AgEcon SEARCH
RESEARCH IN AGRICULTURAL & APPLIED ECONOMICS

The World's Largest Open Access Agricultural & Applied Economics Digital Library

This document is discoverable and free to researchers across the globe due to the work of AgEcon Search.

Help ensure our sustainability.

Give to AgEcon Search

AgEcon Search
http://ageconsearch.umn.edu
aesearch@umn.edu

*Papers downloaded from **AgEcon Search** may be used for non-commercial purposes and personal study only. No other use, including posting to another Internet site, is permitted without permission from the copyright owner (not AgEcon Search), or as allowed under the provisions of Fair Use, U.S. Copyright Act, Title 17 U.S.C.*

Documentos CEDE

ISSN 1657-7191 Edición electrónica.

El valor económico del Blue Carbon en Colombia: Beneficios de la captura y almacenamiento de carbono provistos por las Áreas Marinas Protegidas

Tatiana G. Zárate Barrera
Jorge Higinio Maldonado

06

FEBRERO DE 2014

Universidad de los Andes
Facultad de Economía

CEDE
Centro de Estudios sobre Desarrollo Económico

Serie Documentos Cede, 2014-06
ISSN 1657-7191 Edición electrónica.

Febrero de 2014

© 2012, Universidad de los Andes–Facultad de Economía–CEDE
Calle 19A No. 1 – 37 Este, Bloque W.
Bogotá, D. C., Colombia
Teléfonos: 3394949- 3394999, extensiones 2400, 2049, 3233
infocede@uniandes.edu.co
http://economia.uniandes.edu.co

Ediciones Uniandes
Carrera 1ª Este No. 19 – 27, edificio Aulas 6, A. A. 4976
Bogotá, D. C., Colombia
Teléfonos: 3394949- 3394999, extensión 2133, Fax: extensión 2158
infeduni@uniandes.edu.co

Edición y prensa digital:
Cadena S.A. • Bogotá
Calle 17 A Nº 68 - 92
Tel: 57(4) 405 02 00 Ext. 307
Bogotá, D. C., Colombia
www.cadena.com.co

Impreso en Colombia – *Printed in Colombia*

El contenido de la presente publicación se encuentra protegido por las normas internacionales y nacionales vigentes sobre propiedad intelectual, por tanto su utilización, reproducción, comunicación pública, transformación, distribución, alquiler, préstamo público e importación, total o parcial, en todo o en parte, en formato impreso, digital o en cualquier formato conocido o por conocer, se encuentran prohibidos, y sólo serán lícitos en la medida en que se cuente con la autorización previa y expresa por escrito del autor o titular. Las limitaciones y excepciones al Derecho de Autor, sólo serán aplicables en la medida en que se den dentro de los denominados Usos Honrados (Fair use), estén previa y expresamente establecidas, no causen un grave e injustificado perjuicio a los intereses legítimos del autor o titular, y no atenten contra la normal explotación de la obra.

Universidad de los Andes
Facultad de Economía

CEDE
Centro de Estudios sobre Desarrollo Económico

El valor económico del *Blue Carbon* en Colombia: Beneficios de la captura y almacenamiento de carbono provistos por las Áreas Marinas Protegidas

Tatiana G. Zárate Barrera[1]

Jorge Higinio Maldonado[2]

RESUMEN

El Subsistema de Áreas Marinas Protegidas que se está implementando en Colombia apunta a la conservación de ecosistemas marinos y costeros claves para la provisión de diversos servicios ambientales, que son la base del desarrollo de distintas actividades económicas en el país. El objetivo de este documento es valorar los servicios asociados a captura y almacenamiento de carbono oceánico –*Blue Carbon*- provistos por el Subsistema. A través de la construcción de una función de beneficios y la estimación de posibles escenarios futuros del precio del carbono se busca aproximar el valor monetario asociado a este servicio. Los resultados indican que el valor anual de los beneficios esperados asociados a la captura y almacenamiento de carbono, provistos por ecosistemas como manglares y pastos marinos, son significativos aunque altamente dependientes de las expectativas frente a las negociaciones sobre la extensión del Protocolo de Kyoto y las dinámicas entre oferta y demanda de los permisos de emisión; además, se encuentra que la tasa natural de pérdida de carbono de estos ecosistemas no parece tener mayor efecto sobre el valor anual de los beneficios.

JEL: (Q54, Q56)

Palabras Clave: Valoración económica, servicios ecosistémicos, Mercados de emisiones, Captura y almacenamiento de carbono, secuestro de carbono, carbono azul, carbono oceánico, Cambio Climático.

[1] Asistente de Investigación. Facultad de Economía. Universidad de los Andes. tg.zarate127@uniandes.edu.co
[2] Profesor Asociado, Facultad de Economía, Universidad de los Andes. Director Programa Latinoamericano y del Caribe de Economía Ambiental, LACEEP. jmaldona@uniandes.edu.co

The economic value of Colombian Blue Carbon: Benefits from Carbon Sequestration Provided by the Marine Protected Areas

Tatiana G. Zárate Barrera[3]

Jorge Higinio Maldonado[4]

ABSTRACT

The purpose of the Subsystem of Marine Protected Areas that is being implemented in Colombia is the conservation of key marine and coastal ecosystems for the provision of a number of environmental services that are the basis for several of the country's economic activities. The objective of this study is to value the services associated to the capture and storage of oceanic carbon –Blue Carbon- provided by the Subsystem of Marine Areas for Colombia. Through the construction of a benefits function, we aim to obtain the monetary value associated to the service of blue carbon sequestration. The results indicate that the expected benefits associated to carbon capture and storage, provided by ecosystems such as mangroves and seagrasses, are significant but highly dependent on the expectations about the negotiations related with the Kyoto Protocol and the dynamics of carbon credit's demand and supply. We also find that the annual natural loss of carbon of these ecosystems does not seem to have greater effect on the annual value of the benefits.

JEL: (Q54, Q56)

Key Words: Economic valuation, Ecosystem services, Emissions markets, Carbon capture and storage, Oceanic Carbon, Climate Change.

[3] Research Assistant. Department of Economics. Universidad de los Andes. tg.zarate127@uniandes.edu.co

[4] Associate Professor, Department of Economics, Universidad de los Andes. Director Latin American and Caribbean Environmental Economics Program, LACEEP. jmaldona@uniandes.edu.co

1. Introducción

Las sociedades humanas dependen de los océanos, costas y mares para el aprovisionamiento de alimentos, energía, regulación climática, transporte e incluso recreación (UNEP, 2011). Se estima que más de 2,000 millones de personas en los países tropicales dependen de los bienes y servicios que los océanos proveen a través de sus ecosistemas (CI, GCRMN, & NOAA, 2008). Colombia, con su posición geográfica estratégica, se beneficia ampliamente de ecosistemas marinos y costeros, como manglares, pastos marinos, arrecifes de coral, entre otros.

A pesar de la variedad de bienes y servicios ofrecidos por ecosistemas de tipo marino y costero, la alta fragilidad de las dinámicas que se establecen entre ellos y la combinación de procesos naturales y humanos (intencionales y no intencionales) han conducido a un deterioro en los ecosistemas en las últimas décadas, arriesgando el aprovisionamiento efectivo y sostenible de los servicios ambientales que proveen. Al respecto, la figura de protección de áreas marinas y el papel que desempeña en la promoción y protección de los ecosistemas que posee se convierte en un mecanismo que permite apoyar la conservación la riqueza de los bienes y servicios que prestan a la sociedad, al igual que la biodiversidad que poseen sus ecosistemas (Roberts et al., 2002).

Considerando lo anterior, la mayoría de países del mundo, incluyendo Colombia, han recurrido al establecimiento de Áreas Marinas Protegidas (AMPs) como estrategia para la protección de la biodiversidad marina contra las presiones que en las últimas décadas han afectado la salud de ecosistemas marinos y costeros. Sin embargo, a pesar de los diversos esfuerzos y llamados realizados por gobiernos y organizaciones, evidenciados en acuerdos mundiales como el Convenio Sobre Diversidad Biológica (CDB) (CDB & UNEP, 2004), la mayoría de las AMPs alrededor del mundo han sido establecidas respondiendo a coyunturas políticas y a través de procesos de planeación sistemáticos que no necesariamente consideran elementos biológicos claves como representatividad, conectividad, resiliencia e idoneidad de los ecosistemas marinos que se desean proteger (UNEP-WCMC, 2008). Asimismo, elementos asociados a las condiciones socioeconómicas de las poblaciones locales pocas veces han sido reconocidos dentro de la implementación de AMPs (Camargo et al., 2009).

Colombia no ha sido la excepción a dicha problemática y la falta de articulación entre las acciones emprendidas para la selección y declaración de áreas protegidas a nivel nacional, regional y local ha sido frecuente. El Parque Nacional Natural Corales del Rosario y San Bernardo (PNN CRSB) establecido en 1977 es un ejemplo de ello, ya que inicialmente dentro de él se instauraron políticas que fomentaban la prohibición de la extracción de cualquier tipo de recurso marino, ignorando que desde mucho antes de su implementación, el área se encontraba habitada por comunidades de pescadores tradicionales (Durán, 2009). Asimismo, se ignoraron elementos como la representatividad y conectividad de los ecosistemas presentes en dicha área al momento de implementarla.

De acuerdo con lo anterior, y gracias al compromiso adquirido con la firma del CDB, el país llevó a cabo un análisis de vacíos de representatividad de la biodiversidad marina y costera de las actuales AMPs (INVEMAR, UAESPNN, & TNC, 2008b). Dicho análisis, buscando alcanzar la meta pactada para 2012 en el CDB, permitió la elaboración del proyecto denominado Subsistema de Áreas Marinas Protegidas. Este proyecto propone la implementación de una red de áreas marinas que complementen el actual sistema de protección y que garantice que en el diseño y planificación de las mismas se consideren elementos biológicos y ecológicos para la conservación de ecosistemas marinos y costeros claves, lo que en últimas significa un gran avance en materia de eficiencia de la conservación en Colombia.

La valoración económica de los servicios y usos que proveen los ecosistemas se ha convertido en un tópico preferido para analizar la importancia de ecosistemas claves para la conservación. La Unión Internacional para la Conservación, *The Nature Conservancy* y el Banco Mundial (2004) reconocen la relevancia de asignar valores monetarios a los servicios de los ecosistemas para contribuir a enfatizar la importancia que ofrecen a la humanidad. Es así, como el uso de herramientas de valoración ambiental ha permitido cuantificar el valor monetario de los diferentes servicios que proveen los ecosistemas cómo pesca, turismo, disfrute paisajístico, entre otros.

A pesar de lo anterior, han sido escasos los estudios que tratan acerca de valores de uso indirecto, cómo lo son aquellos relacionados con el servicio de captura y almacenamiento de carbono provisto a través de ecosistemas marinos y costeros, conocido en la literatura más reciente como *Blue Carbon*. Dicha literatura aún es incipiente y la mayoría de estudios se han

concentrado en descripciones detalladas acerca de sus ventajas sobre el carbono forestal y sobre la importancia de su inclusión en acuerdos como el Protocolo de Kyoto. Son pocos estudios, hasta donde tenemos conocimiento, los que se han concentrado en ofrecer aproximaciones económicas. Uno de ellos, denominado *Green Payments for Blue Carbon: Economic Incentives for Protecting Threatened Coastal Habitats*, hace una aproximación interesante a la valoración económica y al establecimiento de valores monetarios para este servicio, enfocándose en los mercados de emisiones, también conocidos como mercados de carbono (Murray, Pendleton, Jenkins, & Sifleet, 2011). Estos mercados de emisiones, junto con los Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL) y de Implementación Conjunta (IC), hacen parte de las estrategias creadas a partir del Protocolo de Kyoto y coordinadas por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC por sus siglas en inglés), para reducir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y promover iniciativas que favorezcan la adaptación a los efectos del Cambio Climático.

En la actualidad se encuentran en negociación otras estrategias que reconocen, al igual que el MDL, el papel que juegan los ecosistemas forestales en la reducción de las emisiones de GEI: REDD+ (reducción de emisiones por deforestación y degradación forestal más el manejo sostenible de los bosques y la mejora de los sumideros de carbono). Estas estrategias no sólo se conciben como mecanismos de mitigación, sino que consideran elementos adicionales como la contribución a la disminución de la pobreza rural, a la conservación de la biodiversidad y a la promoción de servicios ecosistémicos (Parker, Mitchell, Trivedi, & Mardas, 2009).

Colombia, al ser un país altamente vulnerable a los efectos del Cambio Climático no ha sido ajena a las discusiones relacionadas con el tema y a través del CONPES 3700[5] ha resaltado la necesidad de comprender y actuar ante el fenómeno del cambio climático como una problemática de desarrollo económico y social. Lo anterior se encuentra consignado en diferentes estrategias, entre las que se destaca la Estrategia Colombiana de Desarrollo Baja en Carbono (ECDBC) que busca entre otras cosas, desligar el crecimiento económico de las emisiones de GEI, identificando el potencial de mitigación de emisiones del país y aprovechando oportunidades derivadas de la voluntad internacional para destinar recursos que financien proyectos de adaptación y mitigación (CONPES-3700, 2011).

[5] Estrategia Institucional para la Articulación de Políticas y Acciones en Materia de Cambio Climático del Consejo Nacional del Política Económica y Social, CONPES.

En este contexto, el presente documento busca determinar el valor asociado al servicio de captura y almacenamiento de carbono oceánico, suponiendo la implementación del Subsistema de AMPs en el país. Por lo tanto, si dicho valor llegara a ser positivo podría modificar o por lo menos cuestionar los incentivos económicos para la conservación de estos ecosistemas por parte de los tomadores de decisiones. Para lograr este objetivo se propone analizar el valor monetario asociado al servicio ecosistémico descrito, mediante la construcción de una metodología de valoración enfocada en un análisis de los beneficios para el caso del *Blue Carbon*, en el contexto de la creación y consolidación del Subsistema de Áreas Marinas Protegidas propuesto para Colombia.

En este documento se presenta un modelo económico que permite cuantificar los beneficios asociados a la captura y almacenamiento de carbono oceánico provistos por el Subsistema de Áreas Marinas Protegidas, incluyendo elementos como las tasas de captura, almacenamiento en el suelo y en la biomasa, y tasas de pérdida anuales de los ecosistemas, así como la estimación del precio futuro en los mercados internacionales de carbono considerando las negociaciones del Protocolo de Kyoto.

Los resultados indican que el valor anual de los beneficios esperados asociados a la captura y almacenamiento de carbono, provistos por ecosistemas como manglares y pastos marinos, es importante y altamente dependiente de parámetros que recogen las expectativas frente a las negociaciones sobre la extensión del Protocolo de Kyoto y las dinámicas entre oferta y demanda de los permisos de emisión; además se encuentra que la tasa anual de pérdida de carbono de estos ecosistemas no parece tener mayor efecto sobre los beneficios.

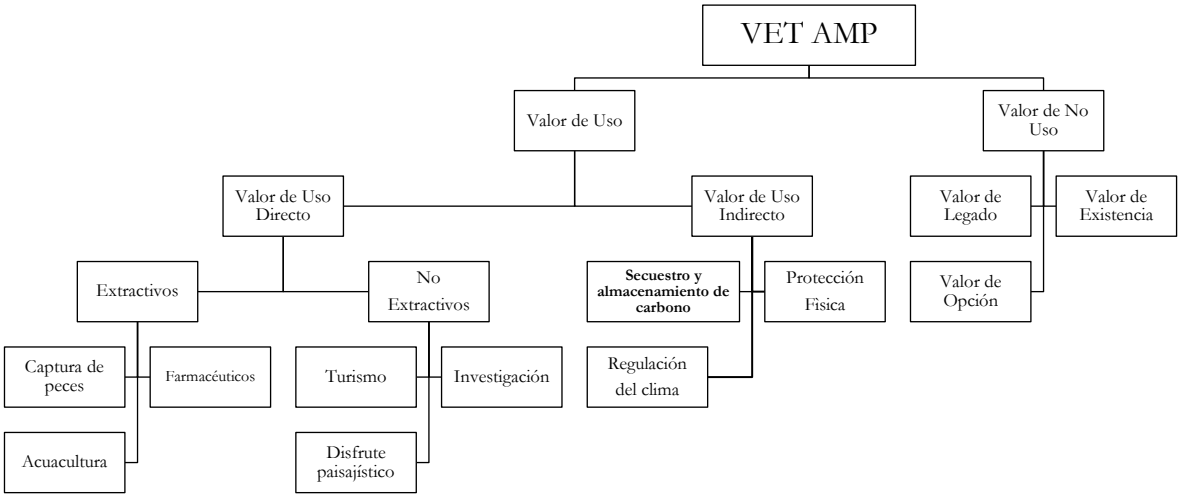
El documento se estructura de la siguiente forma: después de esta introducción se presenta la revisión de literatura de los temas pertinentes para la investigación; así mismo se exponen las metodologías propuestas para la valoración del servicio ambiental objeto de este estudio; posteriormente se describen los resultados obtenidos; y finamente, en la última sección se presentan las conclusiones de la investigación.

2. Antecedentes

En 2005 la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio definió los servicios ecosistémicos como los beneficios que los seres humanos obtienen de los ecosistemas (MEA, 2005). Estos

servicios incluyen servicios de aprovisionamiento como alimento, agua, productos maderables y fibras; servicios de regulación como protección de las costas, mantenimiento de la calidad del aire y captura y almacenamiento de carbono; servicios culturales, que comprenden beneficios no materiales como recreación y disfrute paisajístico; y servicios de soporte a la vida como ciclos de nutrientes y formación del suelo. Por su parte, la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN), *The Nature Conservancy* (TNC) y el Banco Mundial (WB) (2004) aseguran que otorgarle valores monetarios o económicos a un ecosistema puede ayudar a demostrar cuál es la importancia de su supervivencia. Al respecto, Boyle y Bishop (1985) afirman que el valor económico de un recurso natural se puede obtener a través de su Valor Económico Total (VET), pues éste comprende los Valores de Uso y los Valores de No Uso (Ver Figura 1); los primeros compuestos por los valores de uso directo e indirecto, y los segundos asociados a los valores de existencia y de opción.

Figura 1. Composición del Valor Económico Total VET de un área marina protegida AMP



Fuente: Adaptado de Emerton (1999) y Barton (1994).

Frecuentemente, los costos sociales y económicos derivados de ecosistemas que no pueden proveer satisfactoriamente sus servicios conducen a la reducción del bienestar de la sociedad. De esta forma, la estimación de los valores de uso indirecto asociados a algunos servicios que no son directamente observables, como la captura y almacenamiento de carbono, puede evitar

o por lo menos reducir dichos costos, incentivando y justificando políticas a favor de la protección de áreas marinas a nivel global (UNEP-WCMC, 2006).

Uno de los servicios indirectos de regulación más relevantes provistos por los ecosistemas marinos y costeros es el servicio asociado a secuestro y almacenamiento de carbono. Según Nellemann et al. (2009) de todo el carbono capturado en el mundo más de la mitad (55%) es capturado por organismos marinos (*Blue Carbon*), lo que señala la importancia del papel que juegan los océanos en el ciclo mundial del carbono, no sólo porque representan la más grande reserva, sino porque también pueden redistribuir y almacenar este elemento a través de su ciclo. Adicional a ello, aproximadamente el 93% del carbono de la tierra se encuentra almacenado y realiza su ciclo a través de los océanos y los ecosistemas vegetales marinos y costeros, en particular los manglares y los pastos marinos. A pesar de cubrir solo una mínima parte del suelo, son reserva de más del 50% del carbono almacenado en los sedimentos del océano, configurándose así como las reservas más intensas del planeta (Nellemann et al., 2009).

Alongi (2002) afirma que los manglares fijan y almacenan cantidades significativas de carbono y juegan un rol importante en el secuestro del mismo. Ong Jin (1993) respalda esta afirmación, argumentando que éstos ecosistemas absorben un estimado de 25.5 millones de toneladas de carbono en un año. Así mismo, Valiela, Bowen y York (2001) aseguran que los manglares juegan un rol importante en el ciclo mundial del carbono, pero la pérdida del 35% de los manglares del mundo en las dos décadas pasadas ha conducido a la emisión de grandes cantidades de carbono almacenado, lo que ha contribuido dramáticamente al calentamiento global.

Por su lado, Sifleet, Pendleton y Murray (2011) exponen resultados acerca de cifras relevantes en el contexto de la captura y almacenamiento de carbono marino o *Blue Carbon* de aquellos ecosistemas que contribuyen a proveer este servicio de regulación. En su informe, sintetizan los resultados de los principales censos biológicos que se asocian con la medición de características como almacenamiento y tasas de captura específicas para cada ecosistema, aportando de manera significativa a la comunidad científica con una compilación de datos estructurada y relevante.

Con respecto a los arrecifes de coral, Suzuki y Kawahata (2004) encuentran que éstos contribuyen entre 7 y 15 por ciento de la producción mundial de carbonato de calcio, favoreciendo el almacenamiento de carbono. Sin embargo, la química del sistema es tal que

aunque los océanos por sí mismos son sumideros de carbono (toman dióxido de carbono), los arrecifes son fuentes o productores netos de dióxido de carbono, aunque en una escala pequeña, a través del proceso de calcificación. De esta forma, sólo los manglares y pastos marinos contribuyen netamente en la captura y almacenamiento de carbono.

Por otro lado, Murray et al. (2011) afirman que así como el almacenamiento de carbono debe ser considerado en las decisiones de manejo de hábitats, también es necesario pagar a los dueños de la tierra y administradores de las costas para no transformar los ecosistemas y los servicios ambientales que proveen, en particular el de captura y almacenamiento de carbono. Lo anterior, debido a que los mercados no pueden capturar fácilmente los valores de estos servicios conduciendo a que se destruyan excesivamente los ecosistemas que los prestan, a pesar de las grandes cantidades de carbono que almacenan en su vegetación y suelos. Lo anterior es preocupante porque la transformación de ecosistemas costeros, en la actualidad, con tasas de pérdida entre 2 y 15 veces mayores que los bosques tropicales (Nellemann, et al., 2009), genera emisiones importantes de GEI.

Al respecto, los esfuerzos globales por reducir las emisiones de GEI han dado como resultado la creación del sistema de negociación de emisiones denominado el Mercado de Carbono, e iniciativas como REDD y REDD+ que buscan generar incentivos económicos para reducir las emisiones de GEI a través de la generación de energías limpias y de evitar la transformación de los ecosistemas forestales. Sin embargo, la inclusión de los ecosistemas marinos en este tipo de mercados e iniciativas aún se encuentra en negociación.

Murray et al. (2011) exponen un modelo económico que permitiría aproximarse a la valoración del *Blue Carbon* en un mercado hipotético de carbono en el que se incluyeran los ecosistemas marinos. A través de estudios de caso obtienen por ejemplo, que para los manglares en la parte tropical de Asia, el valor de mercado del carbono que no se libera a la atmosfera podría encontrarse entre $5,000 y $37,000 dólares por hectárea bajo escenarios en los cuales el precio del carbono se encuentre entre $5 y $30 dólares/$MgCO_2e$[6].

Considerando lo anterior, en la literatura más reciente han existido distintas aproximaciones respecto a la escogencia o determinación del precio del carbono. Según Bowen (2011) el precio del carbono debería reflejar el costo marginal de emitir una unidad adicional de

[6] Abreviación de Mega gramo de dióxido de carbono equivalente, que es la medida internacionalmente reconocida para medir emisiones de gases de efecto invernadero (Gohar & Shine, 2007). 1Mg es equivalente a 1 tonelada.

Gas de Efecto Invernadero, pues una entidad o país que quiera reducir emisiones sólo lo hará hasta el punto en que el costo marginal de reducir una unidad adicional empiece a ser mayor que el precio que debe pagar por seguirla emitiendo. Sin embargo, el problema alrededor de la determinación de este precio es ¿cómo hacerlo?, pues teóricamente debe ser equivalente al valor presente del daño económico generado por emitir una unidad adicional de GEI, intentando reflejar lo que la sociedad debe estar dispuesta a pagar hoy para evitar el daño futuro de las emisiones de GEI, lo que es conocido comúnmente como el Costo Social del Carbono (SCC por sus siglas en inglés) (Price, Simeon, & Stephen, 2007).

El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (2007) (IPCC por sus siglas en inglés) estudió los beneficios asociados a la mitigación de GEI y a través de un "modelo de evaluación integrada" con equilibrio general encontró que el costo social de las emisiones de carbono para 2008 se encontraba entre US$12/Mg$CO_2$e y US$17/MgCO_2e; sin embargo, al igual que la Agencia para la Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA por sus siglas en inglés), asegura que el concepto asociado al SCC subestima el daño ambiental causado por las emisiones de GEI.

Por la misma línea, Jenkins, Murray, Kramer y Faulkner (2010), intentando solucionar el problema de la determinación del precio, hicieron uso del SCC y del enfoque de mercado para aproximar el precio de mitigación de emisiones. De esta forma, para la estimación del Costo Social del Carbono utilizaron las estimaciones del IPCC (2007) para aproximar el precio sombra de 1 MgCo_2e mitigado en un proyecto de renovación de humedales en Estados Unidos; y para el precio de mercado del carbono definieron un límite inferior de $US4.2/Mg$CO_2$e y uno superior de $US30/Mg$CO_2$e, a través de los precios del ya clausurado *Chicago Climate Exchange* y de las estimaciones realizadas por la EPA para analizar la posible creación de un mercado de permisos de emisiones en Estados Unidos.

El servicio de captura y almacenamiento de carbono ha sido reconocido por su contribución a la mitigación del cambio climático. De esta forma, investigaciones acerca de las dinámicas biológicas del mismo y el desarrollo de mecanismos como los mercados de emisiones ha visibilizado dicha contribución y ha generado incentivos para la conservación de los ecosistemas que prestan este servicio. Sin embargo, el reconocimiento de ecosistemas de tipo marino dentro de las dinámicas del clima mundial aun es incipiente, por lo que la

cuantificación de sus beneficios se configura como una tarea necesaria para resaltar el valor asociado al servicio que prestan a la sociedad.

En este sentido, este documento contribuye con un enfoque para cuantificar la participación asociada a captura y almacenamiento de carbono oceánico provista por el Subsistema de Áreas Marinas Protegidas para Colombia, y a partir de ello diseñar un modelo económico que permita describir y valorar los beneficios que el país obtendría bajo un mercado hipotético de carbono siguiendo las ideas de Murray et al. (2011). En la siguiente sección se presenta la metodología propuesta para realizar la cuantificación de beneficios deseada.

3. Metodología

Los océanos juegan un papel primordial en el ciclo del carbono, ya que se les atribuye más de la mitad de la captura mundial y cerca del 93% del carbono realiza su ciclo y es almacenado a través ellos (Nellemann et al., 2009). Asimismo, los ecosistemas costeros son reconocidos como los más grandes sumideros de carbono pues en su vegetación y suelos almacenan cantidades importantes de este elemento (Sifleet, et al., 2011).

Considerando lo anterior, el almacenamiento y captura de carbono oceánico deberían ser reconocidos como temas críticos en la toma de decisiones de carácter medio ambiental, pues las consecuencias de su degradación pueden incrementar los efectos del cambio climático. Un camino posible para resaltar la importancia de los ecosistemas costeros y que sean reconocidos por los tomadores de decisiones sería conectar el papel que juegan en el ciclo del carbono y el clima mundial con algún tipo de mecanismo monetario (Murray et al., 2011).

Al respecto, los mercados de emisiones o también llamados mercados de carbono representan un incentivo potencial para convencer a los tomadores de decisiones y a usuarios de no transformar ecosistemas costeros y evitar que los sumideros de carbono se conviertan en fuentes de GEI al ser emitidos a la atmosfera. Sin embargo, aún no existe claridad respecto a si los pagos monetarios por el carbono capturado y almacenado por los ecosistemas marinos y costeros pueden alterar los incentivos económicos a través de la protección de los mismos (Murray et al., 2011).

La metodología que se expone a continuación, tiene como propósito encontrar el valor económico asociado al servicio de captura y almacenamiento de carbono provisto por los ecosistemas marinos y costeros que conforman el Subsistema de Áreas Marinas Protegidas de Colombia, buscando así determinar si los pagos generados a través de un mercado de emisiones hipotético, en el que Colombia consiguiera participar, podrían resaltar los incentivos económicos en torno a la protección de los ecosistemas dentro del Subsistema y otorgar herramientas para contribuir a la toma de decisiones informada de las autoridades ambientales.

De acuerdo a lo anterior, en las siguientes subsecciones se presenta en primer lugar un modelo que busca describir los beneficios asociados al servicio de captura y almacenamiento de carbono; en segundo lugar se listan las principales características de los ecosistemas que prestan dicho servicio; después, dado el carácter inter-temporal del análisis se discute acerca de las tasas de descuento elegidas y se da una breve descripción de los mercados de emisiones existentes; finalmente, se presenta la metodología utilizada para obtener la estimación del precio futuro en un mercado de emisiones específico.

3.1 Modelo de Beneficios asociados a la captura y almacenamiento de carbono oceánico

Según Murray et al. (2011) la captura y el almacenamiento de carbono involucran tres componentes. El primero de ellos se refiere a la tasa anual de captura de carbono por unidad de superficie de cada tipo de ecosistema, que se denominará S_i y se define como el flujo anual de material orgánico transferido a los suelos en una hectárea; el segundo componente hace referencia a la cantidad de carbono almacenada en forma de biomasa, que puede ser definida como un stock y se refiere al carbono almacenado en hojas y raíces resultado de una captura previa; y el tercer componente hace referencia al stock de carbono almacenado en el suelo orgánico que yace bajo los ecosistemas costeros (Sifleet et al., 2011). Éstos dos últimos componentes serán definidos como EE_i, haciendo referencia a las emisiones evitadas por no transformar cada ecosistema, relacionadas con el carbono almacenado en forma de biomasa y en el suelo.

Dentro del contexto del Subsistema de AMPs, el área marina que actualmente se encuentra protegida A, se complementaría con la red de k sitios prioritarios, cada uno de ellos con un

área a_k, siendo k el subíndice para denotar cada área que conformaría el Subsistema de AMPs, que aquí se denominará como $R = \sum_{k=1}^{K} a_k$. De esta forma, después de la implementación del mismo, el total de hectáreas marinas y costeras protegidas en Colombia estaría conformada por $A + R$. Así mismo, q_{im} se definirá como el área ocupada por cada ecosistema i que captura carbono en el área m, siendo *m = A o R*; en el caso del Mar Caribe, los ecosistemas relevantes son manglares y pastos marinos, y en el caso del Océano Pacífico sólo manglares, pues dadas las condiciones específicas del Pacífico colombiano, los pastos marinos no se encuentran presentes en esta región del país.

Considerando lo anterior, es posible construir una ecuación que describa la tasa de captura de carbono en cada periodo t como:

$$C_m = \sum_{i=1}^{n} q_{im} S_i - \sum_{i=1}^{n} q_{im} S_i x_i$$

$$C_m = \sum_{i=1}^{n} q_{im} S_i (1 - x_i) \qquad \textbf{(1)}$$

La ecuación 1 representa la tasa de captura total de un área cualquiera *m* en cada periodo, y n hace referencia a la cantidad de ecosistemas que capturan carbono. Esta expresión nos indica que las toneladas de CO_2eq capturados no serán unidades fijas, pues dependerán de la tasa específica de captura de cada ecosistema (S_i), de las hectáreas que ocupe el mismo en el área m (q_{im}), y de la tasa de pérdida anual (x_i) de los ecosistemas que capturan carbono.

La inclusión de una tasa de pérdida anual x_i bajo la existencia de figuras de protección se explica debido a fenómenos no controlables como las tasas naturales de degradación de cada ecosistema, los efectos del cambio climático sobre las dinámicas de los mismos y las intervenciones humanas dentro del área de influencia de los ecosistemas. De esta forma, se podría pensar en la tasa de pérdida x_i como una función de la tasa natural de degradación específica de cada ecosistema, de factores como la temperatura, nivel del mar, precipitaciones, y otros elementos que se han modificado como consecuencia del cambio climático, y de la alteración de las dinámicas de los ecosistemas producto de acciones humanas cerca del área protegida. En este documento, x_i será un parámetro que permitirá construir distintos

escenarios, que conduzcan a analizar el efecto de dichos cambios sobre las tasas de captura y cantidades almacenadas de carbono.

La expresión que describe el almacenamiento de carbono, se construye de manera similar a la tasa de captura anual, incluyendo tanto el carbono almacenado en forma de biomasa, como el carbono almacenado en el suelo a través de la variable EE_i:

$$Q_m = \sum_{i=1}^{n} q_{im} EE_i - \sum_{i=1}^{n} q_{im} x_i EE_i$$

$$Q_m = \sum_{i=1}^{n} q_{im} EE_i (1 - x_i) \qquad \textbf{(2)}$$

La ecuación 2 define el almacenamiento total de carbono en biomasa y en el suelo de un área cualquiera *m*, donde EE_i se define como la suma del carbono almacenado por hectárea en el suelo g_i y en la vegetación v_i del ecosistema i; es decir, $EE_i = g_i + v_i$.

Ahora bien, resaltando los objetivos expuestos, no sólo se busca determinar la contribución del Subsistema a la captura y almacenamiento de carbono, sino que este estudio quisiera complementar dicha contribución analizando si la existencia de algún tipo de mecanismo de "monetización", como los mercados de emisiones, podría resaltar los incentivos en torno a la protección. Es decir, si encontrar un valor monetario asociado positivo podría dar luces acerca de la importancia de los ecosistemas marinos y costeros en Colombia. Para ello, a partir de las expresiones definidas, se plantea un modelo de beneficios para un área protegida cualquiera m.

Para el cálculo de los beneficios anteriormente indicados, la variable EE_i debe modificarse levemente para incluir la estructura que rige los mercados de emisiones y las condiciones que necesita un proyecto para hacerse acreedor a derechos de emisión. Ahora EE_i incluirá sólo el carbono almacenado en el primer metro del suelo que yace bajo los ecosistemas estudiados, y se denominará EE_i'; esto incluye el carbono que se encuentra en la biomasa (raíces, entre otras) y en los minerales del suelo. Esta modificación se hace debido a que ante un proyecto de transformación del uso del suelo, no sólo se perdería la capacidad de los ecosistemas de capturar carbono, sino que además se emitiría dióxido de carbono a la atmósfera cuando el

carbono almacenado en el suelo entre en contacto con el oxígeno y se convierta en CO_2. En este contexto, siguiendo a Pendleton et al. (2012), y considerando escenarios conservadores, se supone en riesgo de emisión solamente el carbono almacenado en el primer metro de suelo, considerando que éste puede ser potencialmente liberado a la atmósfera.

Los beneficios asociados al servicio de captura y almacenamiento de carbono, enmarcados en un proyecto hipotético que otorgara Certificados de Reducción de Emisiones, serían el resultado de los flujos anuales que generaría el secuestro de carbono oceánico, y de un monto que se recibiría al final del periodo del proyecto, reconociendo la protección del uso del suelo del ecosistema, que evitaría la emisión de CO_2 durante la vida de dicho proyecto. De esta forma, los beneficios para cada uno de los primeros $T-1$ periodos serían equivalentes a:

$$\pi_m = C_m P$$

y para el último periodo:

$$\pi_m = \left(C_m + \sum_{i=1}^{n} \left(q_{im} E E_i^{'} (1 - x_i) \right) \right) P = (C_m + L_m) P$$

donde *P* hace referencia al precio esperado del carbono en el mercado hipotético y L_m hace referencia a las emisiones en riesgo o potencialmente liberables ante un proyecto de transformación del suelo del ecosistema.

Considerando lo anterior, para T periodos se tendría que los beneficios generados por un área m, asociados al servicio de captura y almacenamiento de carbono, se obtendrían a partir de:

$$\pi_m = \sum_{t=0}^{T} \frac{C_m P}{(1+r)^t} + \frac{L_m P}{(1+r)^T} \qquad \textbf{(3)}$$

La ecuación 3 describe los beneficios derivados de la captura y almacenamiento de carbono (potencialmente liberable) en un área cualquiera *m*. Acá *r* se define como la tasa de descuento que permitirá traer a valor presente los flujos estimados de carbono dentro de un proyecto que evitará la conversión de los ecosistemas, y por ende contribuirá al incremento sostenible de las reservas de carbono, como es el caso del Subsistema de Áreas Marinas Protegidas propuesto para Colombia.

El modelo propuesto pretende ser una herramienta que permita otorgar una aproximación al caso colombiano, teniendo en cuenta las áreas que hacen parte del Subsistema de AMPs que se quiere implementar, R. De esta forma, hallar el beneficio π_R asociado a la protección de las áreas marinas protegidas indicadas, puede ser una herramienta que de luces acerca de la importancia del servicio de captura y almacenamiento de carbono oceánico para Colombia.

3.2 Ecosistemas costeros que capturan carbono

El papel de los ecosistemas forestales en la captura y almacenamiento de carbono es bien conocido; sin embargo, el rol de algunos ecosistemas marinos y costeros -manglares y pastos marinos-como fuente y sumidero de Gases de Efecto Invernadero no ha sido ampliamente estudiado (Pendleton, et al., 2012).

Ecosistemas como manglares y pastos marinos remueven GEI de la atmosfera a través de su proceso de fotosíntesis; de esta forma, secuestran cantidades considerables de estos gases, principalmente CO_2, y los almacenan en forma de biomasa y en los suelos que yacen bajo ellos (Jenkins, et al., 2010). Por tanto, cuando se transforman estos ecosistemas el carbono previamente almacenado se desestabiliza o se expone al oxígeno generando emisiones de grandes cantidades de GEI a la atmosfera, en el caso de los manglares, o a la columna de agua, en el caso de los pastos marinos (Pendleton et al., 2012).

En Colombia los pastos marinos, o praderas de fanerógamas, se encuentran distribuidos en todo el Caribe con una extensión aproximada de 43,223 ha; sin embargo, no existen registros de ninguna especie en las costas del Pacífico (Casas-Monroy, 2000). En cuanto a los bosques de manglar, éstos cubren un área aproximada de 379,954 ha, de las cuales 292,724 pertenecen al Pacífico (Casas-Monroy, 2000). El área de manglares y pastos marinos que actualmente se encuentra protegida es aproximadamente de 93,939 ha y de 7,323 ha respectivamente, mientras que dentro del Subsistema de AMPs, la zona de pastos marinos que se desea proteger es de alrededor de 18,864 ha y la de manglares es de 45,805 ha (Ver Cuadro 1), es decir, el 44% y el 12% del total de hectáreas de estos ecosistemas en el país respectivamente (INVEMAR, UAESPNN y TNC, 2008a).

Cuadro 1. Distribución en hectáreas de Manglares y Pastos Marinos en Colombia

	Manglares		Pastos Marinos	
Caribe	87,230		43,223	
Pacífico	292,724		0	
Total	379,954		43,223	
Protección Actual	93,939	(25%)	7,323	(17%)
Protección Subsistema	45,805	(12%)	18,864	(44%)
Total Protección	139,744	(37%)	26,187	(61%)

Fuente: Elaboración propia basado en INVEMAR, UAESPNN y TNC (2008a) y Casas-Monroy (2000)

En cuanto al servicio de captura y almacenamiento de carbono, provisto por manglares y pastos marinos, datos como su tasa de captura, la cantidad de carbono almacenada en el suelo y en su vegetación (máxima y mínima), y la cantidad de carbono en riesgo de emisión – potencialmente liberable ante un proyecto de transformación del ecosistema- son relevantes y pueden ser observadas en el Cuadro 2[7]. Los datos obtenidos indican que la tasa de captura y el almacenamiento varían considerablemente de un ecosistema a otro.

Cuadro 2. Tasas de captura y almacenamiento de carbono en suelo y biomasa, en $MgCO_2e/ha/año$

	Manglar			Pastos		
	Min	**Max**	**Prom**	**Min**	**Max**	**Prom**
Tasa de Captura	0.13	24	6	0	85	4
Almacenamiento en biomasa	26	2,554	718	0.01	23	2.5
Almacenamiento en suelo	2,126	2,603	2,461	66	1,467	766
Potencialmente liberable	1,492			522		

Fuente: Elaboración propia basado en Murray et al. (2011), Pendleton et al. (2012), Sifleet (2011).

Finalmente, la tasa de pérdida anual x_i de estos ecosistemas se aproximó de acuerdo a los datos presentados por la FAO (2007) para manglares en Colombia. De esta forma, en el presente documento dichas tasas se tomaron para manglares y pastos marinos, aproximadamente entre 0.58% y 1.12% anual. Acá se supone que la tasa de pérdida de pastos

[7] Las tasas de captura y almacenamiento fueron tomadas de censos biológicos realizados en diversas regiones en el mundo. Entre estos censos no se encontraron datos para Colombia por lo que se utilizó el promedio mundial.

marinos es igual a la de manglares debido a la ausencia de datos discriminados para estos ecosistemas.

3.3 Tasa de descuento intertemporal

Un aspecto relevante para la valoración propuesta en este trabajo es la escogencia de la tasa de descuento apropiada. Autores como López (2008) encuentran que la tasa social de descuento apropiada para Colombia se estima en 4.2% anual; sin embargo, el Banco Mundial aconseja incluir tasas cercanas al 12% para países en vías de desarrollo como Colombia, mientras que Harrison (2010) asegura que deben usarse tasas de interés bajas en valoraciones ambientales, especialmente cuando estás consideran periodos extensos de tiempo. Considerando lo anterior, se eligieron tres valores para descontar socialmente el flujo de beneficios obtenidos por el servicio de captura y almacenamiento de carbono oceánico, a saber: 4%, 6% y 9%; esta elección, apunta a determinar si los beneficios son significativamente sensibles a los cambios en las tasas de descuento.

3.4 Mercados de carbono

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC por sus siglas en inglés) es un acuerdo mundial para enfrentar las consecuencias del cambio climático, que incluye dentro de sus estrategias elementos asociados a la mitigación de emisiones de GEI, iniciativas a favor de la adaptación al cambio climático, mecanismos de financiación e incentivos hacía el uso de tecnologías limpias. Esta convención busca estabilizar las emisiones de GEI a unos plazos cuidadosamente establecidos, de tal manera que se alcance "un nivel que impida interferencias antropógenicas peligrosas en el sistema climático" (UNFCCC, 1992), asegurando que los ecosistemas se adapten naturalmente a dicho cambio, que la producción de alimentos no se vea amenazada y que el desarrollo económico prosiga de manera sostenible. Para lograr estos objetivos, en 1997 la mayoría de países industrializados (denominados Anexo I) se comprometieron a estabilizar sus emisiones a niveles 5% menores que los de 1990 a través de la firma del Protocolo de Kyoto, y 10 años más tarde la UNFCCC decidió consolidar y estructurar sus objetivos a través de la Hoja de Ruta de Bali en la decimotercera Conferencia de las Partes (COP13).

La Hoja de Ruta de Bali estableció objetivos de largo plazo que consideraban metas más allá de 2012, año en que se cumplió el primer periodo del Protocolo de Kyoto, y un plan de acción que incluyó cuatro elementos principales: mitigación de emisiones de GEI, financiación, transferencia de tecnología y adaptación al cambio climático. Este último aspecto ha tomado relevancia en los últimos años, y desde la COP7 el interés político sobre el tema de adaptación ha aumentado de manera significativa, al resaltar su función complementaria en temas de mitigación de emisiones de GEI. De esta forma, los avances realizados en la COP11, en parte gracias a las recomendaciones del cuarto informe de la IPCC, permitieron que en la Conferencia de las Partes de 2006 (COP12) la adaptación se incluyera en la agenda de trabajo de manera permanente.

Por otro lado, como parte del Protocolo de Kyoto se acordó el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), el cual permite que gobiernos y empresas de países industrializados (Anexo I) se involucren en proyectos de reducción de emisiones en los países en desarrollo, de tal forma que puedan ganar Certificados de Reducción de Emisiones (CER por sus siglas en inglés) y así cumplir con las metas establecidas dentro del Protocolo. Cada certificado es equivalente a 1Mg CO_2eq, puede ser negociado y vendido en mercados financieros internacionales (FAO, 2010), y se obtiene por conducir proyectos de mitigación de gases de efecto invernadero, a través de acciones que favorezcan la aforestación, la reforestación y el desarrollo de tecnologías que permitan la reducción verificable de emisiones. En teoría, el valor del MDL radica en que la reducción de emisiones puede darse en cualquier lugar si ésta resulta menos costosa allí, permitiendo que los países firmantes del Protocolo alcancen sus metas a un menor costo y que los no firmantes se beneficien de la transferencia de tecnologías limpias y apoyo financiero, entre otros elementos.

Hasta el año 2012 se habían registrado cerca de 5,000 proyectos dentro del esquema del MDL y el Consejo Ejecutivo del mismo había emitido más de 1 millón de CER's (Buen, 2013). No obstante, el MDL ha enfrentado grandes críticas en los últimos años. Estas se encuentran enumeradas dentro del *High-Level on the CDM Policy Dialogue* (2012) y entre ellas se destacan: (i) los altos costos de transacción que deben enfrentar los proyectos para ser aprobados por los órganos evaluadores; (ii) la falta de coherencia en el proceso de selección de proyectos, ya que se han evidenciado inconsistencias al rechazar proyectos similares a otros previamente

aprobados; (iii) la ausencia de escalabilidad[8], que ha generado que el MDL no sea suficiente para reducir emisiones, ni para contribuir a los flujos financieros que necesitan los países en desarrollo para alcanzar dichas reducciones; (iv) el registro de proyectos que no cumplen con las características de adicionalidad[9], especialmente en las plantas generadoras de energía en China e India; y (v) problemas para verificar la existencia de posibles fugas (*Carbon Leakages*) en los proyectos registrados, es decir, la transferencia de las emisiones de los países que han adoptado medidas de mitigación exigentes hacía los países que han adoptado medidas de mitigación menos estrictas.

Pese a lo anterior, como resultado de las negociaciones de la Conferencia de las Partes en Durban en 2011 (COP17) se estableció que el MDL continuaría vigente después de cumplirse el primer periodo del Protocolo, lo cual fue ratificado a finales de 2012 en la Conferencia de Doha (COP18).

Por otro lado, además del MDL, el Protocolo de Kyoto dio origen al mercado global de carbono, que en la actualidad se constituye como uno de los mecanismos e incentivos más importantes para mitigar emisiones de gases de efecto invernadero, ya que se convierte en la principal herramienta de los países firmantes del Protocolo para cumplir con las metas pactadas de reducción de emisiones (Nellemann et al., 2009). Sin embargo, el Protocolo de Kyoto no está pasando por su mejor momento. Las consecuencias de la crisis económica mundial (2008-2009) han producido, entre otras cosas, una reducción significativa en el nivel de actividad industrial y de emisiones de GEI en los países firmantes del Protocolo, conduciendo a que la demanda por activos de carbono se encuentre cayendo. Es así como el desequilibrio generado por dicha caída en la demanda y por la creciente oferta de emisiones, lideró la tendencia a la baja en los precios del carbono en los años 2011 y 2012 (Carbon Finance, 2013).

La primera fase (2008-2012) del Protocolo se acaba de cumplir, y mientras que Australia confirmó que desea participar en la segunda fase, Estados Unidos, Japón, Rusia y Canadá no ratificaron su participación. Las decisiones tomadas en Doha a finales de 2012 (COP18), a través de la enmienda del Protocolo de Kyoto, permitieron concretar la intención de un

[8] Se refiere a los problemas o deficiencias asociadas al manejo de grandes volúmenes de peticiones para el registro de proyectos.
[9] Criterio de elegibilidad para determinar si la implementación de un proyecto genera niveles de GEI menores a los que hubiesen dado en el escenario más probable si no existiera el incentivo creado por el CDM.

segundo periodo (2013-2020) considerando la decisión tomada en la Conferencia de Durban en el año 2011 (COP17). De esta forma, las negociaciones aseguraron que los mecanismos existentes bajo el anterior Protocolo podrían continuar, permitiendo la transferencia de objetivos jurídicamente vinculantes después de 2012 (Carbon Finance, 2013).

No obstante, se reconoció que las metas de reducción de emisiones pactadas para el nuevo periodo son menos estrictas que las sugeridas por el IPCC para limitar el aumento de la temperatura global a 2°C, por lo que se prevé que en el año 2014 los países firmantes deben presentar nuevas propuestas de mitigación garantizando metas más ambiciosas que las actuales. Es así como no se esperan decisiones adicionales en el mercado internacional de emisiones o nuevos mecanismos de carbono antes de 2015, lo que hace muy difícil la implementación del segundo periodo del Protocolo antes de 2020 (Carbon Finance, 2013).

Ahora bien, actualmente existen dos tipos de mercados de carbono: los de cumplimiento regulado producto del Protocolo y los voluntarios. Estos últimos son utilizados por cualquier país e institución que por diversas razones (reputación, responsabilidad social, etc.) desea llevar a cabo este tipo de proyectos para recibir, en este caso, los créditos que se denominan Reducciones Verificadas de Emisiones (VER por sus siglas en inglés), pero que no están obligados a hacerlo.

Considerando lo anterior, las reducciones de emisiones asociadas a carbono oceánico no se encuentran aún cubiertas dentro de la UNFCCC, por ende no están avaladas dentro del MDL y no dan origen a créditos que se puedan transar dentro de los mercados regulados de carbono. Incluso, estas reducciones no son consideradas dentro de iniciativas que actualmente hacen parte del mercado voluntario y que están tomando fuerza en la UNFCCC, como REDD y REDD+. De esta forma, los incentivos económicos actuales no favorecen la protección de ecosistemas oceánicos que capturan carbono (Murray et al., 2011).

Incluir el carbono oceánico dentro los proyectos de reducción de emisiones que dan origen a créditos de carbono, ya sea a través de su inclusión dentro el Mecanismo de Desarrollo Limpio o a través de iniciativas como REDD+, puede contribuir a dirigir los incentivos económicos hacía la conservación de ecosistemas costeros clave, resaltando el papel que dichos ecosistemas juegan dentro del clima mundial y evitando la excesiva destrucción de los mismos.

Considerando lo anterior, el precio asociado a uno de estos mercados puede ser la herramienta que permita alinear los incentivos mencionados, o por lo menos brindar elementos para la toma de decisiones informada, permitiendo otorgar un valor monetario al servicio de captura y almacenamiento de carbono oceánico, visibilizándolo y reivindicando su importancia para la sociedad.

3.5 Precio de mercado del carbono

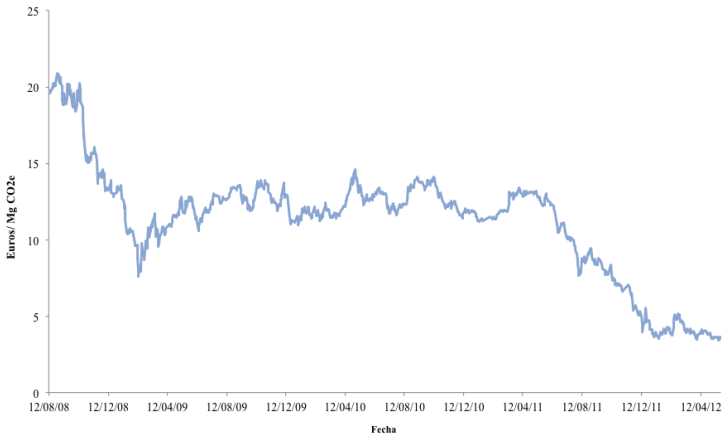
Teóricamente, en mercados competitivos el precio se establece en el punto donde la disponibilidad a pagar del comprador iguala el costo marginal del vendedor. En el caso de los mercados de carbono, la disponibilidad a pagar del país obligado a reducir emisiones es una función del costo que se puede evitar a través de la compra del crédito de carbono (Kim, McCarl y Murray, 2008); generalmente, este costo se asocia al costo en el que incurren dichos países al reducir emisiones dentro de su territorio. De esta forma, el país decidirá reducir sus emisiones hasta el punto en el que el costo marginal de reducir una unidad adicional de GEI empiece a ser mayor que el precio que tiene que pagar por seguirla emitiendo (Bowen, 2011).

Como consecuencia, en condiciones ideales, el precio de mercado del carbono reflejará el valor de los derechos de emisión transados en un mercado, dadas unas restricciones de oferta sobre los mismos (Price et al., 2007). Por lo tanto, los mercados de carbono en los que se transan estos derechos otorgarían un precio que intentaría aproximar las características mencionadas, permitiendo que compradores y vendedores se encuentren para realizar transacciones de acuerdo con sus necesidades. No obstante, en los mercados actuales de carbono esta premisa no se cumple, pues se trata de mercados imperfectos en los que elementos como la existencia de costos de transacción, de incertidumbre acerca de las decisiones sobre los compromisos mundiales de mitigación, de los problemas en la verificación o monitoreo de los proyectos que dan origen a permisos de emisión, entre otros elementos, conducen a que el precio de un activo de carbono no necesariamente sea equivalente al costo marginal de contaminar o emitir GEI en este caso.

Considerando lo anterior, el precio promedio de los CER transados en la Fase II (2008-2012) del *European Union Emissions Trading Scheme* (EU ETS) fue de €11.3/$MgCO_2e$. Sin embargo, desde finales del año 2011 el precio de dichos certificados empezó a caer hasta llegar

a valores cercanos a €1/MgCO_2e (Ver Figura 2). Lo anterior, principalmente a causa de cuatro elementos: (i) la crisis económica que ha experimentado Europa desde finales del 2008, (ii) la incertidumbre asociada a la renovación del Protocolo de Kyoto más allá de 2012, (iii) el incremento en la oferta de las *Emission Reduction Units* (ERU ó EUA) que son créditos sustitutos de los CER, y (iv) las metas de mitigación que son aún tan modestas que no han podido generar incentivos fuertes para invertir en los CER ni para que en los países en desarrollo se generen iniciativas importantes de participación (CDM Policy Dialogue, 2012).

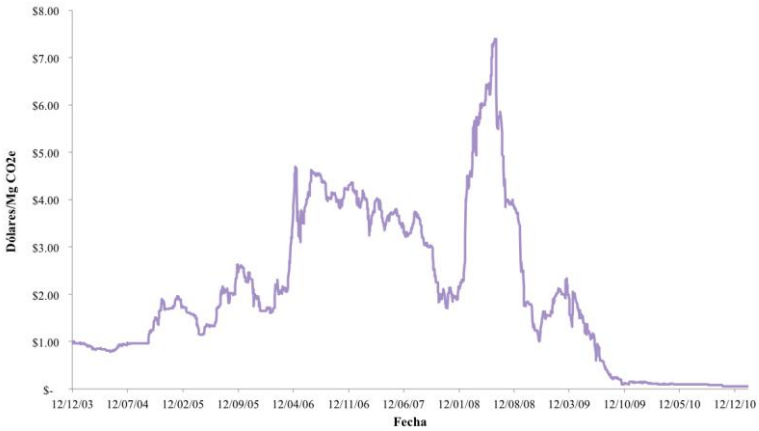
Figura 2. Precio de los CER (FASE II EU ETS)



Fuente: Elaboración Propia a partir de datos obtenidos de BlueNext (2012)

Por otro lado, el precio de los certificados denominados Verified Emissions Reductions (VER) transados en lo que era el mercado voluntario más grande de permisos, el *Chicaco Climate Exchange* (CCX), estuvo hasta 2010 alrededor de US$2.03/Mg$CO_2$e, alcanzando un valor máximo de US$7.39/Mg CO_2e en 2008 (Ver Figura 3). Sin embargo, desde el año 2011 los créditos en el mercado voluntario se empezaron a negociar en mercados *Over The Counter* (OTC), y los precios asociados a estos créditos cayeron de manera significativa.

Figura 3. Precio de los VER (CCX 2003-2010)



Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos en Intercontinental Exchange (ICE)

Teniendo en cuenta las limitaciones del mercado voluntario, el precio de los Certificados de Reducción de Emisiones puede ser considerado como una medida de monetización adecuada de los flujos de carbono oceánico, ya que no existe actualmente un mercado para el mismo, y entre las dos opciones más cercanas –CER y VER- la que mejor se podría ajustar a los objetivos de un gobierno que quiera proteger sus áreas marinas sería aquella enmarcada dentro de un mercado regulado. De esta forma, la estimación del precio de los CER se tomará como medida referente para monetizar los flujos de carbono producidos por ecosistemas marino costeros.

Respecto a esta serie de precios, en este documento sólo se considera la información disponible para la segunda fase del mercado de emisiones europeo (EU ETS), debido principalmente a los diversos problemas experimentados en la primera fase y a que los instrumentos de dicha fase no se podían transferir a la segunda.

Ahora bien, al considerar el precio al que se transan los CER una medida de monetización adecuada, es necesario tener en cuenta que el precio de estos certificados, al transarse en un mercado financiero, se caracteriza por ser volátil y dependiente de las expectativas de los agentes de mercado, del éxito de los proyectos realizados y de la situación económica mundial, entre otras características.

Según la Hipótesis de Eficiencia del Mercado (MEH por sus siglas en inglés), el precio de los Certificados de Reducción de Emisiones, y en general el precio de un activo financiero sigue usualmente un comportamiento de caminata aleatoria o *Random Walk*, por lo que el

precio generalmente será impredecible por lo menos en el corto plazo (FAMA, 1965). Siguiendo con esta teoría, la información histórica disponible acerca de los precios es apropiada para obtener una predicción del precio futuro del activo.

Para estimar el precio del carbono, se toma la serie de precios histórica de los CER negociados en la Fase II de emisiones del mercado europeo, y se modela como un movimiento browniano geométrico, que es uno de los modelos matemáticos más frecuentes en la modelación de precios de activos financieros. De acuerdo con el movimiento Browniano geométrico, el precio futuro sigue una distribución log normal, y por ende su valor futuro puede ser estimado con un cierto nivel de confianza. Matemáticamente, el proceso se puede expresar como:

$$p_{t+1} = p_t e^{\left(\mu_r - \frac{\sigma_r^2}{2}\right) + \sigma_r \varepsilon_t} \quad \textbf{(4)}$$

$$con\ \varepsilon_t \sim N(0,1)$$

donde :

p_{t+1} : estimación del precio futuro

p_t : es el precio *spot*

μ_r : es la media de los retornos

σ_r^2 : es la varianza de los retornos

ε_t : es el choque aleatorio del precio desde t a $t+1$, que se distribuye de forma normal con media cero y varianza unitaria.

Adoptando el proceso descrito, es necesario llevar a cabo varias simulaciones del precio (1,000) para determinar el intervalo de confianza en el que se encontrarían los mismos en un período determinado. La simulación de los precios de los CER debe ser realizada teniendo en cuenta variables asociadas a los retornos de estos derechos de emisión y a los precios históricos de los mismos.

4. Resultados

La valoración de los servicios provistos por ecosistemas marinos, como captura y almacenamiento de carbono, busca asociar un valor económico a dichos servicios para generar incentivos económicos que apoyen su conservación.

La protección de nuevas áreas de ecosistemas marinos, entre estos aquellos que capturan carbono, se hará visible directamente en el almacenamiento total y en las tasas de captura anuales que se consideran estables por encontrarse bajo un régimen de protección. Lo anterior implica que dicha figura de protección garantizará que los ecosistemas se encuentren libres de amenazas humanas, cómo extracción de recursos y contaminación, de tal forma que las dinámicas asociadas a la salud de estos ecosistemas sean apropiadas y se pueda garantizar que sus procesos de captura y almacenamiento sean adecuados. Cabe aclarar, sin embargo, que la protección no impedirá, cómo anteriormente fue expuesto, que los ecosistemas sean vulnerables a fenómenos exógenos como lo son el cambio climático, y tasas naturales de degradación. Igualmente, no sería posible asumir que ante la inexistencia de una figura de protección la provisión de estos servicios caerá a cero.

La metodología de valoración descrita en este documento se aplica a varios escenarios. Un primer escenario es aquel que considera las áreas de prioridad "muy alta" propuestas por el INVEMAR para conformar el Subsistema de Áreas Marinas Protegidas; la inclusión de dichas áreas es equivalente a incrementar la protección de ecosistemas marinos en 488 mil hectáreas aproximadamente, es decir lograr una cobertura de protección del 4.4% de la superficie marina. Los detalles de este análisis se encuentra en Maldonado et al. (2013). Adicionalmente, se evalúan dos escenarios adicionales que contemplan la ampliación del Sistema de Áreas Marinas Protegidas de Colombia en diferentes proporciones para poder comparar los resultados obtenidos con el escenario inicial propuesto; una de ellas es la relacionada con el cumplimiento de las metas del CDB de alcanzar el 10% de la superficie marina bajo figuras de protección; la segunda se relaciona con un incremento que permita incluir bajo formas de protección el 20% de la superficie marina. Los resultados se presentan a continuación.

4.1 Valoración económica de la captura y almacenamiento de carbono en el escenario de protección mínima (4.4%) de la superficie marina

De hacerse efectiva la protección, la contribución del Subsistema a la mitigación de GEI, específicamente dióxido de carbono, estaría representada con un incremento significativo de las tasas brutas[10]de captura anual y el almacenamiento bruto[11]de carbono en el suelo y biomasa (Ver Cuadro 3). De esta forma, para las tasas de captura anual se determinó que la contribución del Subsistema se encuentra entre 49 y 94 por ciento respecto a la contribución otorgada por el actual esquema de conservación, lo que sería equivalente a proteger una capacidad aproximada de secuestro de GEI entre 5 mil y 2.7 millones de Mg de CO_2e anuales. En cuanto al almacenamiento en el suelo y en biomasa, se encontró que la contribución adicional del Subsistema se encuentra entre el 49 y 68 por ciento respecto a las hectáreas actualmente protegidas de estos ecosistemas, lo que equivale a conservar entre 101.6 y 304.4 millones de Mg de CO_2e adicionales.

Cuadro 3. Contribución del Subsistema a la mitigación de Gases Efecto Invernadero (CO_2)

		Tasas de Captura ($MgCO_2e$/ha/año)		Almacenamiento Total ($MgCO_2e$/ha)	
		Min	**Max**	**Min**	**Max**
Protección Actual	Manglares	12,212	2,252,657	202,121,031	439,663,641
	Pastos	0	625,677	6,200,913	8,337,086
	Subtotal	**12,212**	**2,878,334**	**208,321,945**	**448,000,727**
Protección Subsistema	Manglares	5,955	1,098,415	98,555,965	236,233,008
	Pastos	0	1,611,740	3,023,619	68,238,699
	Subtotal	**5,955**	**2,710,155**	**101,579,584**	**304,471,707**
	%Contribución	**49%**	**94%**	**49%**	**68%**

Fuente: Elaboración propia

Ya determinada la contribución marginal del Subsistema a la mitigación de GEI, el siguiente paso fue examinar el efecto del Subsistema sobre los beneficios que la protección del mismo podría traer para Colombia. Esto último, enmarcado dentro de un mercado hipotético que permitiera al país ingresar éste proyecto dentro del portafolio mundial, de tal forma que le

[10] Sin incluir el efecto de la tasa de pérdida anual, esto es $C_m^B = \sum_{i=1}^{n} q_{im} S_i$

[11] Sin incluir el efecto de la tasa de pérdida anual, esto es $Q_m^B = \sum_{i=1}^{n} q_{im} EE_i$

otorgara el derecho de obtener y negociar Certificados de Reducción de Emisiones, y transarlos en el mercado internacional de emisiones.

A continuación, siguiendo con la metodología planteada en este documento, se propone una expresión para analizar la contribución del Subsistema en el contexto de un mercado, cuyo objetivo fue asociar un valor monetario al beneficio ambiental provisto por ecosistemas marinos, específicamente, aquel relacionado con el aumento del almacenamiento y tasas de captura de carbono:

$$\pi_R = \sum_{t=0}^{T} \frac{C_R P}{(1+r)^t} + \frac{L_R P}{(1+r)^T} \tag{5}$$

La ecuación 5 describe los beneficios derivados de la captura y almacenamiento de carbono en el Subsistema, siendo $C_R = \sum_{i=1}^{n} q_{iR} S_i (1 - x_i)$ la tasa de captura[12] y $L_R = \sum_{i=1}^{n} q_{iR} EE_i^{'} (1 - x_i)$ el almacenamiento potencialmente liberable.

Para obtener estimaciones del precio que aparece en la ecuación 5, se hizo uso de la serie de precios histórica de los CER en su Fase II (Agosto/2008 a Mayo/2012), siguiendo la metodología propuesta en este documento. A través de dicha serie se obtuvo un intervalo de confianza para el precio al finalizar el período. Este intervalo, es el resultado de 1,000 simulaciones del precio, las cuales siguieron un Movimiento Browniano Geométrico (Ver Figura 4). Los resultados obtenidos, indican que con un nivel de confianza del 95%, el precio de los Certificados de Reducción de Emisiones en la Fase III del mercado de emisiones europeo se encontrará entre 1.1 y 5.2 €/$MgCO_2e$ (Ver Figura 5).

Con el intervalo de precios obtenido, el paso siguiente para hallar el valor presente de los beneficios fue plantear varios escenarios en los que se incluyeron, además del intervalo de precios, las tasas de pérdida anuales de los ecosistemas y las tasas de descuento descritas en la metodología de acuerdo a la ecuación 5. De esta forma, a través de cada escenario se obtiene un valor para los beneficios combinando distintas realizaciones de las tasas de pérdida, tasas de descuento y precios. Así, uno de los escenarios puede considerar por ejemplo una tasa de

[12] La tasa de captura utilizada para el cálculo de los beneficios corresponde al valor promedio anual presentado en el Cuadro 2

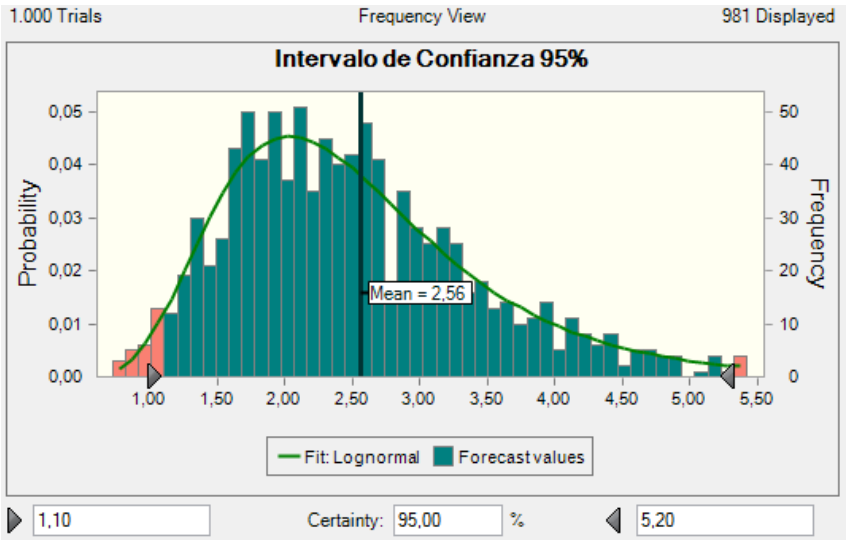
pérdida anual de los ecosistemas equivalente a 0.58%, una tasa de descuento del 4% y un precio de 1.1 €/$MgCO_2$ para calcular los beneficios esperados con estas realizaciones.

Figura 4. Simulaciones del precio de los CER

Fuente: Elaboración propia basado en datos de precios de BlueNext

La evaluación se realizó para un periodo de ocho años, es decir, iniciando en el año 2013 y finalizando en el año 2020. La razón de esta elección se basa en dos argumentos: (i) coincide con el horizonte de planificación del Plan de Acción para la creación del Subsistema de AMPs (INVEMAR, et al., 2008b), ya que según la meta del gobierno colombiano en 2019 debe estar completamente establecido y articulado al Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP); y (ii) la disponibilidad de datos respecto a los precios de los CER limita su estimación, por lo que suponer la validez de dicha estimación más allá de 2020 puede ser poco creíble y de difícil argumentación.

Figura 5. Intervalo de confianza simulaciones precio CER



Fuente: Elaboración propia basado en datos de precios de BlueNext

Los resultados se presentan en el Cuadro 4 e indican que el valor presente de los beneficios de aumentar el área protegida, en términos de la captura de carbono oceánico, varía entre 63 y 294 millones de euros aproximadamente, y que dado un nivel de precios y una tasa de descuento, la tasa de pérdida no tiene efectos importantes sobre el nivel de beneficios. Por ejemplo, para un precio equivalente a 1.1 €/$MgCO_2e$ y una tasa de descuento de 4% anual, la diferencia en beneficios producto de la tasa de pérdida equivaldría aproximadamente a 345 mil euros.

Cuadro 4. Beneficios en valor presente en Euros para el período 2013-2020 derivados de la captura y almacenamiento de carbono dadas diferentes tasas de pérdida (x_i), tasas de descuento y precios (P).

	x_i = 0.58%	
Tasa descuento	**P = 1.1**	**P = 5.1**
4%	63,559,818	294,686,428
6%	54,742,698	253,807,053
9%	44,009,212	204,042,711

	x_i = 1.12%	
Tasa descuento	**P = 1.1**	**P = 5.1**
4%	63,214,593	293,085,838
6%	54,445,363	252,428,500
9%	43,770,176	202,934,453

Fuente: Elaboración Propia.

Considerando lo anterior, se realizó una modificación a la función de beneficios inicialmente planteada para que fuera posible introducir de alguna manera el efecto de elementos que son inciertos en el mercado de emisiones sobre los precios de los CER. Es decir, los beneficios esperados dadas una tasa de descuento y una tasa de pérdida de los ecosistemas.

$$E(\pi_R) = \alpha\left(\sum_{t=0}^{T}\frac{C_R P_B}{(1+r)^t} + \frac{L_R P_B}{(1+r)^T}\right) + (1-\alpha)\left(\sum_{t=0}^{T}\frac{C_R P_A}{(1+r)^t} + \frac{L_R P_A}{(1+r)^T}\right) \quad \textbf{(6)}$$

En la ecuación 6, α es un parámetro que recoge elementos sobre los que no hay certeza en el mercado, e incluye aspectos como la incertidumbre relacionada con las negociaciones post Kyoto, las expectativas asociadas con la finalización del primer periodo del Protocolo y de la Fase II del EU ETS, las dinámicas entre la oferta y la demanda de permisos en éste mercado, etc. Dicho parámetro se definirá como la probabilidad de que los precios sean bajos ($P_B = 1.1$) de acuerdo con la estimación realizada y de igual forma $(1-\alpha)$ se definirá como la probabilidad de que los precios sean altos ($P_A = 5.1$).

El paso siguiente fue incluir los resultados de cada escenario en la función de beneficios esperados de acuerdo a la ecuación 6, y analizar el valor de dichos beneficios considerando tres posibles respuestas a las negociaciones post-Kyoto: (i) se retiran algunos países del Protocolo, (ii) se ratifica el Protocolo bajo las mismas condiciones que el actual y (iii) sigue sin definirse el futuro del Protocolo. Para la primera respuesta, se tuvo en cuenta el efecto negativo del retiro de algunos países y sus consecuencias sobre las dinámicas de oferta y demanda por permisos negociables, por lo que a α se le asignó un valor de 0.7; aplicando la misma lógica a la segunda respuesta se le asignó un valor a α de 0.3; y para la tercera respuesta, el α asignado fue equivalente a 0.5. El valor anual de los beneficios esperados teniendo en cuenta los valores asignados para α se puede observar en el Cuadro 5.

Los resultados indican que el parámetro α, asociado a elementos inciertos del mercado como las negociaciones para renovar el Protocolo de Kyoto, afectan considerablemente los beneficios que se podrían obtener dentro de un mercado hipotético gracias al Subsistema. De esta forma, dada una tasa de descuento y de pérdida anual, dicho parámetro da origen a diferencias en los beneficios esperados que pueden llegar a encontrarse entre 5 y 13 millones

de euros anuales; por ejemplo, si se considera una tasa de pérdida baja (0.58%) y una tasa de descuento de 6%, la diferencia de los beneficios esperados entre las respuestas (i) y (ii) supera los 12 millones de euros anuales, y entre las respuestas (ii) y (iii) dicha diferencia supera los 6 millones de euros anuales.

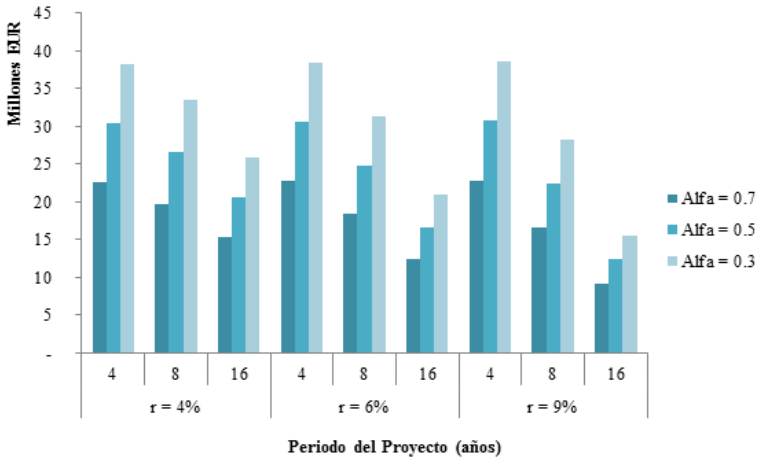
Cuadro 5. Valor anual en Euros de los beneficios esperados para el periodo 2013-2020 derivados de la captura y almacenamiento de carbono ante diferentes escenarios de negociaciones y a diferentes tasas anuales de descuento inter termporal.

	Beneficios x_i = 0.58%		
Tasa descuento	**Alfa = 0.7**	**Alfa = 0.5**	**Alfa = 0.3**
4%	19,739,022	26,604,769	33,470,516
6%	18,432,497	24,843,800	31,255,103
9%	16,625,523	22,408,313	28,191,104
	Beneficiosx_i = 1.12%		
Tasa descuento	**Alfa = 0.7**	**Alfa = 0.5**	**Alfa = 0.3**
4%	19,631,810	26,460,265	33,288,721
6%	18,332,381	24,708,861	31,085,341
9%	16,535,221	22,286,603	28,037,984

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, en la Figura 6 se puede observar como los beneficios encontrados dependen sustancialmente de la duración de los proyectos. De esta forma, a medida que se incrementa dicha duración, dada una tasa de descuento y un nivel de precios, los beneficios esperados caen de manera considerable. Es así como la determinación de los años vida de este tipo de proyectos, en el caso hipotético de presentar uno de estos para su evaluación dentro del MDL, debe ser cuidadosamente analizado, pues de no ser así se podrían estar sacrificando beneficios para el país.

Figura 6. Efecto del tiempo de vida de un proyecto sobre los beneficios esperados



Fuente: Elaboración Propia.

Ahora bien, para determinar el efecto que sobre los beneficios esperados tienen la tasa de pérdida x_i y el parámetro α, se propone el cálculo de elasticidades asociadas al efecto relativo de cambios en dichas variables sobre el desempeño de los beneficios estimados:

$$E(\pi_R, \alpha) = \frac{\partial \pi_R}{\partial \alpha} \frac{\alpha}{\pi_R} = \frac{\alpha(P_B - P_A)}{\pi_R} \left(C_R \left(\sum_{t=0}^{T} \frac{1}{(1+r)^t} \right) + L_R \left(\frac{1}{(1+r)^T} \right) \right) \quad \textbf{(7)}$$

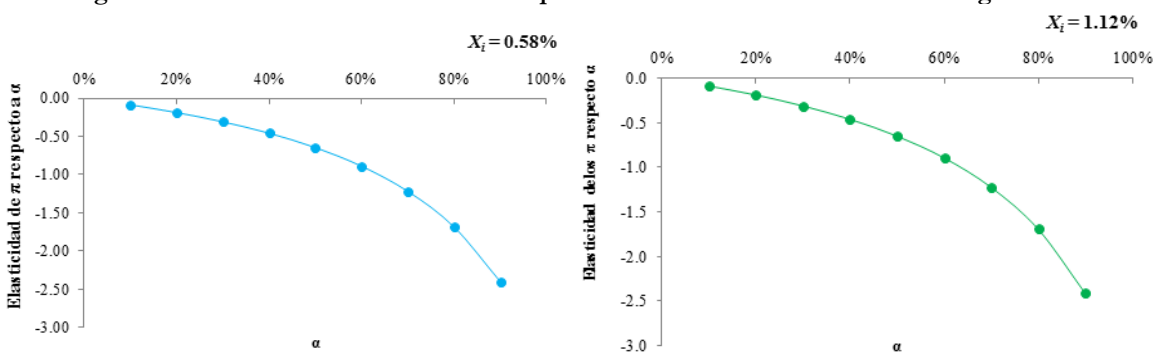
$$E(\pi_R, x_i) = \frac{\partial \pi_R}{\partial x_i} \frac{x_i}{\pi_R} = \left[\left(\sum_{i=1}^{n} -q_{iR} S_i \right) \left(\sum_{t=0}^{T} \frac{\alpha P_B + (1-\alpha) P_A}{(1+r)^t} \right) + \left(\sum_{i=1}^{n} -q_{iR} EE_i' \right) \left(\frac{\alpha P_B + (1-\alpha) P_A}{(1+r)^T} \right) \right] \frac{x_i}{\pi_R} \quad \textbf{(8)}$$

La ecuación 7 evalúa la sensibilidad sobre los beneficios de un cambio porcentual en el parámetro α. La ecuación 8 evalúa la elasticidad de los beneficios a un cambio porcentual en la tasa de degradación x_i. Los signos de las elasticidades son los esperados. Por ejemplo, en la ecuación 7 la respuesta de los beneficios esperados, ante un aumento de α, es coherente con una reducción esperada de los mismos como fue observado en los datos. De hecho, nótese que ante un incremento en α, los beneficios disminuyen en proporción a la diferencia esperada de precios $(P_A - P_B)$, pues por construcción $P_B < P_A$. Este efecto puede ser observado en la Figura 7, donde dada una tasa de descuento equivalente a 6% se variaron los valores de α para determinar el efecto sobre los beneficios esperados y sobre la elasticidad de los mismos respecto a α. Allí se puede observar que el efecto de $\boldsymbol{\alpha}$ sobre los beneficios esperados, medido

a partir de la elasticidad descrita en la ecuación 7, es inicialmente menos que proporcional; sin embargo, para valores de α mayores a 0.3 este comportamiento cambia, y ante un incremento de $\boldsymbol{\alpha}$, la elasticidad reacciona de manera más que proporcional ante cambios en dicho parámetro. Asimismo, en la Figura 8 se puede observar como el valor presente de los beneficios esperados depende negativamente de α como se espera.

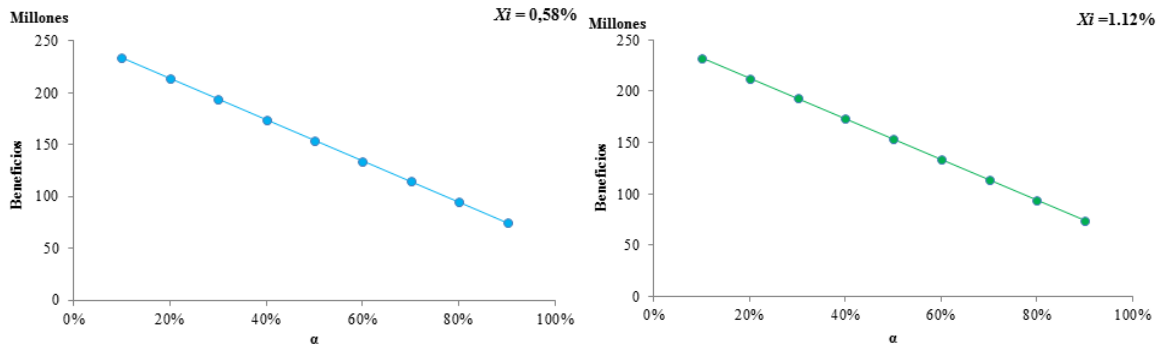
Por otro lado, las Figuras 9 y 10 indican que las tasas de pérdida utilizadas en este documento no se ven afectadas drásticamente por variaciones en $\boldsymbol{\alpha}$, pues como es de esperarse, este tipo de incertidumbre de mercado no debería afectar las características intrínsecas del ecosistema, entre ellas la tasa de pérdida. Este último hecho se modela a partir de la propiedad de independencia lineal de x_i respecto a $\boldsymbol{\alpha}$, que se evidencia en las Figuras 9 y 10.

Figura 7. Elasticidad de los beneficios respecto a α dada una tasa de descuento igual a 6%



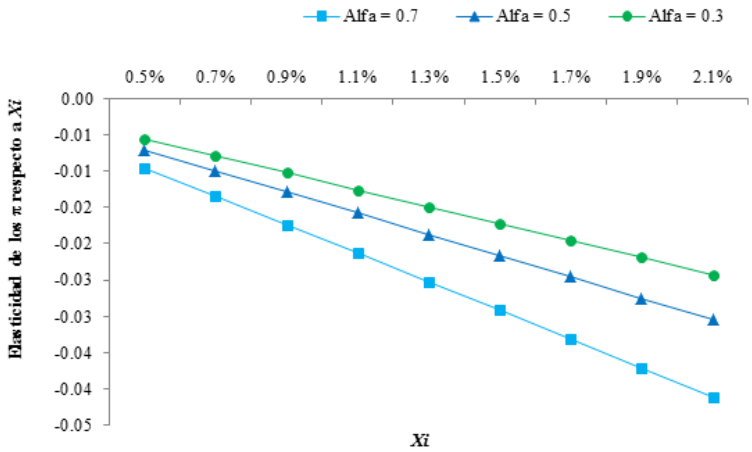
Fuente: Elaboración propia

Figura 8. Valor Presente de los Beneficios vs. α dada una tasa de descuento igual a 6%



Fuente: Elaboración propia

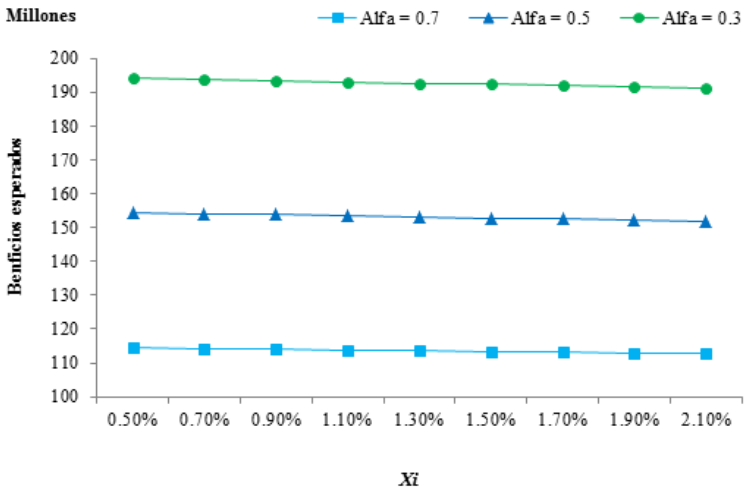
Figura 9. Elasticidad de los beneficios respecto a la tasa de pérdida (x_i) con tasa de descuento igual a 6%



Fuente: Elaboración propia

En cuanto a las tasas de pérdida, la Figura 10 indica que los beneficios esperados no se reducen de manera sustancial cuando se enfrentan escenarios con valores altos de dicha tasa. Esto, pues dada la expresión que define los beneficios esperados, el efecto de cualquier cambio en x_i sobre dichos beneficios dependerá de la magnitud del parámetro $\boldsymbol{\alpha}$ más que del valor mismo de la tasa de pérdida (x_i).

Figura 10. Valor Presente de los Beneficios vs. Tasa de Pérdida anual (x_i) con tasa de descuento de 6%



Fuente: Elaboración propia

De esta forma, en este caso la elasticidad de los beneficios respecto a x_i reacciona de forma casi que nula ante un cambio de la tasa de pérdida (x_i) (Ver Figura 9).

4.2 Valoración económica de la captura y almacenamiento de carbono en los escenarios de protección del 10% y el 20% de la superficie marina.

La metodología de valoración descrita en éste documento fue inicialmente aplicada a un escenario que consideró las áreas de prioridad "muy alta" propuestas por el INVEMAR para conformar el Subsistema de Áreas Marinas Protegidas, lo que equivalía a alcanzar una cobertura del 4.4% de la superficie marina, lo que llamamos el escenario de mínima protección. En esta sección se evalúan dos escenarios adicionales que contemplan la ampliación del Sistema de Áreas Marinas Protegidas de Colombia en diferentes proporciones para poder comparar los resultados obtenidos con el escenario inicial propuesto.

Considerando lo anterior, el segundo escenario propuesto, además de incluir las áreas de prioridad "muy alta", adiciona las demás zonas consideradas como candidatas por el INVEMAR para hacer parte del Subsistema de AMPs, independientemente de su grado de prioridad, como lo son el Parque Natural Regional Manglares del Atrato, el Parque Natural Regional Johnny Cay, el Parque Regional la Sierpe, entre otras. De esta forma, con la inclusión de dichas áreas sería posible alcanzar cerca de 9 millones de hectáreas que serían protegidas (10%) bajo éste escenario hipotético, logrando las metas de conservación propuestas en el CDB. Para el tercer escenario propuesto, se adicionan a las áreas consideradas en el escenario anterior, algunas hectáreas de mar profundo, provenientes de los dos mares, y parte del área marina protegida perteneciente a la Reserva de Biosfera Sea Flower, con lo que sería posible conseguir, para este escenario hipotético, cerca de 18.3 millones de hectáreas (20%) cobijadas bajo la medida de protección.

La protección de nuevas hectáreas de ecosistemas marinos, entre estos aquellos que capturan carbono, se materializará en las tasas de captura anuales y el almacenamiento total que se consideran estables por encontrarse bajo un régimen de protección. Dichas hectáreas, de ser efectivamente protegidas, se encontrarían libres de amenazas humanas, pero no dejarían de estar expuestas a fenómenos exógenos como la tasa de degeneración intrínseca de cada

ecosistemas y el Cambio Climático, tal y como fue considerado en el modelo teórico de beneficios expuesto en secciones anteriores.

De acuerdo con lo anterior, la contribución de los tres escenarios a la mitigación de gases de efecto invernadero, específicamente dióxido de carbono, se hará visible en el incremento de las tasas de captura y almacenamiento de carbono asociado a los ecosistemas protegidos por dichos escenarios. De esta forma, en el Cuadro 6 es posible observar que la contribución del Subsistema a las tasas anuales de captura se encuentra entre 0% y 51% respecto a la protección actual, mientras que en los escenarios 2 y 3, equivalentes a un incremento de 10 y 20 por ciento respectivamente, la contribución es similar entre ellos pero supera ampliamente la del Subsistema, ya que se encuentra entre 0% y 153%. En cuanto al almacenamiento, la contribución del Subsistema se encuentra entre 101 y 304 millones de toneladas de CO2e, mientras que para los escenarios asociados al 10% y 20%, la contribución se encuentra entre 228 y 683 millones de toneladas de dióxido equivalente en cada caso.

Es así, como los escenarios 2 y 3 aportan de forma importante a la captura anual y el almacenamiento de carbono, y vale la pena decir que su contribución más que supera a la del Subsistema de Áreas Marinas propuesto por el INVEMAR. Esto, indica la existencia de un efecto positivo asociado al incremento de las áreas marinas protegidas sobre el servicio ecosistémico de captura y almacenamiento de carbono ofrecido por ecosistemas marinos y costeros, ya que las toneladas capturadas y acumuladas se incrementan de manera considerable. Sin embargo, la construcción de los escenarios de valoración implicó darle más prioridad a los ecosistemas de manglares y pastos marinos de forma que con el esquema de protección del 10% se incluyeron prácticamente todos los ecosistemas relevantes para la captura y almacenamiento de carbono. Es por esto que en el esquema de protección del 20% el aumento en las toneladas capturadas es muy pequeño si éste se compara con el alcanzado con el 10%.

Cuadro 6. Contribución de los tres escenarios a la mitigación de CO2

		Tasas de Captura (tCO2e/ha/yr)		Almacenamiento Total (tCO2e/ha)	
		Min	**Max**	**Min**	**Max**
Protección Actual	Manglares	12,212	2,252,657	202,121,031	439,663,641
	Pastos	-	625,677	6,200,913	8,337,086
	Subtotal	**12212.07**	**2,878,334**	**208,321,945**	**448,000,727**
Protección Subsistema	Manglares	5,955	1,098,415	98,555,965	236,233,008
	Pastos	-	1,611,740	3,023,619	68,238,699
	Subtotal	**5,955**	**2,710,155**	**101,579,584**	**304,471,707**
	Contribución	-	168,179	106,742,360	143,529,020
	% Contribución	0%	6%	51%	32%
	Actual + Subsistema		**5,588,490**	**309,901,529**	**752,472,435**
Protección 10%	Manglares	13,374	2,466,931	221,346,832	530,555,688
	Pastos	-	1,825,096	6,790,746	153,257,286
	Subtotal	**13,374**	**4,292,026**	**228,137,577**	**683,812,974**
	% Contribución	1	1	1	2
	% Contribución	0%	149%	110%	153%
	Actual +10%		**7,170,361**	**436,459,522**	**1,131,813,701**
Protección 20%	Manglares	13,374	2,466,931	221,346,832	530,555,688
	Pastos	-	1,887,540	6,790,746	153,257,286
	Subtotal	**13,374**	**4,354,471**	**228,137,577**	**683,812,974**
	% Contribución	1	2	1	2
	% Contribución	0%	151%	110%	153%
	Actual +20%	**0**	**7,232,805**	**436,459,522**	**1,131,813,701**

Fuente: Elaboración propia.

Además de estudiar en términos absolutos la contribución de cada escenario, resulta interesante examinar el efecto de éstos sobre los beneficios monetarios que la protección provista por los mismos podría traer para Colombia. Para ello, como se propone en la metodología, se trabaja sobre un mercado hipotético de emisiones que permita al país acceder a alguno de los tres escenarios de protección como un proyecto de reducción de emisiones, de tal forma que se le otorgara el derecho de obtener y negociar Certificados de Reducción de Emisiones (*CER*), y transarlos en el mercado internacional.

En el Cuadro 7 es posible observar el valor de los beneficios para el periodo 2013-2020, considerando tasas de degeneración equivalentes al 0.58% y 1.12% anual. Estos beneficios

fueron calculados a partir de la expresión planteada en la sección de métodos, y que corresponde a:

$$\pi_R = \sum_{t=0}^{T} \frac{C_R P}{(1+r)^t} + \frac{L_R P}{(1+r)^T}$$

Los resultados indican que a medida que las hectáreas protegidas aumentan, el valor presente de los beneficios también lo hace. Por ejemplo, dada una tasa de degeneración anual de 1.12% y un precio de 1.1 €/tCO_2e, los beneficios generados por los escenarios del 10% y 20% son más grandes que los del Subsistema para cualquier tasa de descuento, en más del doble del valor. Estos resultados ratifican el efecto positivo asociado al incremento de las hectáreas marinas protegidas que fue hallado en el análisis absoluto conducido anteriormente.

Cuadro 7. Beneficios en valor presente para el periodo 2013-2020 derivados de la captura y almacenamiento de carbono dadas diferentes tasas de degeneración y de descuento en los escenarios de protección del 10% y 20% (en Euros)

	Beneficios con Tasa degeneración = 0.58%					
Tasa desc.	**P = 1.1**			**P = 5.1**		
	Subsistema	**10%**	**20%**	**Subsistema**	**10%**	**20%**
4%	63,559,818	133,326,562	133,654,403	294,686,428	618,150,423	619,670,414
6%	54,742,698	114,813,936	115,096,903	253,807,053	532,319,160	533,631,094
9%	44,009,212	92,279,286	92,507,568	204,042,711	427,840,326	428,898,722
	Beneficios con Tasas degeneración = 1.12%					
Tasa desc.	**P = 1.1**			**P = 5.1**		
	Subsistema	**10%**	**20%**	**Subsistema**	**10%**	**20%**
4%	63,214,593	132,602,398	132,928,459	293,085,838	614,792,937	616,304,673
6%	54,445,363	114,190,324	114,471,754	252,428,500	529,427,867	530,732,676
9%	43,770,176	91,778,071	92,005,112	202,934,453	425,516,510	426,569,158

Fuente: Elaboración propia.

Sin embargo, la diferencia entre los beneficios de los escenarios asociados a 10% y 20% es muy pequeña, y se encuentra alrededor del 0.01%. La razón de ello, está relacionada con que las hectáreas de manglares y pastos marinos de los escenarios descritos, que son los

ecosistemas que capturan carbono, no aumentan en la misma proporción que la protección. Luego, el incremento en hectáreas protegidas a 20% no contribuiría a la captura y almacenamiento de carbono en la misma medida que lo haría un incremento del 10% en la protección, ya que las hectáreas de manglares y pastos marinos que estarían protegidos por las dos figuras son muy similares.

El valor presente de los beneficios hallados fue llevado a valor anual y se consideraron los escenarios asociados a las posibles respuestas mundiales al Protocolo de Kyoto como fue descrito anteriormente (Cuadro 8).

Cuadro 8. Valor anual de los beneficios esperados derivados de la captura y almacenamiento de carbono ante diferentes escenarios de negociaciones y diferentes esquemas de protección (en Euros)

Beneficios con Tasas degeneración = 0.58%				
Tasa descuento	**Escenario de protección**	**Alfa = 0.7**	**Alfa = 0.5**	**Alfa = 0.3**
4%	4.4% (Subsistema)	19,739,022	26,604,769	33,470,516
6%		18,432,497	24,843,800	31,255,103
9%		16,625,523	22,408,313	28,191,104
4%	10%	41,405,656	55,807,624	70,209,591
6%		38,659,175	52,105,844	65,552,514
9%		34,860,687	46,986,144	59,111,600
4%	20%	41,507,470	55,944,851	70,382,232
6%		38,754,453	52,234,262	65,714,072
9%		34,946,926	47,102,379	59,257,831
Beneficios con Tasa degeneración = 1.12%				
Tasa descuento	**Escenario de protección**	**Alfa = 0.7**	**Alfa = 0.5**	**Alfa = 0.3**
4%	4.4% (Subsistema)	19,631,810	26,460,265	33,288,721
6%		18,332,381	24,708,861	31,085,341
9%		16,535,221	22,286,603	28,037,984
4%	10%	41,180,761	55,504,504	69,828,248
6%		38,449,197	51,822,831	65,196,465
9%		34,671,341	46,730,938	58,790,535
4%	20%	41,282,022	55,640,986	69,999,951
6%		38,543,958	51,950,552	65,357,146
9%		34,757,112	46,846,542	58,935,972

Fuente: Elaboración propia

Los resultados indican que el valor anual de los beneficios esperados que incluyen el efecto de la incertidumbre asociada a las negociaciones del Protocolo, presentan un comportamiento similar al observado en el valor presente de los beneficios para el periodo estudiado. Dada una tasa de degeneración y una tasa de descuento, el valor anual de los beneficios esperados es mayor para los escenarios con protección del 10% y 20% que para el Subsistema de mínima protección, sin embargo la diferencia entre los dos primeros es muy pequeña como puede ser observado en el Cuadro 8.

Considerando lo anterior, los resultados parecen indicar que el aumento de hectáreas marinas sin un consecuente incremento de los ecosistemas que capturan y almacenan carbono, conduce a que el beneficio asociado a dicha protección sea muy similar para los escenarios del 10% y 20% Es decir, los beneficios asociado al servicio ecosistémico de captura y almacenamiento de carbono oceánico no se verán favorecidos de manera significativa al pasar de 10 a 20 por ciento de protección. Eso no implica que el aumento del nivel de protección del 10 al 20% no genere ningún beneficio; solo implica que para el caso de la captura de carbono por pastos marinos y manglares, el beneficio máximo ya se habría alcanzado con el 10% de protección. Claramente, en términos de otros servicios ecosistémicos este aumento sí generará beneficios adicionales.

5. Conclusiones

La implementación del Subsistema de Áreas Marinas Protegidas es una iniciativa del Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR), junto con el Ministerio de Medio Ambiente y varias instituciones más, que busca ampliar y consolidar el actual Sistema de Áreas Marinas Protegidas existente en Colombia. La valoración económica de los servicios que proveen los ecosistemas que lo conforman se configura como un requisito fundamental para su implementación, especialmente para aquellos servicios que por no ser directamente observables, como es el caso de aquellos asociados a valores de uso indirecto, son frecuentemente ignorados.

Este documento se ha enfocado en presentar la metodología y los resultados asociados a la valoración económica del servicio ecosistémico de captura y almacenamiento de carbono

oceánico (Blue Carbon) provisto por el Subsistema de Áreas Marinas Protegidas. A partir de la metodología propuesta se determinó la contribución del Subsistema a la mitigación de GEI, específicamente CO_2, y una función de beneficios que al incluir tanto elementos económicos como biológicos, permite determinar el valor monetario asociado a este servicio de regulación provisto por ecosistemas de tipo marino y costero, como manglares y pastos marinos.

Los resultados indican que la contribución del Subsistema a la mitigación de GEI es importante respecto a las emisiones que algunos sectores económicos del país han exhibido en los últimos años (IAvH, IDEAM, IIAP, INVEMAR, & SINCHI, 2011). De acuerdo a las estimaciones realizadas, y considerando el escenario de mínima protección (que alcanzaría el 4.4% de la superficie marina), las tasas de captura de carbono anuales, que se consideran estables por encontrarse protegidas, se incrementarían entre 49% y 94% respecto al esquema de protección actual, mientras que el almacenamiento total, que se considera también estable, aumentaría entre 49% y 68%. Estas cifras no son despreciables, pues indican que la capacidad de secuestro de GEI que se conservaría, gracias a la implementación del Subsistema, aumentaría a valores entre 18 mil y 5 millones de Mg de CO_2e por año, que comparados con los más de 20 millones de $MgCO_2$e reducidos anualmente en Colombia por los proyectos MDL equivaldrían a aproximadamente al 27% (Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2011). Así mismo, el almacenamiento marino total protegido, producto de la nueva red de áreas marinas, estaría entre 309 y 752 millones de Mega gramos de CO_2e, es decir un 25% más $MgCO_2$e almacenados que lo que fue emitido por el sector de procesos industriales en el año 2008 (IAvH, et al., 2011). Escenarios de protección del 10 y del 20 por ciento de la superficie marina duplican estos valores.

En este documento, las posibles respuestas mundiales frente a las negociaciones post Kyoto se resumieron en tres alternativas: (i) se retiran algunos países del Protocolo, (ii) se ratifica el Protocolo bajo las mismas condiciones actuales y (iii) sigue sin definirse el futuro del Protocolo. Teniendo en cuenta estas respuestas, y otros aspectos del mercado de carbono, se asignó un valor de probabilidad a la realización de precios bajos o precios altos de los CER. De esta forma, dadas diferentes tasas de pérdida, tasas de descuento inter-temporal y estimaciones del precio futuro del carbono, se halló el valor anual de los beneficios esperados, que se encontraron entre 16 y 33 millones de euros para el periodo de valoración elegido, en este caso de ocho años (2013-2020). Estos resultados son alentadores y dan luces acerca de los

incentivos económicos que se podrían generar en cuanto a la protección y conservación de los ecosistemas marinos y costeros por parte de los hacedores de políticas medio ambientales, ya que equivalen entre 20% y 36% de los ingresos obtenidos por la venta de los CER de proyectos colombianos entre 2007 y 2010 (Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2011).

De nuevo, escenarios de conservación más ambiciosos, como llegar al 10 o al 20 por ciento de protección de la superficie marina, incrementan estos valores en aproximadamente un 100%. Sin embargo, dada la construcción de prioridades de conservación, en el escenario de protección del 10%, prácticamente todas las áreas relevantes en pastos marinos y manglares (ecosistemas usados en este estudio para el cálculo de la captura) estarían cubiertos por las figuras de protección. Es por esto que en el escenario de protección del 20% el aporte adicional en términos de captura de carbono es muy bajo, lo cual no implica que lograr este nivel de protección no genere otros beneficios no incluidos en este estudio, como se discute en Maldonado et al. (2013).

Los resultados encontrados se apoyan en iniciativas de política ambiental lideradas por el gobierno colombiano, como el CONPES 3700 y la ECDBC. Además, son pertinentes para un país como el nuestro, altamente vulnerable ante los efectos del cambio climático, y que paulatinamente empieza a ser consciente de las dimensiones sociales y económicas de este problema, tratando de identificar su potencial de mitigación de emisiones y de aprovechar oportunidades derivadas de la voluntad internacional para destinar recursos que financien proyectos de adaptación a las consecuencias del cambio climático y a la mitigación de GEI (CONPES-3700, 2011).

Considerando la incertidumbre actual respecto a las negociaciones del Protocolo de Kyoto y la alta volatilidad y bajo nivel de los precios del carbono, los resultados que otorga este documento no sólo son una herramienta valiosa para resaltar el papel que estos ecosistemas juegan en la mitigación del cambio climático sino también para mostrar que la conservación de los manglares y pastos marinos puede ser atractiva en términos económicos.

El ejercicio de valoración realizado en este trabajo sugiere que la extensión del Subsistema de áreas marinas protegidas es necesaria y fundamental para el estado colombiano, ya que: en primer lugar las AMP's prestan un servicio ambiental que no solo protege la diversidad biológica del país, tan valorada a nivel global, sino que tiene efectos positivos sobre el bienestar

de la región y del mundo a través del fortalecimiento indirecto de las estrategias de adaptación y mitigación del Cambio Climático; en segundo lugar, la protección de éstas áreas, más allá del valor intrínseco que puedan representar sus servicios ecosistémicos, puede implicar rentas económicas adicionales para el estado colombiano a través de una posible inclusión de éstos servicios dentro de las iniciativas internacionales; y en tercer lugar, la incorporación de nuevas áreas a la red de AMP's rectificaría el compromiso del estado colombiano frente a los efectos negativos del cambio climático, además de enviar una señal clara a los hacedores de política internacional respecto a la importancia de éste tipo de figuras de conservación para el desarrollo sostenible de economías como la nuestra. De esta forma, este trabajo busca poner en las agendas de discusión ambiental el tema de los ecosistemas marinos, que históricamente en nuestro país han sido subestimados y poco valorados.

Una de las mayores limitaciones de este trabajo es la información disponible respecto a las características biológicas de los ecosistemas presentes en el país. Las estimaciones acerca de la captura y almacenamiento de carbono fueron realizadas con base en censos biológicos alrededor del mundo, que probablemente no permiten capturar de manera detallada el comportamiento específico de las especies o ecosistemas de nuestro país. Además, esta investigación se realizó suponiendo el reconocimiento del *Blue Carbon* dentro de las negociaciones e iniciativas mundiales de carbono. Así mismo, se supone que el proyecto de ampliación de la red de áreas marinas podría ser evaluado y registrado dentro del MDL. Sin embargo, ni el primer ni el segundo supuestos se cumplen y según información reciente están lejos de ser una realidad, por lo que se usan principalmente como una aproximación hipotética.

Otra limitación importante tiene que ver con el cálculo de los beneficios netos, debido a que no fue posible obtener información precisa acerca de los costos de implementación, de mantenimiento y de oportunidad de la conservación del Subsistema de AMPs. Por otro lado, el análisis de los beneficios no consideró elementos como la inflación y los efectos de la tasa de cambio del peso respecto al dólar y al euro sobre el flujo de beneficios esperados.

Adicional a lo anterior, los problemas que en los últimos años ha tenido que enfrentar el Protocolo de Kyoto, debido entre otras cosas a la crisis financiera internacional (2008-2009) y a la incapacidad de los compromisos de los países firmantes para reducir emisiones de manera efectiva, han generado desconfianza en este mercado. De esta forma, los resultados obtenidos

a través del ejercicio de valoración propuesto en este documento podrían variar en alguna medida al considerar dichos elementos.

Por otro lado, respecto a la inclusión del área total de manglares y pastos marinos del Subsistema en la valoración del carbono oceánico, inicialmente se podría pensar que con ello se estaría sobrevalorando el beneficio provisto por estos ecosistemas, pues actualmente prestan sus servicios independientemente de la figura de protección existente. Sin embargo, el marco bajo el cual se encuentran incluidos los servicios de estos ecosistemas en la metodología propuesta supone que para poder entrar a negociar en el mercado de emisiones hipotético, debe existir algún proyecto de reducción de emisiones, en este caso la figura de protección representada por el Subsistema. Es decir, que si las áreas que actualmente prestan sus servicios de captura y almacenamiento no se quisieran proteger, no podrían clasificar como proyectos aceptados dentro de mecanismos de mercado, por lo que no sería posible obtener los beneficios esperados planteados bajo la metodología propuesta en este documento.

Las activas negociaciones realizadas dentro del ámbito internacional para incluir las iniciativas REDD y REDD+ dentro del portafolio de proyectos regulados, deben ser seguidas cuidadosamente. La posible aprobación de dichas iniciativas, conduciría a la competencia de éstos créditos con los CER, y por ende podría afectar las dinámicas de precios dentro del mercado regulado, como ha ocurrido con el aumento de la oferta de los EUA, lo que obligaría probablemente a ajustar el ejercicio de valoración realizado en este estudio, pero a la vez abriría nuevas posibilidades para el mercado del carbono oceánico.

Otro aspecto que hay que considerar, es que a pesar de la debilidad de los mercados internacionales de carbono, tanto países desarrollados como en desarrollo están integrando iniciativas de fijación de precios de carbono. Actualmente, hay varios regímenes de comercio regionales e impuestos de carbono que están en marcha, mientras que nuevos mecanismos de fijación de precios están en etapa de desarrollo (Carbon Finance, 2012). Algunos países están alojando proyectos piloto para el desarrollo de nuevos mecanismos de mercado, entre ellos están: *NSW Greenhouse Gas Abatement Scheme* de Australia, la *Regional GHG Initiative* (RGGI), *Cap-and-Trade System* de Quebec, y *Western Climate Initiative* de California, Estados Unidos (Carbon Finance, 2012). Asimismo, el Banco Mundial sigue fortaleciendo sus iniciativas post-2012 buscando asegurar recursos e incentivos adicionales al Protocolo de Kyoto para proveer apoyo técnico y financiero y ayudar a los países a explorar e implementar elementos que

favorezcan la mitigación de GEI, incluyendo mecanismos de fijación de precios domésticos, nuevos instrumentos de créditos de carbono, e impuestos de carbono. Entre estas iniciativas se destacan: *Forest Carbon Partnership* (FCP), *The Carbon Partnership Facility* (CPF), *The Partnership for Markets Readiness* (PMR) y el *BioCarbon Fund(Carbon Finance, 2013).*

Finalmente, información más precisa y sofisticada acerca de las dinámicas y ciclos de vida de los ecosistemas que capturan y almacenan carbono para Colombia, podrían enriquecer este tipo de valoraciones. Para ello es necesario coordinar esfuerzos con otras disciplinas, de tal forma que sea posible obtener información relevante sobre otros ecosistemas y cambios dependiendo de las latitudes y condiciones particulares. Así mismo, considerar otros posibles mercados de carbono, como los indicados anteriormente, en los que puedan existir oportunidades para un proyecto como el Subsistema de AMPs podría beneficiar y mejorar los alcances de esta valoración al crear escenarios en los que sea posible comparar los resultados de cada mercado, buscando analizar la opción que mejor se ajuste a las necesidades del país.

6. Agradecimientos

Queremos reconocer el apoyo de varias personas e instituciones que aportaron de forma importante al desarrollo de este trabajo. Sin seguir ningún orden en especial, ellas son:

A Americas Business Council, financiador del proyecto, quienes en conjunto con National Geographic, vislumbraron y apoyaron la idea de desarrollar estos ejercicios.

Al Centro de Estudios sobre Desarrollo Económico –CEDE- y la Facultad de Economía de la Universidad de los Andes, y a Ana María Ibañez, exdirectora del CEDE y actual decana de la Facultad, por su soporte a este proceso y al trabajo en temas ambientales, así como por el apoyo logístico, administrativo y organizativo para hacer posible la ejecución de este estudio.

Al Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras, INVEMAR, quienes nos apoyaron con el suministro de información, de mapas, de información geo-referenciada para diferentes componentes de este proyecto. Adicionalmente, firmamos un convenio para unir esfuerzos de manera que se pudiera ampliar la muestra de las encuestas y se incluyeran preguntas de percepción en las mismas.

A Nicolás Pascal, asesor de este proyecto, quien paciente y diligentemente apoyó diferentes etapas del proceso de construcción del mismo.

A la Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales, UAESPNN, quienes nos ofrecieron su apoyo en las diferentes etapas del proyecto y han manifestado su especial interés por interactuar con el mismo para garantizar su validación.

A los participantes en las reuniones de diseminación del grupo de trabajo GEMAR, donde presentamos y discutimos avances de los proyectos y recibimos importantes insumos y retroalimentación para los diferentes componentes del proyecto. Se incluyen allí varios miembros de Conservación Internacional, INCODER, UAESPNN, Universidad Distrital, Universidad Nacional, Universidad de los Andes, Ministerio de Agricultura, entre otros.

7. Referencias

Alongi, D. M. (2002). Present state and future of the world's mangrove forests. *Environmental Conservation, 29*(03), 331-349. doi: doi:10.1017/S0376892902000231

BlueNext. (2012). BNS CER Stats. In BlueNext (Ed.).

Bowen, A. (2011). The Case for Carbon Pricing. *Policy Brief*: Climate Change and the Environment & Centre for Climate Change Economics and Policy.

Boyle, K., & Bishop, R. (1985). Total Value of Wildlife Resources: Conceptual and Empirical Issues *AERE Workshop on Recreation Demand Modeling*. Boulder, Colorado: The Association of Environmental and Resource Economists.

Buen, J. (2013). CDM Criticisms: Don't Throw the Baby out with the Bathwater *FNI Climate Policy Perspectives 8*: Fridtjof Nansen Institute (FNI)

Camargo, C., Maldonado, J., Alvarado, E., Moreno-Sánchez, R., Mendoza, S., Manrique, N., . . . Sánchez, J. (2009). Community involvement in management for maintaining coral reef resilience and biodiversity in southern Caribbean marine protected areas. *Biodiversity and Conservation, 18*(4), 935-956. doi: 10.1007/s10531-008-9555-5

Carbon Finance. (2012). Carbon Finance for Sustainable Development *2012 Annual Report*. Washington DC: World Bank.

Carbon Finance. (2013). Mapping Carbon Pricing Initiatives 2013: Developments and Prospects (Ehsan Masood ed.). Washington DC: World Bank.

Casas-Monroy, O. (2000). Estado de los manglares en Colombia año 2000. Santa Marta: INVEMAR.

CDB, & UNEP. (2004). The Convention on Biological Diversity From Conception to Implementation (pp. 39): CDB.

CDM Policy Dialogue. (2012). Climate Change, Carbon Markets and the CDM: A Call to Action. Luxemburgo.

CI, GCRMN, & NOAA. (2008). Socioeconomic Conditions Along the World`s Tropical Coasts: 2008 (pp. 56).

CONPES-3700. (2011). *ESTRATEGIA INSTITUCIONAL PARA LA ARTICULACIÓN DE POLÍTICAS Y ACCIONES EN MATERIA DE CAMBIO CLIMÁTICO EN COLOMBIA*. Bogotá, D.C.

Durán, C. (2009). Gobernanza en los Parques Nacionales Naturales colombianos: reflexiones a partir del caso de la comunidad Orika y su participación en la conservación del Parque Nacional Natural Corales del Rosario y San Bernardo. *Revista de Estudios Sociales, 32*, 60-73.

FAMA, E. (1965). The Behavior of Stock-Market Prices. *The Journal of Business, 38*(1), 34-105.

FAO. (2007). The World's Mangroves 1980-2005. Rome.

FAO. (2010). Carbon Finance Possibilities for Agriculture, Forestry and Other Land Use Projects in a Smallholder Context. Roma.

Gohar, L. K., & Shine, K. P. (2007). Equivalent CO2 and its use in understanding the climate effects of increased greenhouse gas concentrations. *Weather, 62*(11), 307-311. doi: 10.1002/wea.103

Harrison, M. (2010). Valuing the Future: the Social Discount Rate in Cost-Benefit Analysis. *Visiting Researcher Paper, Productivity Comissión, Camberra*.

IAvH, IDEAM, IIAP, INVEMAR, & SINCHI. (2011). Informe del Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables 2010 (pp. 384). Bogotá D.C., Colombia: Instituto de Hidrología, Metereología y Estudios Ambientales-IDEAM.

INVEMAR, UAESPNN, & TNC. (2008a). Análisis de vacíos y propuesta del sistema representativo de áreas marinas protegidas para Colombia. In D. Alonso, L. Ramírez, C. Segura-Quintero & P. Castillo-Torres (Eds.), (pp. 64+anexos). Santa Marta, Colombia.

INVEMAR, UAESPNN, & TNC. (2008b). Plan de acción para la creación del Subsistema Nacional de áreas marinas protegidas de Colombia. Informe Técnico Final. In D. Alonso & L. Ramírez (Eds.), (pp. 28). Santa Marta, Colombia.

IPCC. (2007). Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In S. D. Solomon, M. Qin, Z. Manning, M. Chen, K. B. Marquis, M. Averyt, Tignor & H. L. Miller (Eds.), (pp. 996). Cambridge, United Kingdom and New York, USA.

IUCN, TNC, & World Bank. (2004). How Much is an Ecosystem Worth? Assessing the Economic Value of Conservation (pp. 48). Washington, DC.

Jenkins, W. A., Murray, B. C., Kramer, R. A., & Faulkner, S. P. (2010). Valuing ecosystem services from wetlands restoration in the Mississippi Alluvial Valley. *Ecological Economics, 69*(5), 1051-1061. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.11.022

López, H. (2008). The Social Discount Rate: Estimates for Nine Developing Coutries: The World Bank, Policy Research Working Paper.

Maldonado, J.H., Moreno-Sánchez, R.P., Zárate, T.G., Barrera, C.A., Cuervo, R., Gutiérrez, C.A., Montañez, A.M., Rubio, M. (2013). "Valoración económica del subsistema de Áreas Marinas Protegidas en Colombia: un análisis para formuladores de política desde un enfoque multi-servicios y multi-agentes". Documento CEDE 2013-52, Uniandes, Bogotá.

Millennium Ecosystem Assessment, MEA. 2005. Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis. Island Press, Washington DC.

Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2011). Información sobre el MDL en Colombia, 2013, from http://www.minambiente.gov.co/contenido/contenido_imprimir.aspx?catID=829&conID=3046&pagID=2806

Murray, Pendleton, Jenkins, & Sifleet. (2011). Green Payments for Blue Carbon Economic Incentives for Protecting Threatened Coastal Habitats (pp. 50): Nicholas Institute for Eviromental Policy Solutions.

Nellemann, C., Corcoran, E., Duarte, C. M., Valdés, L., De Young, C., Fonseca, L., & Grimsditch, G. (2009). Blue Carbon. A Rapid Response Assessment: United Nations Environment Programme, GRID-Arendal.

Ong Jin, E. (1993). Mangroves - a carbon source and sink. *Chemosphere, 27*(6), 1097-1107. doi: 10.1016/0045-6535(93)90070-l

Parker, C., Mitchell, A., Trivedi, M., & Mardas, N. (2009). *The Little REDD+ Book*. Oxford: Global Canopy Foundation.

Pendleton, L., Donato, D. C., Murray, B. C., Crooks, S., Jenkins, W. A., Sifleet, S., . . . Baldera, A. (2012). Estimating Global "Blue Carbon" Emissions from Conversion and Degradation of Vegetated Coastal Ecosystems. *PLoS ONE, 7*(9), e43542. doi: 10.1371/journal.pone.0043542

Price, R., Simeon, T., & Stephen, N. (2007). The Social Cost of Carbon and the Shadow Price of Carbon: Defra.

Roberts, C. M., McClean, C. J., Veron, J. E. N., Hawkins, J. P., Allen, G. R., McAllister, D. E., . . . Werner, T. B. (2002). Marine Biodiversity Hotspots and Conservation Priorities for Tropical Reefs. *Science, 295*(5558), 1280-1284. doi: 10.1126/science.1067728

Sifleet, Pendleton, L., & Murray, B. (2011). State of the Science on Coastal Blue Carbon. A Summary for Policy Makers (pp. 50): Nicholas Institute for Environmental Policy Solutions.

Suzuki, A., & Kawahata, H. (2004). Reef Water CO2 System and Carbon Production of Coral Reefs: Topographic Control of System-Level Performance. In M. Shiyomi, H. Kawahata, H. Koizumi, A. Tsuda & Y. Awaya (Eds.), (pp. 229-248): Global Enviromental Change in The Ocean Land.

UNEP-WCMC. (2006). In the fron line: shoreline protection and other ecosystems services from mangroves and coral reefs (pp. 33). Cambridge, UK.

UNEP-WCMC. (2008). National and Regional Networks of Marine Protected Areas: A Review of Progress. Cambridge: UNEP-WCMC.

UNEP. (2011). The Other 70%: UNEP Marine and Coastal Strategy (pp. 16). Kenya: UNEP.

UNFCCC. (1992). Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático: United Nations.

Valiela, I., Bowen, J. L., & York, J. K. (2001). Mangrove Forests: One of the World's Threatened Major Tropical Environments. *BioScience, 51*(10), 807-815.