiones de producción? ¿Entre mayor la meta futura, producirá una mayor cantidad de derechos? En primera instancia, uno pensaría que la respuesta a ambas preguntas es afirmativa. Proseguiremos entonces a analizar los resultados y ver su implicación sobre las políticas que deben regir el mercado de emisiones.

Utilizando (1.1) y (1.2) para resolver para K_1^u y M_1 , y (1.3) y (1.4) para resolver para K_2 y M_2 , mediante el método de estática comparativa y resolviendo por regla de Cramer obtenemos los siguientes resultados:

³⁰ Selden y Song (1995) utilizan como base el modelo de Forster (1973) para analizar las relaciones dinámicas entre contaminación, esfuerzos de mitigación, y desarrollo económico. El suponer que $\partial^2 P / \partial E^2 > 0$ (equivalente a $E_{K, K_i} > 0$ en el presente análisis) indica que el desarrollo económico ha llevado a una reducción en la capacidad de carga del medio ambiente. En consecuencia, es necesario un esfuerzo aún mayor en las actividades de mitigación, $\partial^2 P / \partial M^2 > 0$ (es decir, $E_{M, M_i} > 0$) para contrarrestar los efectos del crecimiento económico. Estos supuestos van de acorde con la naturaleza de los gases de efecto invernadero: a medida que existen mayores emisiones, éstas se

$$(I.a) \quad \frac{dK_1^u}{dP_1} = \begin{vmatrix} E_{K_1^u} & 0 \\ -E_{M_1} & P_1 E_{M_1 M_1} \end{vmatrix} \bigg/ \begin{vmatrix} \phi_{K_1^u K_1^u} - P_1 E_{K_1^u K_1^u} & -P_1 E_{K_1^u M_1} \\ P_1 E_{M_1 K_1^u} & P_1 E_{M_1 M_1} \end{vmatrix} < 0$$

$$(I.b) \quad \frac{dM_1}{dP_1} = \begin{vmatrix} \phi_{K_1^u K_1^u} - P_1 E_{K_1^u K_1^u} & E_{K_1^u} \\ 0 & -E_{M_1} \end{vmatrix} \bigg/ \begin{vmatrix} \phi_{K_1^u K_1^u} - P_1 E_{K_1^u K_1^u} & -P_1 E_{K_1^u M_1} \\ P_1 E_{M_1 K_1^u} & P_1 E_{M_1 M_1} \end{vmatrix} > 0$$

$$(I.c) \quad \frac{dK_2}{dP_2} = \begin{vmatrix} E_{K_2} + 1/P_1 & 0 \\ -E_{M_1} & P_2 E_{M_2 M_2} \end{vmatrix} \bigg/ \begin{vmatrix} \phi_{K_2 K_2} - P_2 E_{K_2 K_2} & -P_2 E_{K_2 M_2} \\ P_2 E_{M_2 K_2} & P_2 E_{M_2 M_2} \end{vmatrix} < 0$$

$$(I.d) \quad \frac{dM_2}{dP_2} = \begin{vmatrix} \phi_{K_2 K_2} - P_2 E_{K_2 K_2} & E_{K_2} + 1/P_1 \\ 0 & -E_{M_1} \end{vmatrix} \bigg/ \begin{vmatrix} \phi_{K_2 K_2} - P_2 E_{K_2 K_2} & -P_2 E_{K_2 M_2} \\ P_2 E_{M_2 K_2} & P_2 E_{M_2 M_2} \end{vmatrix} > 0$$

Con respecto al precio de venta de los derechos de emisión, vemos que a medida que aumenta el precio de venta, el país “producirá” una mayor cantidad de derechos. Esto es de esperarse: cómo en cualquier mercado competitivo, a medida que aumenta el precio, habrá una mayor oferta del bien. Por un lado, a mayor precio P_1 utilizará un menor nivel de capital K_1^u (como lo indica la ecuación (I.a)). A mayor precio P_2 , el país utilizará un mayor nivel de capital en el primer período, con el fin de tener un menor nivel de capital contaminante en $t=2$ (I.c). Por otra parte, realizará un mayor gasto en actividades de mitigación a medida que aumenta el precio en cada período (I.b), (I.d).

Ahora con respecto a la meta ambiental a la que se verá enfrentado el país en el segundo período, el modelo arroja un resultado que no se esperaba: las decisiones de producción son independientes de la meta³¹. Lo que se podría esperar es que a mayor porcentaje z –y por lo tanto

acumulan en la atmósfera produciendo un mayor calentamiento global. Con el fin de evitar consecuencias graves sobre el ambiente, es necesario reducir cada vez una mayor cantidad de emisiones.

³¹ Matemáticamente, el efecto multiplicador de z es cero dado que no aparece en las ecuaciones (I.1), (I.2), (I.3) y (I.4) utilizadas para resolver para las variables de capital y gasto en mitigación. Lo mismo ocurre en el caso en que quisiéramos analizar el impacto del precio P_2 sobre K_1^u y M_1 : el efecto multiplicador es cero. Esto demuestra que las decisiones de mitigación y de utilización del capital en el primer período dependen del precio en dicho período y no de las expectativas del precio en el futuro.

mayor número de reducciones debe obtener el país para cumplir con su meta ambiental- el país estaría obligado a sacrificar un mayor nivel de capital en la producción y realizar mayores gasto de mitigación. Sin embargo, el ser independientes las decisiones de producción de la meta, nos indica que la reducción de emisiones siempre se realizará hasta el punto en que el costo marginal de reducir sea igual al precio de mercado de los derechos de emisión; esto es precisamente lo que permite que el instrumento de derechos negociables lleve a resultados costo-efectivos. En este sentido, el país en desarrollo buscará llegar siempre a un nivel de producción óptimo – entendiéndose esto como el nivel que permite reducir hasta el punto de eficiencia- independiente de la meta ambiental que se le imponga. Las reducciones sobrantes o faltantes se obtendrán en el mercado de emisiones.

Siendo esto así, nos preguntamos entonces: ¿Qué ocurriría en el caso en el que el país en desarrollo estuviese obligado a cumplir con la misma meta ambiental, pero que no se permitiera el intercambio de emisiones? Es decir, que cada país tuviera que reducir sus emisiones a nivel doméstico y no se permitiera la compra o venta de derechos de emisión entre países. Para responder a este interrogante, se plantea nuevamente el problema del planificador central pero en este caso sin la existencia de un mercado de carbono.

Modelo II: Problema del planificador sin mercado de Kyoto

$$\begin{aligned} \max \quad & U(C_1, C_2) \\ \text{s.a} \quad & C_1 = \phi(K_1^u; g) - M_1 - K_2 \\ & C_2 = \phi(K_2, g) - M_2 \\ & z\bar{E} = \bar{E} - E(K_1^u, M_1; b) - E(K_2, M_2; b) \end{aligned}$$

Como lo indica el problema, el planificador busca maximizar la utilidad que se encuentra en función del consumo en cada período. Se supone una economía cerrada y con información perfecta. Nuevamente el país debe asumir una meta ambiental, pero en este caso no existe el intercambio de emisiones. Al resolver el modelo sin mercado, se obtienen las condiciones de primer orden:

$$(II.1) \quad -E_{M_1}(K_1^u, M_1; b)\phi_{K_1}(K_1^u; g) - E_{K_1^u}(K_1^u, M_1; b) = 0$$

$$(II.2) \quad E_{M_1}(K_1^u, M_1; b) - E_{M_2}(K_2, M_2; b)\phi_{K_2}(K_2; g) - E_{K_2}(K_2, M_2; b) = 0$$

$$(II.3) \quad (1 - z)\bar{E} - E(K_1^u, M_1; b) - E(K_2, M_2; b) = 0$$

Utilizando (II.1) y (II.3) para resolver para K_1^u y M_1 , y (II.2) y (II.3) para resolver para K_2 y M_2 , resolviendo por regla de Cramer obtenemos los siguientes resultados:

$$(II.a) \quad \frac{dK_1^u}{dz} = \begin{bmatrix} 0 & -E_{M_1 M_1} \phi_{K_1^u} \\ \bar{E} & -E_{M_1} \end{bmatrix} \Bigg/ \begin{vmatrix} -E_{M_1} \phi_{K_1^u K_1^u} - E_{K_1^u K_1^u} & -E_{M_1 M_1} \phi_{K_1^u} \\ -E_{K_1^u} & -E_{M_1} \end{vmatrix} < 0$$

$$(II.b) \quad \frac{dM_1}{dz} = \begin{bmatrix} -E_{M_1} \phi_{K_1^u K_1^u} - E_{K_1^u K_1^u} & 0 \\ -E_{K_1^u} & \bar{E} \end{bmatrix} \Bigg/ \begin{vmatrix} -E_{M_1} \phi_{K_1^u K_1^u} - E_{K_1^u K_1^u} & -E_{M_1 M_1} \phi_{K_1^u} \\ -E_{K_1^u} & -E_{M_1} \end{vmatrix} > 0$$

$$(II.c) \quad \frac{dK_2}{dz} = \begin{bmatrix} 0 & -E_{M_2 M_2} \phi_{K_2} \\ \bar{E} & -E_{M_2} \end{bmatrix} \Bigg/ \begin{vmatrix} -E_{M_2} \phi_{K_2 K_2} - E_{K_2 K_2} & -E_{M_2 M_2} \phi_{K_2} \\ -E_{K_2} & -E_{M_2} \end{vmatrix} < 0$$

$$(II.d) \quad \frac{dM_2}{dz} = \begin{bmatrix} -E_{M_2} \phi_{K_2 K_2} - E_{K_2 K_2} & 0 \\ -E_{K_2} & \bar{E} \end{bmatrix} \Bigg/ \begin{vmatrix} -E_{M_2} \phi_{K_2 K_2} - E_{K_2 K_2} & -E_{M_2 M_2} \phi_{K_2} \\ -E_{K_2} & -E_{M_2} \end{vmatrix} > 0$$

Los anteriores resultados indican que al no existir un mercado de carbono, el país está forzado a sacrificar eficiencia en la producción por cumplir con la meta ambiental z . En este caso no existe un mercado de derechos de emisión por lo que el país tendrá que sacrificar capital en la producción y realizar gastos en mitigación hasta cumplir con la meta ambiental. Aunque en ambos casos (con y sin mercado) el país debe cumplir con un mismo nivel de reducción, al no existir la flexibilidad introducida por el mercado de carbono el costo de cumplimiento es significativamente mayor.

¿Que implicaciones tiene este resultado sobre las políticas que adoptarán los países industrializados frente al mercado de emisiones? El resultado nos permite ver la importancia de introducir instrumentos económicos dentro del Protocolo de Kyoto: minimizar los costos de cumplimiento. En este sentido, se debe aprovechar al máximo la flexibilidad que permiten los mecanismos de Kyoto (intercambio de emisiones, implementación conjunta y Mecanismo de Desarrollo Limpio) para lograr el objetivo de la CMCC de manera costo-efectiva.

Sin embargo, ahora que la Unión Europea y otros países industrializados se preparan para implementar un sistema de intercambio de emisiones dentro de su territorio, ha surgido la posibilidad de imponer límites a la cantidad de CERs que pueden utilizar los países para cumplir con su meta. Según Malvik y Westskog (2001), las restricciones al mercado de emisiones reflejan la preocupación de algunos países, los cuáles argumentan que el participar en los mecanismos

flexibles le impondrá un límite al alcance y rigurosidad de las políticas domésticas. En consecuencia, el desarrollo a largo plazo de tecnologías y mejoras en la eficiencia energética necesitadas para lograr e ir más allá de los objetivos del Protocolo podrá verse seriamente afectado.

No obstante, teniendo en cuenta que los gases de efecto invernadero son contaminantes uniformes, desde un punto de vista científico el beneficio en términos climáticos de reducir o evitar una tonelada de CO₂ (o su equivalente) en un país en desarrollo es igual al beneficio que resulta de la misma reducción en un país industrializado. Desde un punto de vista económico, el imponerle restricciones al intercambio de derechos de emisión resultaría en ineficiencias en este mercado: los costos de cumplimiento de los países industrializados serían mayores. Distintos estudios realizados en torno a este tema corroboran esta afirmación: Gusbin et al. (1999) estiman que los costos marginales de reducción para Canadá, la Unión Europea, Australia, Nueva Zelanda y Estados Unidos se encuentran en un rango de US \$90 a \$110, mientras que los costos marginales de Japón se encuentran alrededor de US \$245. Esto en comparación al precio por CER (por tonelada de CO₂ reducida) que se estima esta dentro del rango de US \$6.5 a \$11 según un estudio de della Maggiora (2002) donde se hace una revisión de los datos de mercado de diferentes estudios.

La venta de los Certificados de Emisiones Reducidas se puede constituir como una importante fuente de divisas para los países en desarrollo. Al imponer un límite a la venta de Certificados, se restringiría la entrada de recursos financieros y tecnológicos a los países en desarrollo y se debilitaría a su vez, el incentivo que el MDL ofrece a dichos países para alcanzar un desarrollo sostenible, lo cuál va en contra del objetivo de la CMCC. Adicionalmente, se debe tener en cuenta que dada la diferencia en condiciones, los beneficios marginales sociales de invertir recursos financieros en los países en desarrollo son mucho mayores que los beneficios percibidos en países industrializados. Por otra parte, al restringir la demanda por proyectos MDL –con un nivel de oferta igual- el precio de los CERs caería. De esta manera, no solo aumentaría el costo de cumplimiento de los países industrializados al estar forzados a reducir emisiones en casa, sino que el beneficio de los países en desarrollo de participar en el mercado de CERs se vería sustancialmente reducido.

5.2 El mercado de emisiones de Kyoto

Habiendo analizado la generación de derechos de emisión, entramos ahora a estudiar su venta. Específicamente, miraremos el impacto de la meta ambiental –definida mediante la variable exógena z - sobre el porcentaje x de CERs que se vende en el primer período, y los derechos de emisión que se venden en el segundo, Q . Basándonos nuevamente en el primer modelo, para resolver para x y Q igualamos (I.5) y (I.6), y suponiendo igualdad en el precio de los derechos de emisión de ambos períodos obtenemos:

$$(I.8) \quad \phi(K_1^U; g) + xP_1 \left[\bar{E} - E(K_1^U, M_1; b) \right] - M_1 - K_2 = \phi(K_2; g) + P_2 Q - M_2$$

¿El país tendrá en cuenta su meta futura de cumplimiento al vender derechos de emisión (en este caso CERs) mediante el Mecanismo de Desarrollo Limpio? Uno de los objetivos de plantear el modelo es precisamente el de introducir y resaltar la importancia de decidir sobre el porcentaje x de CERs que se venden en el mercado de carbono. Se podría entonces esperar una respuesta afirmativa al interrogante. Utilizando (I.7) y (I.8), por regla de Cramer se obtienen los resultados esperados³²:

$$(I.e) \quad \frac{dx}{dz} = \frac{\begin{vmatrix} \bar{E} & -1 \\ 0 & -P \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} -(\bar{E} - E_1) & -1 \\ P(\bar{E} - E_1) & -P \end{vmatrix}} < 0$$

$$(I.f) \quad \frac{dQ}{dz} = \frac{\begin{vmatrix} -(\bar{E} - E_1) & \bar{E} \\ P(\bar{E} - E_1) & 0 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} -(\bar{E} - E_1) & -1 \\ P(\bar{E} - E_1) & -P \end{vmatrix}} < 0$$

Entre mayor el nivel de reducciones que esta obligado a alcanzar el país, menor la cantidad de derechos que venderá en ambos períodos. Este resultado aunque esperado, es de gran importancia. Dado que los países industrializados pueden comprar derechos de emisión tanto de otros países industrializados como de países en desarrollo, éstos últimos estarán sometidos a una fuerte competencia con respecto a la venta de sus CERs³³. En este sentido, se verán tentados a

³² El efecto del precio sobre las variables x y Q es ambiguo por el supuesto de igualdad que se asumió para resolver para dichas variables. El efecto que se podría esperarse es que entre mayor el precio de los CERs, P_1 , mayor es x y entre mayor el precio P_2 de los derechos de emisión en $t=2$, Q , mayor cantidad de éstas se venderán.

³³ Especialmente teniendo en cuenta la oferta de derechos excedentes (o *aire caliente*) de Rusia (ver sección 4) que al tener un costo de generación equivalente a cero, se podrían vender a muy bajos precios. El nivel de competencia al que esté sujeta la venta de CERs también dependerá finalmente de la demanda por derechos de emisión que exista en el mercado.

ofrecer CERs provenientes de las alternativas de reducción con costos más bajos³⁴. Esto implicaría que en el momento en que los países en desarrollo estén obligados a asumir sus propias metas de reducción, posiblemente ya hayan agotado sus opciones de menor costo y tengan que recurrir a proyectos menos competitivos.

Adicionalmente, se espera que para el segundo período las metas de reducción sean más restrictivas y por ende, los costos de cumplimiento mayores. Por este motivo, se introduce la posibilidad de ahorrar derechos de emisión para utilizarlos en el segundo período de cumplimiento –lo que se denomina *bancabilidad*. Nuevamente, esto resalta la importancia de que los países en desarrollo tomen una decisión sobre la cantidad de reducciones que conservarán para su propio cumplimiento: los países industrializados buscarán cubrir sus obligaciones no solo del primer período sino también del segundo período con CERs ofrecidos a precios bajos. El modelo plantea entonces la necesidad de buscar un porcentaje de reducciones que se otorguen bajo el MDL que tenga en cuenta tanto los beneficios presentes de la financiación de proyectos por parte de terceros (los ingresos por la venta de CERs), como sus obligaciones futuras de reducción.

Los países en desarrollo, al tomar la decisión de vender una porción de sus reducciones a un país o institución perteneciente de un país industrializado, deben tener en cuenta varios aspectos. Por un lado, están los beneficios de acceder –mediante el Mecanismo de Desarrollo Limpio- a recursos financieros destinados a proyectos que aminoren las emisiones de GEI a la atmósfera. En este sentido, no sólo se obtendrían beneficios directos tales como la entrada de divisas, sino que se lograrían otros beneficios que incluyen la transferencia de tecnologías de los países industrializados a los países en desarrollo.

Por otra parte, existe el peligro de ceder bajo el MDL una proporción excesiva de Certificados. Si los países no reservan para su propio aprovechamiento parte de sus CERs, posiblemente enfrentarán costos superiores a los beneficios que les puede otorgar el Mecanismo de Desarrollo Limpio. El precio de venta vs. el costo de generación no puede continuar siendo la única base para tomar una decisión sobre la venta de CERs. Con el fin de maximizar los beneficios de participar en el actual mercado de carbono, el costo futuro que implica cumplir con

³⁴ Dado que el modelo planteado es desde la perspectiva del país, se pueden entender los proyectos potenciales de reducción de emisiones como generadores de un monto dado de “certificados de reducción”. El país entonces decidirá desarrollar determinados proyectos para vender las reducciones provenientes en forma de CERs y conservar otros proyectos potenciales para desarrollarlos en el futuro para su propio aprovechamiento.

la meta de reducción debe ser una variable central en la decisión, como lo demuestran los resultados del modelo.

Finalmente, aunque el análisis de los resultados del modelo no incluye el efecto del precio sobre la venta de los derechos de emisión³⁵, se juzga conveniente hacer unos breves comentarios acerca de este tema. Al buscar maximizar los beneficios de los países en desarrollo de participar en el MDL, también es importante incorporar medidas que permitan mayor flexibilidad en la negociación de venta de CERs. Por ejemplo, se podría pensar en una venta anual de Certificados, para aprovechar posibles aumentos en los precios futuros. Otra posibilidad es acordar la venta total o parcial de CERs generados por un proyecto en un período de tiempo definido, como se hace actualmente, pero incorporando fórmulas de precio que permitan que se le reconozca al dueño del proyecto MDL –por lo menos parcialmente- incrementos en los precios futuros; esto a diferencia de las negociaciones actuales donde se acuerda vender los CERs generados por un proyecto, a un precio fijo a través del tiempo.

CONCLUSIONES

El desarrollo del modelo teórico buscó hacer dos recomendaciones de política frente al mercado de carbono creado por el Protocolo de Kyoto. En primera medida, se demostró que bajo la existencia de un mercado de emisiones, las decisiones de producción son independientes de la meta de reducción. En este sentido, la flexibilidad del instrumento de intercambio de emisiones permite al país reducir sus emisiones hasta el punto de eficiencia; es decir, donde el costo marginal de reducir sea igual al precio de mercado de los derechos de emisión. Si se introducen límites a la compra de CERs vendidos mediante el Mecanismo de Desarrollo Limpio, las metas de reducción ya no se lograrían al mínimo costo: los países del Anexo I enfrentarían mayores costos de cumplimiento.

La meta impuesta por el Protocolo de Kyoto es apenas un primer paso, y es claro que la reducción en emisiones de GEI debe ir mucho más allá para adecuadamente enfrentar el problema del cambio climático. En este sentido, es de gran importancia minimizar los costos totales de cumplimiento con el fin de lograr políticas estables que no afecten el desarrollo económico de los países y que sean sostenibles a largo plazo. Adicionalmente, al imponer límites al potencial del MDL, se restringiría la entrada de recursos financieros y tecnológicos a los países

³⁵ Ver pie de página 32.

en desarrollo, debilitando el incentivo que dicho Mecanismo les ofrece para alcanzar un desarrollo sostenible; esto va en contra del objetivo de la Convención Marco de Cambio Climático. Precisamente para lograr una reducción importante de las emisiones de GEI en el largo plazo, es necesario incentivar y apoyar a estos países a lograr un crecimiento económico menos dependiente del uso de combustibles fósiles y otras actividades que resulten en la emisión de GEI.

Segundo, el modelo buscó llamar la atención al lector sobre la importancia de tener en cuenta las futuras metas ambientales que deben asumir los países en desarrollo en su decisión actual de venta de CERs. La cantidad de reducciones que debe lograr el país es central a su decisión de venta de derechos de emisión. Si los países no reservan para su propio aprovechamiento parte de sus Certificados, posiblemente enfrentarán costos superiores a los beneficios que les puede otorgar el MDL. Es especialmente importante para los países en desarrollo con escasos recursos aprovechar estos de manera óptima, ya que el desviar recursos hacia la protección del medio ambiente significa sacrificar inversiones en sectores de gran importancia como la educación y la lucha contra la pobreza.

BIBLIOGRAFÍA

- ANDERSON, J.W. (1999): **A "Crash Course" in Climate Change.** *The RFF Reader in Environmental and Resource Management*, Resources for the Future. Washington D.C. (1999).
- BAUMOL, W., OATES, W. (1975): **The Theory of Environmental Policy.** Engelwood Cliffs, N.J., Prentice-Hall Inc.
- BAERT, J. (1997): **Global Trade in Greenhouse Gas Control: Market Merits and Critics' Concerns.** *The RFF Reader in Environmental and Resource Management*, Resources for the Future. Washington D.C. (1999).
- BARRETT, S. (1992): **Reaching a carbon dioxide emission limitation agreement for the community: implications for equity and cost-effectiveness.** *European Economy 1* (special edition): 3-24.
- BARRETT, S. (1997): **Economic Incentives and Enforcement are Crucial to a Climate Treaty.** *Perspectives on Policy.* Weathervane. Resources for the Future. December, 1997. www.weathervane.rff.com.
- BLACK, T., JARAMILLO, A., MINTZER, I. (2000): **Strict Supplimentarity and the CDM: Lessons from Selected Asian Countries.** Documento preparado para COP-6 en La Haya, Holanda, Noviembre 13-24 del 2000.
- BURNIAUX, J.M. ET AL. (1992): **The effects of existing distortions in energy markets on the costs of policies to reduce carbon dioxide emissions: Evidence from GREEN.** *OECD Economic Studies.* No. 19. Paris.
- CENTER FOR CLEAN AIR POLICY (1998): **Setting Priorities for the Implementation of the Kyoto Agreement.** *Making Flexibility Mechanisms Work*, February 1998.
- CHICHILNISKY, G. (1993): **The Abatement of Carbon Emissions in Industrial and Developing Countries.** International Conference on the Economics of Climate Change OECD/IEA: Paris 14-16, June 1993. Columbia University, New York.
- CLINE, W.R. (1992): **The Economics of Climate Change.** Institute for International Economics, Washington D.C.
- CLINTON ADMINISTRATION (1998): **The Kyoto Protocol and the President's Policies to Address Climate Change: Administration Economic Analysis.** United States of America. July 1998.
- DELLA MAGGIORA, C. (2002): **Climate Change in Latin America and the Caribbean: A review of the Bonn and Marrakech decisions and their effect on the Clean Development Mechanism of the Kyoto Protocol.** Working paper. Environment Division of the Sustainable Development Department. IADB. April, 2002.

- ELLERMAN, A.D., JACOBY, H.D., DECAUX, A. (1998): **The Effects on Developing Countries of the Kyoto Protocol and Carbon Dioxide Emissions Trading**. MIT. *Policy Research Working Paper 2019*. The World Bank.
- ESKELAND, G.S. (1994): **A Presumptive Pigouvian Tax: Complementing Regulation to Mimic an Emission Fee**. *The World Bank Economic Review*, Vol. 8, No. 3, 373-394.
- FORSTER, B.A. (1973): **Optimal Capital Accumulation in a Polluted Environment**. *Southern Economics Journal*. 39, 544-547 en Selden y Song (1995).
- GUSBIN, D., KLAASSEN, G., KOUVARITAKIS, N. (1999): **The Costs of a Ceiling on Kyoto Flexibility**. *Energy Policy*. 27(4): 833-844.
- HAHN, R. (1983): **Designing Markets in Transferable Property Rights: A Practitioner's Guide**. *Buying a Better Environment: Cost Effective Regulation through Permit Trading*.
- HAHN, R. (1984): **Market Power and Transferable Property Rights**. *Quarterly Journal of Economics*, November, 753-765.
- HAHN, R., HESTER, G. (1989): **Marketable Permits: Lessons for Theory and Practice**. *Ecology Law Quarterly* 16: 361-406.
- IBÁÑEZ, A. M.(1998): **Permisos Negociables y el Protocolo de Kioto: ¿Son los permisos instrumentos económicos eficientes?** *Desarrollo Sostenible*. CIPE - Universidad Externado de Colombia, Abril 1998.
- INSTITUTO DE ECONOMÍA ENERGÉTICA – IDEE (1998): **Mitigación de Gases de Efecto Invernadero, Estudio de Caso: Argentina**. Seminario Latinoamericano y del Caribe sobre Gases de Efecto Invernadero. Quito, Ecuador, 21 y 22 de Mayo de 1998.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC) WORKING GROUP I (1995): **Summary for Policy Makers: The Science of Climate Change**.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC) WORKING GROUP II (1995): **Summary for Policy Makers: Scientific-Technical Analysis of Impacts, Adaptations, and Mitigation of Climate Change**.
- LIGHT, A., SHIPPEN, B. JR. (1995): **Is Environmental Quality a Public Good?** Working Paper ERC 95-9, University of Alberta, Canada.

- NORDHAUS, W.D. (1991): **The Cost of Slowing Climate Change: a Survey.** *The Energy Journal*, Vol.12, No.1, 37-65.
- PARRY, I. (1997): **Pollution Regulation and the Efficiency Gains from Technological Innovation.** Discussion Paper 98-04. Resources for the Future. Washington, D.C.
- SELDEN, T.M., SONG, D. (1995): **Neoclassical Growth, the J Curve for Abatement, and the Inverted U Curve for Pollution.** *Journal of Environmental Economics and Management* 29, 162-168.
- SKODVIN, T., J.S. FUGLESTVEDT (1997): **A Comprehensive Approach to Climate Change: Political and Scientific Considerations.** *AMBIO*, Vol. 26, No. 6, 351-358.
- STAVINS, R. (1997): **Policy Instruments for Climate Change: How can National Governments Address a Global Problem.** Discussion Paper 97-11. Resources for the Future. Washington D.C.
- TIETENBERG, T. (1980): **Transferable Discharge Permits and the Control of Stationary Source Air Pollution: A Survey and Synthesis.** *Land Economics* 56: 391-416.
- TIETENBERG, T. (1985): **Emissions Trading: An Exercise in Reforming Pollution Policy.** Resources for the Future. Washington D.C.
- TIETENBERG, T., ET AL. (1998): **Greenhouse Gas Emissions Trading. Defining the Principles, Modalities, Rules and Guidelines for Verification, Reporting and Accountability.** UNCTAD Report.
- TIETENBERG, T. (1999): **Design Issues Seeking Research Answers.** Resources for the Future. Washington D.C.
- TOMAN, M. (1999): **Prices, Quantities, Timing and Participation in Greenhouse Gas Control Policy.** Resources for the Future. Washington D.C.
- UNITED NATIONS (1992): **United Nations Framework Convention on Climate Change.**
- UNITED NATIONS (1997): **Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change.**
- ZHANG, Z. (2000): **Meeting the Kyoto Targets: The Importance of Developing Country Participation.** Faculty of Law and Faculty of Economics. University of Groningen, The Netherlands.