

# ESTUDIOS ECONÓMICOS SOBRE EL USO DE LOS BOSQUES LATINOAMERICANOS PARA MITIGAR EL CAMBIO CLIMÁTICO

**Carlos E. Carpio**  
**Octavio A. Ramírez**  
*Universidad Tecnológica de Tejas*

El cambio climático es una grave amenaza para América Latina, pero también es una oportunidad para avanzar el desarrollo económico de la región. Este artículo discute un grupo de trabajos selectos sobre los aspectos económicos del uso de los bosques latinoamericanos para mitigar el cambio climático. Específicamente se analizan las contribuciones de estudios económicos sobre el servicio de almacenamiento de carbono en plantaciones forestales, bosques secundarios, bosques primarios, sistemas agroforestales y proyectos forestales desarrollados en la fase piloto de Actividades Realizadas Conjuntamente (ARC), desde la perspectiva del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) incluido en el Protocolo de Kioto. Dado que esta región ha sido pionera en ARC, los resultados de estos trabajos contribuyen en forma significativa a la discusión mundial sobre el uso de los bosques como un componente del MDL.

*Palabras clave:* América Latina, bosques, Protocolo de Kioto, cambio climático.

## 1. INTRODUCCIÓN

La creciente preocupación sobre el efecto de las emisiones antropógenas de gases sobre el clima global ha motivado a la comunidad internacional a tomar acciones para enfrentar este problema. En 1988, la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) crearon el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) con la finalidad de evaluar el estado del conocimiento científico sobre el cambio climático, los posibles impactos ambientales, económicos y sociales de tal cambio, y las alternativas para mitigar sus efectos.

El primer informe emitido por el IPCC en 1990 confirmó que el cambio climático era una amenaza para el planeta e hizo un llamamiento para el establecimiento de un tratado internacional para solucionar el problema. Respondiendo a este llamamiento, en diciembre de 1990 la Asamblea General de las Naciones Unidas estableció un Comité Intergubernamental de Negociación para negociar una convención marco sobre cambio climático. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC) fue abierta a la firma en la Cumbre de la Tierra en Río de Janeiro en 1992 y entró en efecto en 1994. El objetivo primordial de la UNFCCC es estabilizar las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero (GEI) "a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático." La UNFCCC divide a los países en dos grupos: países incluidos en el Anexo I (países industrializados) y países incluidos en el Anexo II (países en vía de desarrollo).

La primera Conferencia de las Partes en la UNFCCC reunida en Berlín en 1995 decidió que los compromisos establecidos para los países en el Anexo I no eran adecuados y por lo tanto acordó iniciar una nueva ronda de negociaciones para definir compromisos más detallados y estrictos para estos países. Como fruto de estas negociaciones, en 1997, durante la tercera Conferencia de las Partes en la UNFCCC, se adoptó el Protocolo de Kioto. Este protocolo compromete a los países incluidos en el Anexo I (listados en el Anexo B del Protocolo) a reducir el total de sus emisiones en no menos de 5% con relación a sus emisiones en 1990. Dichas reducciones deben concretarse para el primer período de compromiso comprendido entre 2008-2012. El Protocolo no establece ningún compromiso de reducción de emisiones para los países en vías en desarrollo.

Otra de las decisiones de la Conferencia de las Partes reunida en Berlín fue el establecimiento de un período de prueba para actividades realizadas conjuntamente (ARC) entre los países incluidos en el Anexo I, o entre éstos y los países no incluidos en el Anexo I. Durante este período, proyectos de reducción de emisiones y secuestro de GEI tales como proyectos de protección forestal, reforestación, uso eficiente de energía, etc. pueden llevarse a cabo en países en el Anexo I o en países en el Anexo II con financiamiento proveniente de otro país en el Anexo I, pero los efectos no serán acreditados a ninguna de las partes.

El Protocolo de Kioto también incluye una serie de mecanismos económicos flexibles que permiten reducir los costos de mitigar las emisiones de GEI en los países del Anexo B del Protocolo: Implementación Conjunta (IC), el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), y el Comercio de Emisiones (CE). Estos instrumentos buscan reducir los costos de mitigación de las emisiones permitiendo que estas reducciones se realicen en países con menores costos marginales por tonelada de emisión abatida. De los tres instrumentos antes mencionados, sólo el MDL permite la participación de países en vías de desarrollo en acciones de mitigación de emisiones. Este mecanismo tiene como propósito ayudar a los países no incluidos en el Anexo I a lograr un desarrollo sostenible y facilitar a los países incluidos en el Anexo I a cumplir con sus compromisos de reducción y limitación de emisiones. Si se considera como referencia los tipos de proyectos considerados en la fase experimental de implementación

conjunta, el MDL incluiría proyectos en los sectores energético, agrícola y forestal.

Para América Latina el cambio climático es una grave amenaza y también una oportunidad para avanzar el desarrollo económico de la región. Es una grave amenaza porque la mayor parte de sus actividades productivas están basadas en sus ecosistemas naturales, los cuales estarían entre los principales sectores afectados por el cambio climático (IPCC, 2000, pp. 1-45). Sectores como la agricultura, por ejemplo, continúan siendo claves para la región ya que emplean entre el 30 y 40% de su población económicamente activa y son la base de la subsistencia económica y principal sector de exportación en sus países más pobres (IPCC, 2000, p. 25). Proyecciones efectuadas bajo un escenario en el que se doblen las emisiones globales de CO<sub>2</sub> prevén pérdidas económicas para la región del 0,9 al 3,1% del Producto Interior Bruto (PIB), las cuales son mayores comparadas con las pronosticadas a nivel global (1,1 a 1,8%) o con las proyectadas para los países miembros de la OCDE (1,3 a 1,9%) (IPCC, 2000, p. 34).

Las oportunidades del cambio climático para América Latina se derivan del MDL considerado en el Protocolo de Kioto. Este mecanismo daría la posibilidad de atraer inversiones hacia la región y transferir tecnología en proyectos de mitigación. La potencial participación de América Latina y el Caribe en el mercado MDL se estima estaría en un rango del 8% al 12% (Banco Mundial NSS/Grutter Consulting, citado por Jean Acquatella, 2000, p. 7).

El papel que el sector forestal tendría en la implementación del MDL es especialmente importante para la región. De acuerdo al IPCC el sector forestal a nivel global tendría un potencial para mitigar entre 12 al 15% de las emisiones globales de carbono producidas entre 1995 y 2050. Más de las dos terceras partes de tales oportunidades se dice que están en los bosques trópicos, de los cuales Latinoamérica posee aproximadamente el 50% (IPCC, 2000, p. 14).

Como muestra de la importancia económica que el sector forestal tendría para la región dentro del MDL, el cuadro 1 presenta el valor económico potencial de la exportación de los servicios de almacenamiento de carbono de los bosques de algunos países latinoamericanos durante el período 1996 al 2015. Aunque para países como Honduras el potencial económico no parece ser muy grande, otros países como Costa Rica o Brasil podrían beneficiarse sustancialmente de la venta de estos servicios.

A pesar de la ventaja competitiva del sector forestal latinoamericano para secuestrar GEI a través del uso de sus bosques, hay algunas incertidumbres con relación a la inclusión de proyectos forestales dentro del MDL. Dentro del Protocolo de Kioto, el uso de los bosques como herramientas para mitigar el cambio climático sólo es explícitamente mencionado en los Artículos 3 y 6.

El Artículo 3 especifica que las variaciones netas del carbono en tres opciones dentro del sector forestal pueden ser usadas por los países

incluidos en el Anexo I para cumplir sus compromisos de reducción de emisiones de GEI desde 1990: forestación, reforestación y deforestación. El Artículo 6 posibilita la realización de proyectos forestales dentro del mecanismo de IC entre los países incluidos en el Anexo I. En cambio, el Artículo 12 relacionado con el MDL no hace ninguna referencia a proyectos forestales. En todo caso la inclusión de los diferentes tipos de proyectos forestales en los diferentes mecanismos del Protocolo continúa siendo debatida.

**Cuadro 1**  
**VALOR POTENCIAL DE EXPORTACIÓN DE LOS SERVICIOS**  
**DE ALMACENAMIENTO DE CARBONO DE ALGUNOS PAÍSES**  
**LATINOAMERICANOS (PERÍODO 1996-2015).**

País	Potencial de reducción de C (millones de TmC) <sup>(1)</sup>	Rango valor potencial exportaciones C (en millones de \$US) <sup>(2)</sup>
Brasil	5.400-14.000	54.000-280.000
México	460-1.700	4.600-34.000
Colombia	630-1.300	6.300-26.000
Perú	600-950	1.200-19.000
Venezuela	440-940	4.400-18.800
Ecuador	320-640	3.200-12.800
Costa Rica	124,84	1.248-2.496
Nicaragua	43,08	431-862
Guatemala	28,65	287-574
El Salvador	27,24	272-544
Honduras	9,68	97-194

(1) Rodríguez, J. y L. Pratt, (1998), *Potencial de Carbono y Fijación de Dióxido de Carbono de la Biomasa en Pie por Encima del Suelo en los Bosques de Centroamérica*. Centro Latinoamericano para la Competitividad y el Desarrollo Sostenible del INCAE (disponible en la página de internet: [www.incae.ac.cr/ES/clacds/investigación](http://www.incae.ac.cr/ES/clacds/investigación), 15 de mayo de 2001).

Trexler, M. and C. Haugen, (1995), *Keeping it Green: Tropical Forestry Opportunities for Mitigation Climate Change*, World Resources Institute, Washington.

(2) Asumiendo un precio de la tonelada de carbono entre 10 y 20 \$US.

A pesar del potencial de su sector forestal dentro del mercado MDL y de que la región ha sido pionera en el desarrollo de proyectos forestales dentro de la fase experimental de actividades realizadas conjuntamente, la literatura económica existente con relación al uso de los bosques como instrumento de mitigación del cambio climático en el contexto latinoamericano es limitada. El presente artículo tiene como objetivo principal hacer una recopilación de algunas de las contribuciones más importantes dentro de esta temática y que se han realizado respecto a la región latinoamericana.

El aporte de estos trabajos es importante desde diferentes puntos de vista. Primero, porque presentan una evaluación más precisa del valor

económico potencial del servicio de almacenamiento de carbono de los bosques de la región. Segundo, porque constituyen un referente importante en relación a los diferentes aspectos que deben ser analizados y a las metodologías que pueden usarse en el momento de realizar estudios económicos sobre el uso de los bosques como sumideros de carbono. Y tercero, porque sus resultados son una contribución a la discusión mundial sobre el uso de los bosques dentro del MDL.

Dentro del sector forestal las opciones para mitigar el cambio climático pueden agruparse en tres categorías: 1) conservación o almacenamiento del carbono almacenado en bosques existentes, 2) secuestro de carbono a través de un incremento de las áreas cubiertas con bosques, y 3) medidas para incrementar la capacidad de almacenamiento de carbono en bosques existentes. En el presente artículo diferentes opciones dentro de estas tres categorías son analizadas desde el punto de vista económico. En su gran mayoría estos trabajos se refieren a proyectos específicos en una zona o región dentro de un país. Mucha menos atención se ha dado a realizar análisis económicos de los bosques con una perspectiva nacional.

Dado que diferentes autores emplean diferentes términos al referirse a la misma opción forestal, en este trabajo se utiliza la terminología propuesta por Ramírez (2000, p. 109), la cual se basa en las experiencias de Costa Rica durante el período piloto de ARC. Este autor distingue tres opciones para el uso de los bosques como sumideros de carbono: conservación de carbono, *parqueo* de carbono y secuestro de carbono. Conservación o almacenamiento se refieren a la capacidad de los bosques maduros de mantener almacenada una cierta cantidad de carbono por hectárea. El *parqueo* es el almacenamiento temporal de carbono, y el secuestro se refiere a la remoción de carbono de la atmósfera mientras un bosque está creciendo.

La presentación de los trabajos se divide en seis secciones. Las primeras tres secciones incluyen los trabajos relacionados con análisis económicos del servicio de almacenamiento de carbono en plantaciones forestales, bosques secundarios, y bosques primarios. La cuarta sección incluye una selección de estudios de análisis económicos comparativos entre diferentes opciones de manejo forestal. La quinta sección se relaciona con el impacto del uso de los bosques dentro del MDL para promover el desarrollo de la región. Finalmente, la sexta sección hace referencia a la experiencia de América Latina dentro de la fase de ARC.

## 2. ESTUDIOS ECONÓMICOS SOBRE EL USO DE LOS BOSQUES LATINOAMERICANOS PARA MITIGAR EL CAMBIO CLIMÁTICO

### *2.1 Análisis económicos del servicio de almacenamiento de carbono en plantaciones forestales*

Una selección de tres estudios es presentada en esta sección. El primero hace referencia a la evaluación de un proyecto de reforestación de una empresa privada en Costa Rica, el segundo se relaciona con un pro-

yecto de forestación en la región de la Patagonia en Argentina, y el tercero es un trabajo de valoración económica del servicio de almacenamiento de carbono de las plantaciones forestales existentes en Costa Rica. La contribución de cada uno de los estudios no solamente difiere por su alcance geográfico, sino también por los diferentes enfoques usados en cada uno de ellos.

Kägi (2000, pp. 86-102) analiza el efecto de un proyecto de reforestación en Costa Rica llevado a cabo por "Precious Woods", una empresa cuyo principal objetivo dice ser el manejo de proyectos forestales sostenibles en países tropicales. El enfoque de este estudio es el análisis de su factibilidad desde la perspectiva de lo que sería permitido o no bajo el Protocolo de Kioto para los proyectos forestales. Por lo tanto, el autor empieza definiendo términos que son claves para calcular los beneficios de almacenamiento de carbono: línea base y efectos directos, línea base y adicionalidad, efectos indirectos o fuga, y reversibilidad.

El escenario de línea de base se define como aquel que representa lo que habría ocurrido sin el proyecto. El efecto directo del proyecto es la diferencia entre el almacenamiento de carbono en el escenario con el proyecto y la línea base. Un efecto directo neto positivo, sin embargo, no garantiza que el proyecto pueda ser considerado como un sumidero de carbono dentro del Protocolo. Los beneficios adicionales del proyecto tienen que ser demostrables. Un proyecto no pasaría la prueba de adicionalidad si su realización fuera factible sin financiación con fondos provenientes de los mecanismos estipulados en el Protocolo de Kioto.

En el caso de proyectos forestales los criterios citados por este autor para probar la adicionalidad de un proyecto son el método de la barrera y el método comercial. Un proyecto dentro del MDL o IC sería adicional si se puede identificar una barrera económica, institucional o legal que evite que el proyecto se lleve a cabo. El método comercial consiste en calcular si el proyecto resultaría en un nivel de rentabilidad normal sin financiamiento adicional. El concepto de rentabilidad incorpora también el riesgo relativo de la inversión, el cual reduce la futura rentabilidad esperada. Tasas de retorno al capital del 10% o 20% según este autor no serían suficientes en países en desarrollo para compensar los altos riesgos asociados con proyectos de plantaciones forestales.

Con relación a los efectos indirectos, todo proyecto debe considerar sus efectos fuera de sus límites geográficos. Por ejemplo, la prohibición de la tala de bosques en un área determinada podría incrementar la tala de bosques en otra. Aunque este análisis podría hacerse a nivel regional o zonal, a nivel nacional, continental o global, se recomienda restringirlo al área que es afectada por el proyecto en una forma significativa. El último criterio sugerido para evaluar proyectos forestales es el de la reversibilidad, i.e. el riesgo de que el bosque sea cortado en el futuro para vender la madera y dedicarse a una actividad más rentable.

Utilizando los cuatro criterios explicados anteriormente Kägi evalúa los proyectos de Precious Woods in Costa Rica, los cuales se llevan a cabo en cinco fincas al norte del país, en la zona de Guanacaste. Se asume

como línea base el uso de la tierra en ganadería. La cantidad promedio de carbono secuestrada por año en las plantaciones de Precious Woods se estima en 4,32 Tm/ha. Dado un período de crecimiento de 30 años, el carbono total secuestrado sería 129,6 Tm/ha. Considerando la madera cosechada como un sumidero de carbono, se estima que aproximadamente un 7% del carbono presente en la madera cosechada durante el primer período continuaría almacenado como tal hasta el final del segundo período. Este último aspecto es relevante ya que éste es uno de los pocos trabajos en los que se presenta un análisis algo detallado del efecto de la madera. Este mismo efecto en otros trabajos o es considerado como una emisión neta inmediata o como una captura neta permanente de carbono.

Para evaluar la adicionalidad de la reforestación de los proyectos se analiza su rentabilidad. Precious Woods esperaría tener una tasa de retorno del 10% en su capital invertido. Sin embargo, si se toma en cuenta el riesgo se argumenta que el proyecto no es necesariamente rentable. Como se mencionó anteriormente, tasas internas de retorno (TIR) mayores al 20% serían necesarias en países en desarrollo para considerar un proyecto forestal rentable. También se presenta evidencia de que en Costa Rica los proyectos forestales son sólo rentables en buenos suelos, mientras que algunos de los suelos del proyecto de Precious Woods son marginales. La adicionalidad del proyecto es también argumentada desde el punto de vista de que mecanismos internos, como por ejemplo incentivos gubernamentales, no han tenido éxito promoviendo la reforestación. El estudio de la adicionalidad del uso de productos de madera y el uso de ésta para reemplazar combustibles fósiles se dice que requiere un mayor análisis y debe estar basado en estimaciones de las elasticidades de la demanda y oferta en el mercado de la madera.

Los efectos indirectos del proyecto de Precious Woods en Costa Rica, en general, se consideran positivos. Más trabajadores, se dice, son ocupados por la empresa en comparación a los trabajadores ocupados cuando las fincas eran dedicadas a la ganadería. El desarrollo de tecnologías, canales de comercialización y desarrollo de capital humano también se presentan como efectos indirectos positivos.

En lo que respecta a la reversibilidad del proyecto, Kägi afirma que este riesgo es relativamente bajo en el caso de Precious Woods. Una vez que los altos costos fijos iniciales del establecimiento de la plantación, su mantenimiento y la constitución de una adecuada capacidad administrativa es financiada con los ingresos provenientes por la venta de carbono, se argumenta que las plantaciones forestales se vuelven rentables por sí mismas.

Todos los criterios antes mencionados son importantes para evaluar la factibilidad de que un proyecto de plantaciones forestales reciba fondos de los mecanismos estipulados en el Protocolo de Kioto. Una correcta identificación de la línea base es clave, primero, para el cálculo del potencial de captura del bosque, y luego, para la estimación de su valor económico. La evaluación de la adicionalidad se basa en el cálculo del valor presente neto del proyecto y su TIR. El conocimiento de los valores de las elasticidades de la oferta y demanda de la madera son necesarios para una evaluación más precisa de la adicionalidad del proyecto y el cálculo

de sus efectos indirectos. Finalmente, el análisis de la estructura de los costos del proyecto forestal y su variación a través del tiempo puede ser usada para evaluar su reversibilidad.

Sedjo (1999, pp. 1-9) examina la región de la Patagonia en Argentina como un ejemplo de una área en la cual la creación de plantaciones forestales es solamente viable si se combinan los objetivos de producción de madera y el secuestro de carbono. La región se ubica entre los 36 y 46 grados de latitud sur, con una elevación promedio de 1500 msnm y una precipitación comprendida entre 400 y 1000 mm. El área potencial para explotación forestal en la región es calculada en aproximadamente 3 millones de hectáreas. La especie forestal considerada como la más apropiada para la zona es el pino Ponderosa (*Pinus ponderosa*), la cual tiene una rotación biológica de 27 a 36 años.

El estudio empieza considerando una hectárea típica de la región, la cual está siendo usada para el pastoreo de ganado vacuno y ovino. Diferentes escenarios son analizados: dos periodos de rotación (27 y 35 años) en combinación con dos tipos de proyectos (producción maderera y producción maderera- secuestro de carbono). Para la comparación de los proyectos se calcula su valor presente neto (VPN) utilizando una tasa de descuento del 10%. El costo de la plantación por hectárea se estima en 1000 \$US, incluido el costo de la tierra (50 – 100 \$US/ha), asumiendo precios por tonelada de carbono secuestrada permanentemente de 10 y 20 \$US. A los 27 años se estima que el bosque produciría 461,7 m<sup>3</sup> de madera y 168,1 TmC por hectárea, mientras que a los 35 años estos estimados se incrementan a 662,4 m<sup>3</sup> de madera y 241,1 TmC.

En los dos periodos de rotación evaluados, los valores presentes netos de los proyectos que únicamente incluyen explotación maderera resultan negativos. Solamente los proyectos de producción conjunta de madera y carbono asumiendo un precio de 20 \$US por TmC secuestrado resultaron positivos. En todos los escenarios el VPN de la rotación de 27 años de duración es mayor que la de 35 años, pero la diferencia se hace menor conforme se incrementa el precio del carbono. En otras palabras, el período óptimo de rotación se hace más largo conforme se incrementa el precio del carbono. El estudio también incluye un breve análisis del efecto de las prácticas de clareo. Se concluye que estas prácticas añaden poco valor al proyecto, y que incluso pueden afectar negativamente su valor a altos precios por TmC.

En el análisis a nivel regional se incluye una discusión sobre el problema de la cosecha de la plantación dada su función como sumidero carbono. Interpretando el Protocolo de Kioto el autor afirma que éste funcionaría en un sistema de créditos y débitos de secuestro de carbono. Créditos serían dados por el proceso de crecimiento del bosque establecido y débitos por el de cosecha. Sin embargo, si el área es replantada por segunda vez no habría ningún débito ni crédito adicional. Por lo tanto, se plantea el concepto de crear un bosque regulado a nivel regional. Una vez concluida la plantación de árboles en toda el área disponible, el bosque produciría un flujo permanente de madera y mantendría también un stock permanente de carbono almacenado.

Uno de los problemas que estaría por definirse de acuerdo con este autor es la cantidad de créditos de carbono que deberían otorgarse en su concepto de bosque regulado. Inicialmente los créditos serían dados en el proceso de crecimiento de la plantación por el servicio de secuestro de carbono, hasta alcanzar un máximo previo a la cosecha. A largo plazo, sin embargo, dicho bosque solamente mantiene almacenada en promedio una porción de esa cantidad.

El estudio de Sedjo se concentra en la evaluación de la viabilidad financiera de la plantación forestal. Las plantaciones son sólo factibles financieramente si se logra vender el servicio del almacenamiento de carbono. Una contribución importante de dicho estudio es el análisis del turno óptimo de cosecha, el cual variaría dependiendo del precio relativo de la madera y el carbono. Este trabajo también evidencia la necesidad del establecimiento de reglas más claras para la contabilidad de los créditos por secuestro de carbono.

Ramírez (2000, pp. 134-141) estima el valor económico del servicio de almacenamiento de carbono en las plantaciones forestales ya establecidas en Costa Rica (año 1995). El área total con plantaciones forestales en ese país se estima en 128.000 has. El estudio estima también un incremento anual promedio de 7,7 TmC secuestrado por hectárea de plantación. La cantidad promedio de carbono almacenado en dichas plantaciones durante el período de 1970 a 1995 fue calculada en 746.769 Tm/año y la cantidad total de carbono acumulada en 1995 en 4,42 millones de Tm. Se concluye que durante los próximos 80 años, si las 128 mil hectáreas de plantaciones son mantenidas mediante rotaciones continuas, un promedio de 8,4 millones de TmC se matendrían almacenadas a largo plazo.

Usando precios entre 10 y 20 \$US por TmC almacenada durante un período de 20 años, el autor estima que el valor del servicio de almacenamiento de carbono brindado por las plantaciones forestales del país por un primer período de 20 años estaría entre 84 y 168 millones de \$US. Si el pago fuera hecho por el secuestro permanente de carbono en las plantaciones, el valor promedio equivalente de los precios negociados en Costa Rica en la fase piloto de ARC sería alrededor de 47 \$US por TmC almacenada permanentemente, y el valor total del servicio de almacenamiento prestado por las 128 mil hectáreas de plantaciones de 400 millones de \$US.

El autor concluye que dado que en Costa Rica hay una tendencia a continuar sembrando otras áreas con plantaciones forestales, los valores económicos calculados en su estudio podrían aumentar significativamente. También recomienda incluir en este tipo de análisis curvas de emisión de carbono, las que permitirían predecir el porcentaje de carbono almacenado que se emitiría a la atmósfera cada año después de la cosecha de la madera. Dado que especies de turnos largos almacenan mucho más carbono, en promedio, a nivel nacional se sugiere considerar la duración del turno de rotación de la especie plantada como uno de los criterios para diferenciar los programas de incentivos a plantaciones para proveer el servicio de almacenamiento de carbono. Finalmente, el autor sugiere realizar estudios económicos comparativos entre bosques secundarios y plantaciones forestales (Ramírez, 2000, pp. 143-144).

La contribución más relevante de este trabajo son los métodos sugeridos para evaluar la capacidad de almacenamiento de carbono de las plantaciones de una región o país. Estudios de esta naturaleza se vuelven complicados por el hecho de que incluyen diferentes tipos de especies bajo diferentes condiciones climáticas y ambientales, y además deben ser analizados en un contexto intertemporal.

## *2.2 Análisis económicos del servicio de almacenamiento de carbono en bosques secundarios*

Un bosque secundario es un bosque en proceso de regeneración natural en un área en la que previamente existió un bosque primario. Esta opción silvícola resulta interesante como sumidero de carbono ya que en determinadas áreas puede competir con la opción de plantaciones forestales, especialmente por su bajo o nulo costo de establecimiento. Sin embargo, nuestra revisión de literatura solamente identificó un trabajo que hace referencia a este tipo de bosques.

El trabajo en mención estudia la magnitud y el valor económico potencial del servicio de almacenamiento de carbono de los bosques secundarios tropicales húmedos de Costa Rica (Ramírez et al., 2001). En la primera sección de este artículo se estima un modelo de acumulación de biomasa en estos bosques en función de su edad. Este modelo es estimado usando como base mediciones detalladas del crecimiento de los árboles durante varios años en parcelas experimentales con bosques de distintas edades, ubicadas en cuatro regiones del trópico húmedo de Costa Rica.

Para el análisis económico se asume que el propietario evalúa varias alternativas de uso de su tierra durante el primer año en que los contratos de captura o almacenamiento de carbono se hacen disponibles. Las alternativas analizadas incluyen todas las combinaciones de los siguientes posibles usos de la tierra, durante un período de 40 años: cosecha inicial o no, venta de la tierra y/o utilización de la misma en su uso alternativo más rentable (por ejemplo: agricultura o ganadería), cosechas intermedias (cada 20 años) o no, y contratos por parqueo o secuestro de carbono. Alternativas incluyendo cosecha antes de entrar a un contrato de almacenamiento de carbono son bastante controvertidas a la luz del Protocolo de Kioto; sin embargo, se incluyen para determinar las condiciones económicas bajo las cuales un productor racional no las preferiría.

Con base en la experiencia de las ARC en Costa Rica se asume que los contratos por parqueo de carbono tendrían una duración de 20 años, con precios potenciales de 5 \$US, 15 \$US y 25 \$US/TmC parqueado. Los precios asumidos para los contratos de secuestro de carbono son 10 \$US, 25 \$US y 40 \$US/TmC, y se basan en estimaciones internacionales de los costos sociales marginales y costos de abatimiento de carbono. La firma de un contrato de secuestro de carbono imposibilita un futuro cambio en el uso de la tierra. Los pagos a los propietarios se asume, son hechos anualmente en base a la cantidad de carbono que sus bosques mantuvieron almacenado o secuestraron ese año.

A efectos de comparar las diferentes alternativas del uso de la tierra se calcula el VPN de los ingresos netos que resultarían de una hectárea de tierra dedicada a cada una de esas alternativas, asumiendo dos posibles (extremos) costos de oportunidad de la tierra: 500 y 1000 \$US/ha y tasas de descuento de 5% y 10%. El valor de la madera cosechada se estima en 3,5 \$US por tonelada métrica de biomasa y el costo de cosecharla en 1 \$US por Tm de biomasa. Este estudio incluye además tres posibles escenarios de crecimiento de los bosques basados en los niveles de acumulación de biomasa estimados para las cuatro áreas incluidas en el análisis. Las mínimas tasas de crecimiento son la base para un escenario pesimista, las máximas para un escenario optimista, y finalmente un escenario "realista" se basa en las tasas de acumulación promedio proyectadas en las cuatro áreas forestales. Para cada uno de 132 escenarios resultantes de las combinaciones de precios, costos, tasas de descuento y niveles de acumulación de biomasa, se selecciona la alternativa de uso de la tierra que maximiza el valor presente neto para bosques de 51 diferentes edades (0-50 años).

Para el cálculo del valor económico potencial del servicio de almacenamiento de carbono de los bosques secundarios a nivel de todo Costa Rica se plantean una serie de supuestos basados en el estado actual de las áreas cubiertas con bosques secundarios en el país y las tendencias históricas de cambio en el uso de la tierra. El análisis evalúa el posible valor económico durante el período 2000 al 2150.

El modelo de crecimiento forestal predice niveles máximos de acumulación de biomasa entre 102 Tm/ha y 190 Tm/ha, con el 85% a 95% de la biomasa siendo acumulada durante los primeros 30 años de crecimiento. Los resultados también indican que en promedio estos sistemas podrían acumular 4 TmC/año durante los primeros 10 años y una TmC más por año en los siguientes 10 años de crecimiento. La capacidad de almacenamiento promedio de carbono de los bosques secundarios húmedos de Costa Rica se estima en 60 Tm/ha después de 40 años de crecimiento.

Diferentes alternativas resultan en el máximo VPN, dependiendo del escenario evaluado. En algunos escenarios inclusive, la alternativa óptima (i.e la que maximiza el VPN) varía dependiendo de la edad del bosque al momento de la decisión. La alternativa de venta de la tierra prevalece en la mayoría de escenarios asumiendo los precios más bajos por TmC secuestrada o parqueada. En los escenarios considerados como realistas, los precios promedio por parqueo y secuestro (15 y 25 \$US/TmC, respectivamente) aseguran la conservación del bosque secundario. Los autores concluyen que la conservación del bosque en la mayoría de escenarios podría asegurarse gastando menos de 1500 \$US/ha. Esto implicaría niveles de almacenamiento promedio entre 40 y 80 TmC/ha y un costo actualizado por este servicio comprendido entre 15 y 25 \$US por TmC.

Se estima que actualmente existen 300,000 hectáreas de bosques secundarios tropicales húmedos en Costa Rica, y que esta área podría incrementarse a un millón de hectáreas en 2110, completando el proceso de recuperación de las áreas que fueron deforestadas entre 1945 y 1980.

Siete de los 32 escenarios utilizados a nivel de hectárea fueron considerados a nivel de país: dos pesimistas, tres realistas y dos optimistas. Bajo estos escenarios se calcula que dichos bosques secundarios tendrían un potencial de almacenamiento de carbono entre 36 y 44 millones de TmC con un posible valor económico total entre 782 y 3.027 millones de dólares.

Finalmente, se concluye que los rangos de precios de TmC negociados en los proyectos forestales dentro de las ARC existentes son suficientes para motivar la conservación de los bosques secundarios bajo los escenarios considerados como más realistas. La opción de secuestro es generalmente atractiva cuando el productor puede aprovechar las mayores tasas de secuestro de carbono, que ocurren en los primeros años de crecimiento del bosque. Las diferencias encontradas en los niveles de acumulación de biomasa en las cuatro regiones estudiadas sugieren la necesidad de determinar con más precisión estos niveles en lugares donde se planifica realizar proyectos forestales de gran magnitud bajo el MDL.

A diferencia de los otros estudios citados en este artículo en los que la capacidad de almacenamiento del bosque es calculada utilizando datos promedio de acumulación de biomasa, este trabajo estima estos valores con base en datos de campo y procedimientos estadísticos más precisos. La variabilidad encontrada en las tasas de acumulación de biomasa dependiendo de la región y su impacto en el cálculo del potencial económico de los bosques realzan la necesidad de establecer estimados más precisos de estos niveles. Otra contribución de este estudio es que analiza el problema de usar los bosques como sumideros de carbono desde diferentes perspectivas. Desde el punto de vista del dueño de la tierra, trata de determinar las condiciones económicas que lo motivarían a conservar su bosque. Desde una perspectiva macroeconómica, intenta determinar opciones que minimizan el costo y tratan de mantener un elevado nivel de almacenamiento de carbono.

### *2.3 Análisis económicos del servicio de almacenamiento de carbono en bosques primarios*

Los dos estudios resumidos en esta sección analizan la factibilidad económica de transformar un bosque primario en un bosque bajo manejo para la producción de madera y el almacenamiento de carbono. El primero evalúa un proyecto de manejo forestal en la amazonía brasileña, mientras que el segundo analiza tres opciones de manejo del bosque en el trópico húmedo de Costa Rica.

Usando los mismos criterios especificados previamente en su estudio sobre plantaciones en Costa Rica, Kägi (2000, pp. 102-111) analizó un proyecto de manejo forestal de la empresa Precious Woods en 75.000 has de la Amazonía Brasileña. Específicamente esta empresa propone convertir el bosque primario en un bosque bajo manejo en el que se realizan cosechas periódicas selectivas cada 25 años.

El cálculo del efecto directo del proyecto se basa en la comparación de la cantidad de carbono almacenado en el bosque primario y el bosque

bajo manejo. Este autor afirma que la línea base para un proyecto pequeño como el de Precious Woods tiene que ser el bosque primario; ya que un proyecto de esta naturaleza no tendría efecto alguno sobre la tasa de deforestación (efecto indirecto).

El balance de carbono se dice es afectado en dos formas con un proyecto de este tipo. La primera es una reducción en la biomasa del bosque a través de la cosecha. La segunda se relaciona con el uso de la madera cosechada para construir productos de larga duración como muebles o viviendas y/o reemplazar combustibles o materiales. Se asume que la capacidad promedio de almacenamiento de carbono del bosque primario es de 125 TmC y que la cosecha del bosque reduciría esta capacidad de almacenamiento en un 10%. Con relación al almacenamiento de carbono que tendría lugar en el mobiliario construido con la madera cosechada, se concluye que sólo después de 60 años este "efecto mobiliario" compensaría la pérdida de carbono producida durante la cosecha.

Si la emisión de carbono por la cosecha exigiera un pago por emisión y el almacenamiento por el efecto mobiliario en un cobro por captura, al transformar los flujos de carbono en flujos financieros, el VPN de este proyecto es negativo a tasas de descuento mayores que 1,6%. Con relación a su efecto indirecto, éste sería positivo sólo en el caso de que Precious Woods lograra reducir la deforestación causada por otras empresas, las cuales emiten una mayor cantidad de CO<sub>2</sub> en el proceso de producción de madera.

La reversibilidad del proyecto de Precious Woods en Brasil parece ser bastante probable. El proyecto es poco rentable y por lo tanto hay un alto riesgo de que la compañía lo abandone en el futuro. Finalmente, el autor concluye que la incertidumbre sobre la capacidad del proyecto para almacenar carbono hace muy difícil la consecución de fondos externos para financiarlo. Proyectos forestales de esta naturaleza parecen ser poco adecuados dentro del MDL.

Ramírez (2000, pp. 126-134) estudia la capacidad de almacenamiento de carbono y la viabilidad financiera de tres opciones de manejo forestal de bosques primarios del trópico húmedo de Costa Rica: cosecha convencional (control), cosecha convencional seguida por un tratamiento de raleo de copa (raleo de copa), y cosecha convencional seguida por un tratamiento de liberación para promover el establecimiento de especies madereras de alto valor comercial (liberación).

Este trabajo se basa en datos de campo tomados durante seis años en parcelas experimentales del CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza) ubicadas en el trópico húmedo de Costa Rica. Cincuenta y cuatro años más de crecimiento del bosque se simulan, a partir de los datos experimentales utilizando un modelo de crecimiento forestal desarrollado por el CATIE (SIRENA 2). Los datos de campo y simulados son luego usados para estimar la biomasa en pie por encima del suelo de cada uno de los árboles presentes en las parcelas experimentales por un período de 60 años, asumiendo cosechas en los años 20, 40 y 60.

Para determinar la factibilidad financiera de cada opción de manejo se calculan sus VPNs. Inicialmente las opciones se evalúan sin incluir pagos por el servicio de parqueo de carbono y considerando solamente un turno de cosecha (evaluación monopériódica o de corto plazo). El análisis se expande luego para incluir pagos por el parqueo de carbono y cosechas periódicas, ad infinitum. Considerando los recientes acuerdos para ARC en Costa Rica, se asume una compensación de 10 \$US/TmC parqueada durante un período de 20 años. Así mismo, con base en reciente legislación estableciendo incentivos forestales, se asume que un 50% del pago se hace el primer año, un 20% el segundo año y un 10% en cada uno de los siguientes tres años. El contenido de carbono es calculado multiplicando el nivel de biomasa por 0,50, que es el cociente promedio de carbono a biomasa estimado para las maderas que se encuentran en este tipo de bosques. Para el cálculo de los ingresos por la venta de la madera cosechada se utilizaron tres grupos de especies: especies semi-duras con un valor promedio de 80 \$US/m<sup>3</sup>, especies de alto valor comercial con un valor promedio de 93 \$US/m<sup>3</sup>, y especies de bajo valor comercial con un valor promedio de 40 \$US/m<sup>3</sup>. Además, se evaluaron tres tasas de descuento para el cálculo del VPN: 5%, 8% y 10%.

En el análisis financiero monopériódico que no incluye ni el valor del servicio de parqueo de carbono ni el valor de la cosecha inicial, el tratamiento de liberación resultó en el VPN más alto (430 \$US/ha bajo la tasa de descuento más favorable de 5%). Pero aún este valor es menor que el rango de VPNs de usos alternativos de la tierra, el cual estaría entre los 750 y 1500 \$US por hectárea. Si se añade el valor de la cosecha inicial, estimado en 736 \$US/ha, todos los tratamientos muestran VPNs monopériódicos dentro o sobre el rango de los costos de oportunidad de la tierra antes mencionados. Sin embargo, el autor argumenta que el valor de la cosecha inicial y el análisis de la rentabilidad del manejo del bosque deben de mantenerse separados, ya que en práctica el productor puede cosechar el bosque y luego venderlo y/o dedicar la tierra a una actividad alternativa que es más rentable que el manejo forestal sostenible.

Los resultados de la evaluación multipériódica sin incluir el valor del servicio de almacenamiento de carbono son similares a los de la evaluación monopériódica, con el tratamiento de liberación produciendo el VPN más alto pero aún por debajo del rango de costos de oportunidad de la tierra cuando se deja por fuera del flujo de ingresos el valor de la cosecha inicial. Al incluir en el análisis los ingresos que se obtendrían por la venta del servicio de almacenamiento de carbono, los VPNs por hectárea para el control, el tratamiento de raleo de copa y el tratamiento de liberación bajo la tasa de descuento de 8% son 2041 \$US, 1873 \$US y 1951 \$US, respectivamente. Estos valores excluyen el costo de oportunidad de la tierra, pero aún si se considera dicho costo, el manejo sostenible del bosque produce VPNs positivos.

Estos trabajos implican dos conclusiones muy importantes. La primera es que bajo los supuestos del proyecto de manejo forestal sostenible de Preciosus Woods en la Amazonía Brasileña, en los que se compensa por el secuestro neto, pero no por el almacenamiento o parqueo de carbono, es imposible alcanzar niveles aceptables de rentabilidad. Además

con un proyecto de esa naturaleza es difícil argumentar un impacto neto positivo de almacenamiento de carbono a nivel de la región. La segunda es que un programa de incentivos en el que se pague a los productores por el servicio de almacenamiento o parqueo de carbono puede transformar el manejo forestal sostenible de un bosque primario bajo manejo en una actividad económicamente rentable.

#### *2.4 Análisis económicos comparativos entre diferentes opciones de manejo forestal*

A diferencia de los trabajos presentados anteriormente en los que las evaluaciones económicas de los proyectos se referían a opciones específicas de manejo silvícola, en esta sección se presentan trabajos que comparan diferentes opciones de manejo forestal. En el primer caso se comparan diferentes sistemas agroforestales en un proyecto en la región de Chiapas, México, y en el segundo se comparan seis opciones incluyendo diferentes tipos de plantaciones forestales y sistemas de manejo sostenible del bosque en la Amazonía Brasileña.

De Jong et. al (1995, pp. 409-416) estudiaron la factibilidad de un proyecto de secuestro de carbono con diferentes sistemas agroforestales en dos regiones de la zona de Chiapas, México. El estudio de factibilidad se realizó en conjunto con los miembros de la Unión de Crédito Pajal Ya Kac'tic. Las comunidades participantes se ubican en las regiones de Tzeltal y Tojolabal. La mayoría de los miembros de las comunidades participantes son agricultores de subsistencia que utilizan productos forestales para leña, materiales de construcción, suplemento alimenticio y la fabricación de tintes. La forma más común de tenencia de la tierra en todas las comunidades participantes es la ejidal.

El cálculo de la cantidad de carbono capturada en sistemas silvícolas sociales es más complicado que en plantaciones comerciales. Estos sistemas incluyen una mezcla de diferentes especies de árboles de diferentes edades con cultivos perennes o anuales. Por lo tanto, este estudio presenta una metodología para el cálculo de la capacidad de captura de carbono de los sistemas agroforestales un tanto diferente a las metodologías antes discutidas. La unidad básica de cálculo es el árbol. Primero se establecen ecuaciones relacionando el carbono almacenado por árbol con su diámetro a la altura del pecho, para las especies más importantes en cada región (De Jong et. al, 1995, p. 411). Una vez definida la cantidad y tipo de árboles presentes en cada sistema por unidad de área, se usan estas ecuaciones para estimar la capacidad de secuestro de carbono del sistema.

Para el cálculo de los costos de secuestro de carbono en cada sistema los autores consideraron los costos de implementación del sistema forestal, más el costo de oportunidad asociado con la pérdida de ingresos del sistema agrícola, y menos los beneficios provenientes de la venta de los productos forestales. VPNs se calcularon bajo tasas de descuento del 5%, 10% y 15%.

Inicialmente los agricultores se mostraron más interesados en establecer plantaciones individuales de árboles o sistemas agroforestales, en

vez de plantaciones en las áreas comunales, a pesar de que el potencial económico de estas últimas parece ser mucho mayor. Los sistemas agroforestales seleccionados por las comunidades, así como su potencial estimado de secuestro de carbono se muestran en el cuadro 2. Los sistemas agroforestales en la región de Tzeltal parecen ser más productivos en términos de su capacidad de captura de carbono.

Con relación a los costos del secuestro de carbono, este artículo únicamente presenta los costos estimados para el sistema de barbecho mejorado con árboles. Usando las tres tasas de descuento antes mencionadas, en la región de Tzeltal el rango de costos por tonelada de carbono almacenada es estimado entre 4,9 y 7,4 \$US, y en la región de Tojolabal entre 9,7 y 12,7 \$US.

**Cuadro 2**  
**SISTEMAS AGROFORESTALES SELECCIONADOS Y CAPACIDAD**  
**ESTIMADA DE CAPTURA DE CARBONO POR HECTÁREA**  
**AL FINAL DEL PERÍODO DE ROTACIÓN**

Sistema	Número de árboles	Carbono secuestrado (toneladas)
<b>Región de Tojolabal</b>		
<b>Rotación de 30 años</b>		
Barbecho mejorado con árboles	250	116,8
Plantación	250	116,8
Cercas vivas	100	46,7
Taungya <sup>(1)</sup>	250	116,8
<b>Región de Tzeltal</b>		
<b>Rotación de 25 años</b>		
Cercas vivas	100	72,3
Café con árboles	180	130,2
Arboles sembrados en fila en campos de maíz	250	180,8
Barbecho mejorado con árboles	250	180,8

Nota: Tomado de De Hong, B.H.J., G. Montoya-Gómez, K. Nelson, L. Soto-Pinto, J. Taylor, and R. Tipper, (1995), "Community Forest Management and Carbon Sequestration: A Feasibility Study from Chiapas, Mexico", *Interciencia* 20(6).

(1) Sistema de siembra de maíz y árboles durante los primeros años, hasta que la sombra de los árboles imposibilita la producción de maíz.

La eficiencia económica de la plantación de árboles en comparación con la siembra de maíz es evaluada usando tres indicadores: el valor actualizado del flujo de ingresos y egresos del gobierno por hectárea, el beneficio económico de reemplazar la producción de maíz por árboles y

la relación beneficio-costo del gasto del gobierno. Se asume que el agricultor reemplaza la producción de maíz por árboles, para lo cual recibe una subvención del gobierno de 120 \$US/ha el primer año y 80 \$US/ha los años siguientes hasta que la cosecha forestal empieza en el año 30. Se analiza la posibilidad de que el gobierno reciba pagos externos por el almacenamiento de carbono con precios desde 0 a 10 \$US/TmC. Los precios por metro cúbico de madera y por tonelada de maíz utilizados en el análisis fueron de 60 y 120 \$US, respectivamente. También se asume que el gobierno cobra un impuesto del 15% por la venta de la madera. Los ingresos y costos fueron calculados bajo diferentes tasas de descuento.

Del análisis del valor actualizado del flujo de ingresos y egresos del gobierno, los autores concluyen que si el gobierno no lograra captar fondos por el servicio de almacenamiento de carbono, para tasas de descuento mayores al 3% dicho flujo sería negativo y estaría en el rango de 500 y 1000 \$US/ha. Si el gobierno logra vender el servicio a 10 \$US por tonelada de carbono, el flujo sería positivo usando tasas de descuento de hasta el 5%, y prácticamente insignificante bajo tasas mayores. Con respecto al beneficio económico de reemplazar la producción de maíz por árboles se concluye que es positivo aún sin recibir pagos por el servicio de almacenamiento de carbono, bajo tasas de descuento de hasta el 12%. Usando una tasa de descuento del 10% y un precio de 10 \$US/TmC secuestrada, la relación beneficio para el gasto del gobierno es igual a uno. Por lo tanto, relaciones beneficio costo mayores a uno son factibles a tasas de descuento por debajo del 10%.

El estudio es particular en cuanto involucra a la comunidad en el desarrollo del proyecto y la selección de alternativas agroforestales con potencial de almacenamiento de carbono. Los métodos usados para calcular el potencial de secuestro de carbono de los sistemas seleccionados y sus costos parecen ser adecuados a las condiciones del proyecto. Desafortunadamente el estudio sólo presenta los costos para una de los sistemas agroforestales y los análisis de eficiencia económica son sólo hechos desde la perspectiva del gobierno y no del productor.

Seroa da Motta, Ferraz y Young (2000, Pags. 20-23) analizaron seis tipos de proyectos forestales como posibles opciones dentro del MDL en Brasil. Estos incluyen tres tipos de plantaciones y tres opciones de manejo sostenible del bosque para producción de madera. Los tres tipos de plantaciones forestales analizadas fueron: plantaciones forestales para producción de pulpa, plantaciones para producción de carbono y plantaciones para producción de madera.

Los sistemas de manejo sostenible del bosque evaluados presentan diferentes opciones para la obtención de la tierra. El costo de la tierra es especialmente importante ya que para producir la misma cantidad de madera que se produce en una hectárea mediante la tala ilegal, se requieren un estimado de 30 has. de bosque bajo manejo sostenible.

La primera opción es la compra de la tierra a precio de mercado, el cual se estima en alrededor de 200 \$US/ha. La segunda opción es la adquisición de áreas privadas por parte del gobierno y la posterior concesión de estas áreas para manejo forestal. Esta opción disminuye el costo de la tierra a 69 \$US/ha ya que el gobierno solamente paga por el valor de la tierra declarado para la cancelación de impuestos<sup>1</sup>. La tercera opción propone integrar el sistema de concesiones con un programa más amplio de conservación. Un fondo para la conservación de la naturaleza se dice puede ser creado si se incrementa el precio de concesión de la tierra. A 127,50 \$US/ha este fondo podría ayudar a conservar un 30% de la Amazonía Brasileña a un costo total de 7.650 millones de \$US.

Las capacidades promedio de almacenamiento de carbono, las tasas internas de retorno y los costos por TmC de los seis proyectos analizados son presentadas en el cuadro 3. Los tres tipos de plantaciones presentan tasas internas de retorno reales mayores al 10%, incluso si se considera el costo de la tierra. La opción de manejo forestal sostenible sin incluir el costo de la tierra presenta una TIR del 33%. Según los autores, esta tasa es mayor al 30% calculado para actividades de tala ilegal de los bosques. Al incluir el costo de la tierra la TIR de esta opción disminuye a un 0,5%. La TIR para el sistema de manejo forestal sostenible bajo concesión de tierras también resultó ser bastante bajo (1,3%). Sin embargo, la ventaja de esta opción se deriva de su tamaño. Si se llevara a cabo un plan nacional de concesiones, la producción total de madera de estos sistemas podría desplazar la madera producida de manera ilegal.

Con el sistema de manejo forestal que integra el sistema de concesiones y conservación, los autores estiman que hasta un 46% de la Amazonia podría ser conservada (16% es conservada en la actualidad a través de reservas indígenas). Un proyecto de esta naturaleza, sin embargo, requeriría de una mejora sustancial de los sistemas de monitoreo y vigilancia de los bosques, los cuales hasta ahora han resultado ineficientes en controlar la tala ilegal.

Los retornos financieros de las plantaciones permitirían proveer créditos de mitigación a un costo mucho más bajo que mediante los sistemas de manejo forestal. Finalmente, al evaluar el potencial total de almacenamiento de carbono de Brasil usando las opciones analizadas, se concluye que las plantaciones forestales tendrían el potencial de almacenar 11 millones de TmC, y las opciones de manejo sostenible de bosque 1.080 millones de TmC. En conjunto, estas opciones constituyen el 82% del potencial de almacenamiento de carbono en todos los sectores económicos de Brasil.

---

(1) Aunque esta forma de obtención de la tierra disminuye la inversión inicial para hacer más rentable el manejo forestal sostenible, en la práctica, serían los propietarios de la tierra quienes estarían "subsidiando" la actividad. El valor del "subsidio" sería igual al valor por hectárea que los propietarios perderían si les fuese expropiada la tierra.

**Cuadro 3**  
**OPCIONES FORESTALES PARA EL ALMACENAMIENTO DE**  
**CARBONO EN BRASIL**

	Plantaciones Forestales			Manejo Forestal Sostenible		
	Pulpa	Carbono	Madera	Privado	Concesiones	Concesiones + Conservación
Carbono capturado TmC/ha <sup>1</sup>	24	180	43	18	18	
TIR excluyendo costo de la tierra	14,6	13,3	17,6	33,3	-	
TIR incluyendo costo de la tierra	11,1	10,1	13,3	0,5	1,3	
Precios TmC \$US <sup>2</sup>	1,4	0,7	0	9,0	1,8	5,0

Notas: Tomado de Tomado de Seroa da Motta, R. and C.E.F. Young, (2000), "Brazil: CDM Opportunities and Benefits," en *Opportunities for Financing Sustainable Development Via the Clean Development Mechanism*, Eds. D. Austin and P. Faeth, World Resource Institute, Washington.

- (1) El carbono capturado por las plantaciones es la diferencia entre el carbono almacenado en la plantación y en la tierra degradada. El carbono almacenado en los sistemas bajo manejo forestal es la diferencia entre el carbono almacenado en bosques bajo manejo sostenible y bosques talados ilegalmente.
- (2) Estos valores son los precios requeridos para que la TIR sea igual al 12% incluido el costo de la tierra.

Dos aspectos merecen ser mencionados con relación a este estudio. El primero se relaciona con el riesgo y la rentabilidad de las plantaciones. Aunque inicialmente se menciona que uno de los factores que han limitado el crecimiento de este sector es la volatilidad de los precios de la madera, se concluye que tasas internas de rendimiento del 11 y 13 % son altamente rentables. A nuestro criterio, estas TIR no son suficientes para compensar el alto riesgo envuelto con la inversión. En todo caso, si estos niveles son considerados rentables, estaría por verse si recursos provenientes del MDL podrían usarse argumentando que el desarrollo de plantaciones ha sido limitado por la falta de acceso a crédito. El segundo aspecto es el efecto importante del costo de la tierra, por una parte, en la rentabilidad de las plantaciones y de los sistemas de manejo sostenible; y por otra, en los costos de captura o conservación de carbono. Países o regiones donde los costos de la tierra son más bajos podrían proveer créditos de mitigación a menores costos.

### *2.5 El impacto del uso de los bosques dentro del MDL para promover el desarrollo de la región*

El MDL tiene un doble objetivo: ayudar a mitigar las emisiones en los países del Anexo I, y promover el desarrollo de los países en vías de desarrollo. Sin embargo, los posibles efectos del MDL sobre el desarrollo han

sido poco estudiados. Indiscutiblemente, los pagos por servicios de mitigación tendrían un impacto económico positivo en la región, pero los efectos directos e indirectos de dicho impacto sobre el desarrollo pueden variar significativamente dependiendo del tipo de proyecto que se lleve a cabo.

Uno de los pocos trabajos en el que esta evaluación ha sido hecha de manera más sistemática es el estudio de Seroa da Motta, Ferraz y Young (2000, pp. 26-30). En este trabajo diferentes opciones de mitigación en los sectores forestal y energético de Brasil fueron evaluadas usando doce diferentes criterios cubriendo aspectos ambientales, de desarrollo económico y de igualdad. El análisis solamente provee indicadores cualitativos del efecto positivo, neutral o negativo del proyecto en cada uno de los criterios mencionados.

Las opciones forestales incluidas en este análisis son las mismas que se presentaron en el cuadro 3. Tanto en las opciones de manejo forestal sostenible como en las opciones energéticas, los efectos positivos serían mayores que los negativos. Las opciones energéticas sin embargo, presentan más criterios con efecto neutral. Las plantaciones muestran aproximadamente igual número de criterios con efecto negativo que con efecto positivo. En general, las opciones de manejo forestal sostenible tendrían un mayor efecto positivo que las plantaciones, e incluso se argumenta que estas últimas tendrían un efecto negativo para el ambiente (cuadro 4).

**Cuadro 4**  
**INDICADORES GENERALES DE LOS EFECTOS SECUNDARIOS**  
**DE LAS PLANTACIONES Y MANEJO FORESTAL SOSTENIBLE**  
**COMO OPCIONES DE ABATIMIENTO DE CARBONO EN BRASIL**

Proyecto	Impacto		
	Ambiental	Desarrollo	Social
Plantaciones	-	+	+
Manejo forestal sostenible	+ + +	+ +	+ +

Notas: Tomado de Seroa da Motta, R. and C.E.F. Young, (2000), "Brazil: CDM Opportunities and Benefits," en *Opportunities for Financing Sustainable Development Via the Clean Development Mechanism*, Eds. D. Austin and P. Faeth, World Resource Institute, Washington.

Impacto negativo    - bajo

Impacto positivo    + bajo    + + medio    + + + alto

En base a este análisis, los autores recomiendan considerar no solamente el valor económico directo de los proyectos que se podrían desarrollar dentro del MDL sino también su impacto en el desarrollo y el ambiente.

### 2.6 La experiencia de América Latina dentro de la fase de ARC

Como se mencionó anteriormente, América Latina ha sido pionera en el desarrollo de proyectos forestales dentro del período de prueba de ARC. De un total de 16 proyectos forestales que se realizan a nivel mun-

dial durante esta fase, 12 proyectos se llevan a cabo en 7 siete países Latinoamericanos (cuadro 5).

Dentro de la región, Costa Rica ha jugado un papel de liderazgo en esta área. En 1994, fue el primer país en desarrollo en establecer un acuerdo internacional para llevar a cabo un proyecto durante este período (CSDA, 2000, p. 19), y hasta la actualidad es posiblemente uno de los pocos que ha establecido mecanismos legales e institucionales para tomar ventaja de las oportunidades de venta de los servicios de almacenamiento de carbono. En 1996, Costa Rica estableció la Oficina Costarricense de Implementación Conjunta (OCIC) para promover y desarrollar estas actividades, y el mismo año emitió una nueva ley forestal que incorpora medidas de compensación por los servicios forestales de conservación y reforestación (Sancho y Pratt, 2000, p. 10).

Después de las experiencias con los proyectos desarrollados e implementados a nivel privado, la OCIC ha desarrollado dos grandes propuestas forestales de escala nacional: el Programa de Areas Protegidas (PAP) y el Programa de Reforestación Privada (PEF por sus siglas en inglés). El PAP tiene como objetivo la consolidación del sistema nacional de áreas protegidas, mientras que el objetivo del PEF es el establecimiento de un programa de incentivos para estimular la reforestación, manejo forestal y conservación de bosques privados (Sancho y Pratt, 2000, Pag. 11). Ambas propuestas buscan ser financiadas a través de la venta de Certificados Negociables de Mitigación (CTOs por sus siglas en inglés) a inversionistas buscando créditos por mitigación de emisiones de GEI. Desde un punto de vista socio-económico estas dos propuestas tienen la ventaja de reducir los costos de transacción comparadas con proyectos pequeños e incentivar la participación de propietarios de pequeñas áreas de tierra.

A nivel regional, los tipos de proyectos forestales que se desarrollan dentro del período de prueba de ARC son diversos, e incluyen una, varias o combinaciones de opciones de almacenamiento y captura de carbono. Un análisis más detallado de los informes de estos proyectos (UNFCCC, 2001, <http://www.unfccc.int/program/aij/aijproj.html>) muestra también que los métodos utilizados para el cálculo del potencial de almacenamiento de carbono y de los costos de implementación y desarrollo varían entre los proyectos.

Aunque en todos los casos los beneficios de almacenamiento de carbono de los proyectos son calculados en base a la diferencia entre un escenario de línea base y el escenario con el proyecto, ni la cantidades de carbono presentes en la línea base, ni las cantidades de carbono presentes en el escenario con el proyecto son calculadas con los mismos criterios. Por ejemplo, para el cálculo del carbono total almacenado en los bosques en algunos casos sólo se toma en cuenta el carbono almacenado en la biomasa de los árboles por encima del suelo (ej: proyecto Reforestación y Conservación Forestal en Costa Rica), mientras que en otros también se incluye el carbono almacenado en el suelo y en los desperdicios vegetales sobre la superficie (ej: ECOLAND en Costa Rica).

Otro de los aspectos en los que no hay un criterio definido es la consideración del efecto de la madera. En unos casos la tala de la madera se

considera como una emisión de carbono (ej: Proyecto Río Bravo en Belize), mientras que en otros se la considera como un sumidero (ej: Proyecto Noel Kempff Mercado en Bolivia). Diferencias significativas en las cantidades de carbono que se estiman se almacenarían por hectárea de bosque tropical nos llevan a pensar que estas diferencias en los cálculos tendrían un impacto grande en la valoración económica de los servicios que proveen los bosques como sumideros de carbono. Por ejemplo, los beneficios de almacenamiento de carbono en bosques primarios tropicales en Costa Rica son estimados en alrededor de 90 TmC/ha por Ramírez (2000, p. 130), en el Proyecto de Reforestación y Conservación Forestal en Costa Rica en 67 TmC/ha, en los proyectos ECOLAND en Costa Rica y Reserva Bilsa en Ecuador en alrededor de 160 TmC/ha, y en Bolivia en 214 TmC/ha.

Mención especial debe hacerse del método usado en el Proyecto de Silvicultura Comunitaria en México para la estimación de las cantidades de carbono almacenado por el proyecto. Los cálculos se hicieron usando el modelo de Cambio en el Uso de la Tierra y Secuestro de Carbono (LUCS por sus siglas en inglés) del Instituto de Recursos Mundiales. Este modelo se dice fue específicamente diseñado para modelar los flujos de carbono en áreas de baja productividad, agricultura de subsistencia y uso de leña para energía. Las principales categorías de variables incluidas en el modelo son: usos de la tierra y biomasa presente; crecimiento poblacional, requerimientos de áreas agrícolas y leña; y, uso y manejo de los bosques<sup>2</sup>.

Los procedimientos utilizados para el cálculo de los costos de almacenamiento de carbono también difieren entre proyectos. No todos los proyectos incluyen, por ejemplo, el costo de la tierra o los costos de oportunidad del proyecto. En algunos de los proyectos que incluyen plantaciones no se consideran los ingresos por la venta de la madera. Así mismo, en la mayoría de los casos no se usan tasas de descuento para calcular costos e ingresos actualizados.

El cuadro 5 presenta los valores estimados del costo promedio por el almacenamiento de una TmC adicional durante el período que dura el proyecto. En los casos en que el proyecto sólo incluye conservación (ej: ECOLAND, Reserva Bilsa) este valor es también el costo de mantener almacenada una TmC durante ese período. El costo más bajo es de 0,63 \$US/TmC que corresponde al Proyecto Climático Noel Kempff Mercado en Bolivia, mientras que el costo más alto es de 231,25 \$US/TmC en el proyecto de Reforestación Comercial en Panamá.

En todos los informes, mucha menos atención se ha dado a los análisis de otros beneficios ambientales, e impactos sociales y económicos derivados de los proyectos, especialmente en comparación al nivel de detalle con el que se respaldan y elaboran los cálculos de los beneficios de carbono.

---

(2) Una explicación más amplia sobre el modelo y su aplicación a la evaluación de 4 proyectos forestales en América Latina puede encontrarse en: Faeth, P., C. Cort and R. Livernash (1994), *Evaluating the Carbon Sequestration Benefits of Forestry Projects in Developing Countries*, World Resources Institute, Washington.

### 3. SUMARIO Y CONCLUSIONES

El cambio climático es una grave amenaza para América Latina, pero también es una oportunidad para avanzar el desarrollo económico de la región. Es una grave amenaza por el efecto negativo que éste tendría sobre sus actividades productivas, mientras que las oportunidades se derivan principalmente del MDL considerado en el Protocolo de Kioto. Por sus claras ventajas competitivas en relación a otras regiones del planeta, el papel del sector forestal en la implementación de este mecanismo es especialmente importante para la región. Sin embargo, la inclusión de las diferentes opciones forestales para mitigar el cambio climático en el MDL es aún incierta y continúa siendo debatida.

La literatura relacionada con los aspectos económicos del uso de los bosques para mitigar el cambio climático en la región es limitada. Este estudio intenta recopilar las contribuciones más importantes sobre el tema. En su mayoría estos trabajos se refieren a proyectos específicos de una zona o región dentro de un país. Menos atención se ha dado a realizar análisis económicos con una perspectiva nacional. Además, no todas las zonas ecológicas ni países han sido estudiados.

Desde la perspectiva del Protocolo de Kioto, un proyecto forestal sería financiado con recursos provenientes del MDL si el proyecto resulta en un efecto directo neto positivo de almacenamiento de carbono en relación a una línea base, si es verdaderamente adicional, si los efectos indirectos no son mayores o iguales a los directos, y si el proyecto no es reversible.

En general, todos los estudios recopilados en este artículo han desarrollado o adaptado métodos apropiados para el cálculo de los efectos directos de almacenamiento o captura de carbono y del valor económico de los bosques, pero difieren en la consideración de la línea base o escenario de referencia y algunos no lo identificaron con claridad. Menos atención se ha dado a otros aspectos como adicionalidad, efectos indirectos y reversibilidad.

La adicionalidad comercial de los proyectos se relaciona con su rentabilidad. Un proyecto no es adicional si fuera factible sin financiamiento proveniente de los mecanismos del Protocolo. En todos los casos analizados, el valor o costo de oportunidad de la tierra es crítico en determinar si las inversiones forestales son rentables. Estos costos varían entre países, e incluso dentro de un mismo país. Las legislaciones sobre el uso de tierras forestales pueden afectar estos valores.

Todas las inversiones en proyectos forestales involucran altos costos iniciales a cambio de posibles ingresos 20-40 años después. Estos altos costos iniciales se relacionan con el establecimiento en el caso de plantaciones, no cosecha-tradicional en el caso de bosques primarios, y pérdidas de ingresos alternativos en el caso de regeneración de bosques secundarios. Así mismo, estas inversiones involucran riesgos significativos de mercado y tenencia de la tierra. Los riesgos de mercado están asociados con los problemas de comercialización y la volatilidad de los precios de la madera, mientras que los riesgos de tenencia de la tierra se relacionan con la legislación existente y la situación socio-política del país (Ramírez, 1998,

p. 55). Por lo tanto, para que un proyecto forestal pueda considerarse rentable en América Latina deberían requerirse TIR reales de al menos 25%.

Tanto los mecanismos legales como los institucionales relacionados con el uso de los bosques en los países latinoamericanos deberían, primero, ser estudiados desde la perspectiva de las oportunidades que ofrecería el Protocolo de Kioto, y luego, modificados con el propósito de tomar ventaja de estas oportunidades para la venta de los servicios de almacenamiento de carbono.

El establecimiento de plantaciones forestales es una de las opciones para la captura de carbono. La producción de madera en plantaciones en la mayoría de los casos parece no ser rentable por sí misma, y más aún cuando se consideran los altos riesgos y el largo plazo involucrados en la inversión. Además, en los casos donde esta actividad parecería ser rentable ha sido limitada por la falta de crédito. La disponibilidad de fondos provenientes del MDL facilitaría el uso de esta alternativa para capturar carbono a costos más bajos que con las otras opciones.

En algunos casos, por los bajos o nulos costos de establecimiento, los bosques secundarios pueden competir como una opción para secuestrar carbono frente a las plantaciones. Estudios comparativos entre estas dos opciones son necesarios en el futuro.

El manejo forestal sostenible de bosques primarios para producción de madera parece no ser rentable, a menos que se compense económicamente a los propietarios por el servicio de almacenamiento de carbono. Un aspecto crítico en esta opción son los efectos indirectos. Proyectos de esta naturaleza tienen que asegurar que la restricción de la tala del bosque en una área no incrementa o causa la tala indiscriminada en otra área.

Sistemas agroforestales sociales también podrían usarse para el secuestro o almacenamiento de carbono. Se concluye que la participación comunitaria es necesaria en el diseño e implementación de estos proyectos. Debido a la estructura de tenencia de la tierra en América Latina, éstos podrían (más que las otras opciones) contribuir a una reducción de la pobreza rural. Otros sistemas agroforestales, como por ejemplo aquellos que incluyen café como cultivo, deberían también ser evaluados.

Aunque el MDL tiene el doble propósito de ayudar a mitigar las emisiones de GEI en los países en el Anexo I y promover el desarrollo en los países en vías de desarrollo, poca atención se ha dado al análisis del impacto que los proyectos bajo este mecanismo tendrían para el desarrollo de la región. Se recomienda que futuros estudios también evalúen el aporte de estos proyectos al desarrollo de los países.

La región ha sido pionera en el desarrollo de proyectos forestales durante el período de prueba de las ARC. Doce de los dieciséis proyectos forestales que se llevan a cabo a nivel mundial a través de este mecanismo tienen lugar en países Latinoamericanos. Sin embargo, los métodos y procedimientos que se han utilizado para calcular los beneficios de almacenamiento de carbono de los proyectos y sus costos varían entre proyectos. En el futuro, si el MDL incluye como opciones los proyectos forestales, estos métodos y procedimientos necesitan ser homogenizados para permitir comparaciones.

**Cuadro 5**  
**PROYECTOS FORESTALES DESARROLLADOS EN LATINOAMERICA DENTRO DEL PERÍODO DE PRUEBA DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS CONJUNTAMENTE**

País	Nombre del Proyecto	Descripción del proyecto	Duración proyecto años	Total C almacenado Tm	Costo US\$/TmC
Belize	Proyecto Piloto de Secuestro de Carbono Río Bravo	Conservación de bosques, plantaciones, manejo forestal	42	2.079.500	4,60
Bolivia	Proyecto de Acción Climática Noel Kempff Mercado	Conservación de bosques	30	15.094.169	0,63
Chile	Proyecto de Secuestro de Carbono Río Condor	Conservación de bosques, manejo forestal	60	4.218.894	N.D.
Costa Rica	ECOLAND: Parque Nacional Piedras Blancas	Conservación de 2500 has. de bosques tropicales	16	366.200	2,59
	Proyecto Forestal Klinki	Reforestación	46	1.968.000	5,42
	Consolidación Financiera y Territorial de los Parques Nacionales y Reservas Biológicas de Costa Rica	Conservación de bosques primarios, regeneración natural	25	15.672.892	10,02
Ecuador	Reforestación y conservación forestal Reserva Biológica Bilsa	Reforestación (1000 has), conservación forestal (2000 has)	25	62.960	53,93
	Profafor	Conservación de 2,000 has. de bosque tropical primario	30	319.120	1,19
México	Silvicultura Comunitaria en la Sierra Norte de Oaxaca	Forestación	N.D.	N.D.	N.D.
	Scolel Te: Secuestro de Carbono Y Manejo Forestal Sostenible en Chiapas	Conservación de bosques, agroforestería, plantaciones	30	836.000	N.D.
Panamá	Reforestación comercial en la Provincia de Chiriquí	Agroforestería y plantaciones	30	1.210.000	1,84-11,15
		Reforestación de 500 has. con Teca	25	16.000	231,25

Tomado de: SRC International Pty Ltd. (1999), *Benefits and Costs of Joint Implementation and the Clean Development Mechanism for Australian Industry*. Prepared for International Greenhouse Partnerships Office, Melbourne. ([http://www.isr.gov.au/resources/energy\\_greenhouse/igp/srccfinal.pdf](http://www.isr.gov.au/resources/energy_greenhouse/igp/srccfinal.pdf), 3 de febrero de 2001). UNFCCC, (2001), "Activities Implemented Jointly Programs: List of Projects", (disponible en la página de internet <http://www.unfccc.int/program/ajl/index.html>, 25 de abril de 2001).

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acquatella, J. (2000): "Racionalidad Económica de los Mecanismos de Flexibilidad en el Marco del Protocolo de Kioto", División de Medio Ambiente y Asentamientos Humanos, CEPAL, Santiago de Chile.
- Center for Sustainable Development in the Americas (CSDA) (2000): "Latin American Perspectives on Climate Change: A Briefing Book prepared for the Pew Center on Global Climate Change", Washington.
- De Hong, B. H. J.; Montoya-Gómez, G.; Nelson, K.; Soto-Pinto, L.; Taylor J. y Tipper, R. (1995): "Community Forest Management and Carbon Sequestration: A Feasibility Study from Chiapas, México," *Interciencia*, vol. 20, n° 6, pp. 409-416.
- IPCC (2000): "América Latina", en Watson, R. M.; Zinyowera, M. C.; Moss, R. H. y Dokken, D. J. (Eds.), *IPCC Special Report on The Regional Impacts of Climate Change: An Assessment of Vulnerability*. (disponible en la página de internet <http://www.grida.no/climate/ipcc/regional/index.htm>, 10 de mayo de 2001).
- Kägi, W. (2000): *Economics of Climate Change: The Contribution of Forestry Projects*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Ramírez, O. A. (1998): "Factibilidad económica del uso de la tierra en plantaciones forestales, manejo de bosques naturales y café orgánico-ecológico en América Central", Proyecto PROARCA/CAPAS/USAID, Ciudad de Guatemala.
- Ramírez, O. A. (2000): "The Carbon Cycle and the Value of Forests as a Carbon Sink: A Tropical Case Study," en Dore, M.H.I. y R. Guevara (Eds.), *Sustainable Forest Management and Global Climate Change*, Edward Elgar Publishing Limited, Cheltenham.
- Ramírez, O. A.; Carpio, C. E.; Ortiz, R. y Finnegan, B. (2001): "Economic Value of the Carbon Sink Services from Costa Rican Humid Secondary Forests", *Environmental and Resource Economics* (próximo número).
- Rodríguez, J. y Pratt, L. (1998): "Potencial de Carbono y fijación de dióxido de Carbono de la Biomasa en pie por encima del suelo en los bosques de Centroamérica", Centro Latinoamericano para la Competitividad y el Desarrollo Sostenible del INCAE (disponible en la página de internet <http://www.incae.ac.cr/ES/clacds/investigación>, 15 de mayo de 2001).
- Sedjo, R. A. (1999): "Potential for Carbon Forest Plantations in Marginal Timber Forests: The Case of Patagonia", Argentina, Discussion Paper 99-27, Resources for the Future (disponible en la página de internet en <http://www.rff.org>, 30 de abril de 2001).
- Seroa da Motta, R. y Young, C. E. F. (2000): "Brazil: CDM Opportunities and Benefits", en *Opportunities for Financing Sustainable Development Via the Clean Development Mechanism*, Eds. D. Austin y P. Faeth, World Resource Institute, Washington.

Sancho-Villalobos, F. y Pratt, L. (1999): "Estimación del costo marginal de los servicios de fijación de carbono en Costa Rica," Centro Latinoamericano para la Competitividad y el Desarrollo Sostenible del INCAE (disponible en la página de internet <http://www.incae.ac.cr/ES/clacds/investigación>, 15 de mayo de 2001).

UNFCCC (2001): "Activities Implemented Jointly Programs: List of Projects", (disponible en la página de internet <http://www.unfccc.int/program/aij/index.html>, 25 de abril de 2001).

#### ABSTRACT

Climatic change is a serious threat to Latin America, but it is also an opportunity to make progress in the region's economic development. This essay questions a number of select works on the economic aspects of the use of Latin American woods to mitigate climatic change. We specifically analyze the contributions of economic studies to the carbon storage service in forest plantations, secondary woods, primary woods, agroforest systems and forest projects developed in the pilot phase of Activities Done Together (ADT), from the perspective of the Clean Development Mechanism (CDM) included in the Kyoto Protocol. Since this region has been a pioneer in ADT, the results obtained from these works significantly contribute to the world debate on the use of woods as a CDM component.

*Key words:* Latin America, woods, Kyoto Protocol, climatic change.