

# ROL DE LOS BIOSISTEMAS FORESTALES EN EL DESARROLLO DENTRO DE UN MARCO DE CAMBIO CLIMÁTICO

*Sergio Andrés Molina-Murillo  
Carlos Rojas Alvarado*

## Resumen

En este artículo introducimos el concepto de biosistema forestal como un elemento integrador para el análisis del desarrollo en el marco del cambio climático. En particular analizamos el papel relevante que cumplen los biosistemas forestales para la adaptación y mitigación a la variabilidad y el cambio climático, y su potencial para el desarrollo integral de las comunidades rurales en Costa Rica. Tal discusión la hacemos considerando la Estrategia Nacional de Cambio Climático y el mecanismo internacional de financiamiento REDD+. Finalmente discutimos la importancia de mejorar sustancialmente la gobernanza e integración entre la academia, la industria y el gobierno para beneficiar la sociedad, particularmente la más vulnerable a nivel socio-económico y climático. La academia, y en particular las disciplinas de ingeniería agrícola e ingeniería forestal concomitantemente pueden aportar, desde este nuevo enfoque, a la conservación, manejo y desarrollo de los biosistemas forestales en el marco del cambio climático.

**Palabras clave:** Adaptación, bosques, cambio climático, carbono neutral, Costa Rica, mitigación.

## Abstract

In this review we introduce the concept of forest biosystem as an integrative element for the analysis of development within the framework of climate change. In particular we analyze the relevant role of forest biosystems for mitigation and adaptation to variability and changing climates as well as their potential for the integrated development of rural communities in Costa Rica. Such discussion is made in the framework of the Climate Change National Strategy and the international financing mechanism known as REDD+. Finally, we discuss the importance of substantially improving the governance and integration of the academy-industry-government system in order to benefit society, particularly those most vulnerable at the socioeconomic and climatic levels. The academy, through the disciplines of forestry and agricultural engineering, can certainly improve the conservation, management and development of forest biosystems from a modern and more integrated climate change perspective.

**Keywords:** Adaptation, climate change, carbon neutral, forests, Costa Rica, mitigation.

**Recibido:** 17 de febrero del 2015

**Aprobado:** 4 de marzo del 2015

## 1. INTRODUCCIÓN

Desde la divulgación de los datos obtenidos por Charles Keeling en el observatorio de Mauna Loa a principios de los años 60 (Harris 2010) se ha generado una cantidad importante de información sobre el incremento en los niveles de dióxido de carbono atmosférico. Al igual que en ese caso, el incremento de otros gases generadores del efecto invernadero también han sido objeto detallado

de estudio (Clarke *et al*, 2007). El efecto más importante de este proceso de documentación ha sido quizás la inclusión de la dinámica de gases antropogénicamente emitidos en agendas sociopolíticas a partir de información adquirida de forma empírica por científicos de todo el planeta.

Lo anterior se ha visto reflejado en la creación del Panel Intergubernamental del Cambio Climático en 1988 (IPCC en inglés), la firma de la Convención Marco de las Naciones



Unidas sobre Cambio Climático en 1992 y la generación del Protocolo de Kioto en 1997. Estos importantes acuerdos internacionales han potenciado el desarrollo de la investigación y el interés general por el tema. De esta forma, la documentación y calidad de la información ha crecido rápidamente en las últimas décadas. Por ejemplo, en una búsqueda rápida de artículos científicos que incluyen la frase “climate change” (cambio climático en inglés) en la base de datos de Google Scholar para el periodo 1984-2014, se observa que el número de registros positivos sobre el tema ganó popularidad tras la consolidación de las iniciativas mencionadas y recientemente ha tenido un pico entre los años 2009 y 2011 después de importante eventos meteorológicos como el huracán Kathrina, y la premiación nobel de la paz al IPCC y Al Gore por su película Una verdad incómoda (Figura 1).

Dentro de este movimiento de popularidad alrededor del cambio climático, los biosistemas forestales juegan un papel muy importante

dado su rol como reservorios de carbono, como mitigadores de la generación de gases del efecto invernadero, y como fuentes de diversidad genética. Por ello, una línea importante de la investigación moderna se ha centrado en la valoración de los biosistemas forestales como elementos amortiguadores del efecto del cambio climático sobre las actividades humanas (e.g., Soares-Filho *et al.*, 2010). De la misma forma, la generación de información base sobre los biosistemas forestales naturales, los plantados y las prácticas de aforestación y reforestación han permitido un crecimiento integrado del conocimiento sobre la relación entre cambio climático y el manejo forestal (Bonan 2008).

En este contexto de trabajo, es casi imposible hacer investigación moderna sobre recursos forestales sin pensar en el componente relacional con fenómenos globales y sociedad. De la misma forma, es inadecuado pensar en el bosque sin considerar las fuerzas generadoras y de soporte del mismo. Por estas razones, el objetivo de este

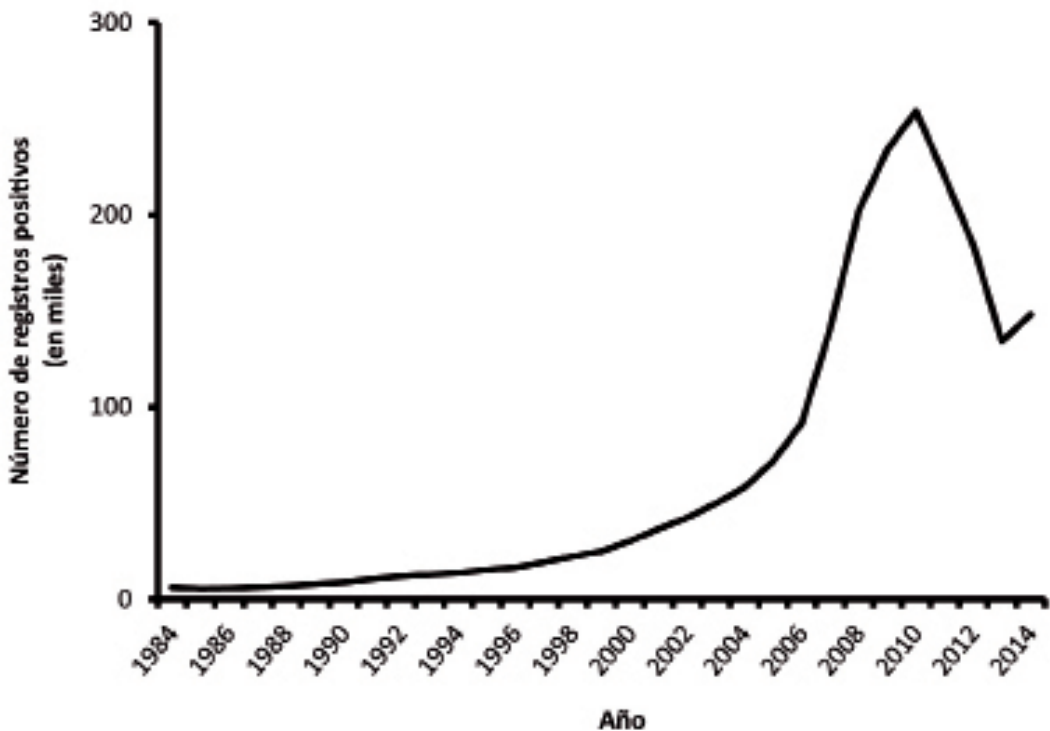


Figura 1. Número de registros positivos ante la frase “climate change” en la base de datos de Google Scholar para el periodo comprendido entre 1984-2014

artículo es introducir el concepto de biosistema forestal como un elemento integrador para el análisis del desarrollo en el marco del cambio climático. En los siguientes apartados analizamos el papel relevante que cumplen los biosistemas forestales para la adaptación y mitigación a la variabilidad y el cambio climático, y su potencial para el desarrollo de las comunidades rurales. Además, discutimos la importancia de mejorar sustancialmente la gobernanza entre la academia, la industria, y el gobierno para beneficiar la sociedad, particularmente la más vulnerable a nivel socio-económico y climático.

## 1. BIOSISTEMAS, ECOSISTEMAS Y BOSQUES

De acuerdo a Odum y Barret (2004) un biosistema es un objeto complejo de componentes bióticos y abióticos relacionados conceptual o materialmente. De esta forma, un biosistema puede involucrar cualquier nivel de organización de la vida, lo cual incluye los sistemas ecológicos o ecosistemas. Así, la diferencia entre un biosistema y un ecosistema, es que el primero puede referirse a un sistema de organización hereditaria como el genoma o a un sistema de evolución adaptativa como la expresión genética, mientras que el segundo parte del nivel de organismo como unidad biótica base.

En este sentido, un biosistema forestal es aquel sistema que involucra los recursos forestales como agentes abióticos dentro de los cuales se enmarca el sistema biológico. De esta forma, por ejemplo, un biosistema forestal se adscribe a los ambientes terrestres y no a ambientes marinos o atmosféricos. Por su parte, un ecosistema forestal es el equivalente al anterior pero a nivel de sistema ecológico. La diferencia entre los dos anteriores y el término bosque es que éste último se utiliza de forma más común para referirse a un área definida donde hay una densidad alta de árboles pero no necesariamente incluye un sistema biológico *sensu lato*. Podríamos decir entonces, que un bosque está contenido dentro del concepto de ecosistema forestal y que éste último es un tipo de biosistema forestal (Figura 2).

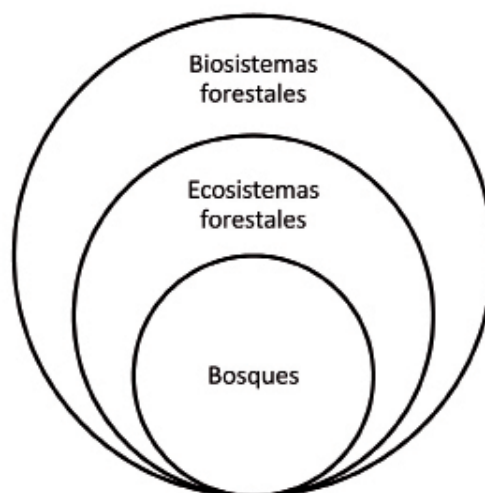


Figura 2. Relación conceptual entre bosques, ecosistemas y biosistemas forestales

## 2. MANEJO DE BIOSISTEMAS FORESTALES

Uno de los puntos clave cuando se habla de un biosistema forestal tiene que ver con la relación entre éste y nuestra especie. Es innegable que al haber surgido el *Homo sapiens* en un contexto de biosistemas terrestres, nuestra relación con los mismos es tan fuerte como nuestra relación con otras especies en el planeta. De esta forma, cuando hablamos de manejo de biosistemas forestales, en realidad estamos refiriéndonos a un sistema de interacción que existe desde que nuestra especie está presente.

A pesar de lo anterior, es quizás en la Europa del siglo XIX (Holmes, 1975 y Wiersum 1995) que las prácticas modernas de manejo forestal se popularizaron a partir de una visión académica de respaldo. Sin embargo, al igual que con otros recursos naturales, desde entonces ha existido un debate sobre la forma más adecuada de interactuar con estos elementos. En el caso de los biosistemas forestales, uno de los puntos clave del desarrollo de políticas de manejo e investigación ha estado relacionado con el debate cornucopiano-ambientalista y neomaltusiano donde por un lado la perspectiva cornucopiana sugiere que los recursos naturales no escasean debido a la habilidad de la sociedad para adaptarse, y por el otro lado los neomaltusian-

nos, que advierten sobre límites en los recursos disponibles para el crecimiento -agravados por la contaminación y degradación de los biosistemas (Chenoweth & Feitelson, 2005). La posición moderna de la mayoría de los académicos alrededor del mundo es que los recursos forestales son finitos, y por tanto debe de existir algún tipo de intervención tanto en la forma como interactuamos con estos recursos así como nuestra visión sobre los mismos. Por lo tanto, las ideas maltusianas, pero no necesariamente las ambientalistas extremas, son las que mueven el eje central de la ciencia enfocada en sostenibilidad.

En todo caso, la visión moderna de manejo de biosistemas forestales incluye elementos integradores de otras disciplinas como la economía, las ciencias sociales y la biología. Así, el modo como se recomienda la ejecución del manejo en la actualidad ha pasado, desde hace algún tiempo, de tener un eje puramente ingenieril a ser una práctica de trabajo multidisciplinaria (Kimmins, 2003). En el caso del manejo de sistemas en un contexto de cambio climático, esta práctica es aun más evidente (e.g., McDaniels, Mills, Gregory & Ohlson, 2012).

El problema de lo anterior es que en el caso de muchas sociedades, todavía no existe un nivel adecuado de interiorización de los elementos básicos sobre los fenómenos globales que afectan al planeta y nuestra especie. Por ello, todavía en tiempos modernos se requiere de esfuerzos sistemáticos de bioalfabetización alrededor del mundo. Por ejemplo, en algunos países de nuestra región todavía se requiere de un trabajo fuerte de alfabetización temática sobre cambio climático para lograr que el tema sea de dominio popular (Molina-Murillo, 2013). El tópico es aún más evidente cuando el tema se centra en el manejo de los recursos forestales ya que en algunos contextos, el escepticismo sigue siendo enorme (Guariguata, Locatelli & Haupt, 2012).

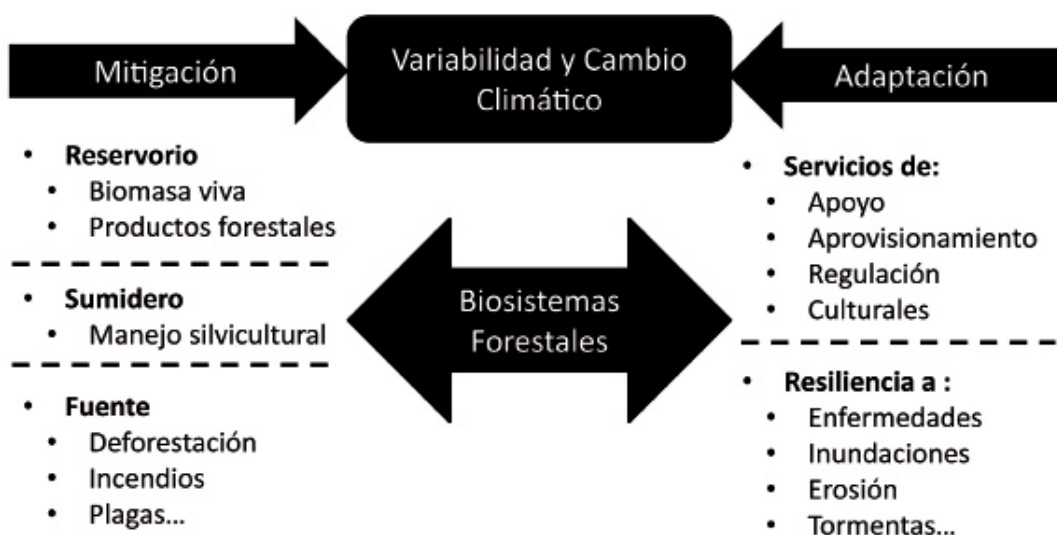
### **3. MITIGACIÓN Y ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO**

De acuerdo al IPCC (2007), la mitigación del cambio climático consiste en disminuir la intensidad del forzante radiativo, ocasionado por gases de efecto invernadero (GEI), con el fin

de reducir los efectos del calentamiento global. Estas reducciones se pueden lograr mediante la reducción de las fuentes emisoras o aumentando el almacenamiento de los GEI, y así evitando que sean liberados a la atmósfera. Los biosistemas forestales resultan ser una fuente emisora cuando ocurren procesos de deforestación, sobreuso o degradación, generando aproximadamente el 17% del total global de emisiones GEI (IPCC, 2007). En el 2010 se estimó que cerca del 31% del terreno del mundo estaba cubierto por bosques, correspondiente a un poco más de 4 mil millones de hectáreas. Desafortunadamente el cambio neto en el área de bosque en el periodo entre el año 2000 y 2010 fue estimado en -5.2 millones de hectáreas por año (Food and Agricultural Organization (FAO), 2011).

Por otra parte, los biosistemas forestales tienen también un gran potencial mitigador al cambio climático, ya que siendo sumideros de carbono, lo absorben o lo liberan de la atmósfera, a través de la fotosíntesis, para fijarlo en su biomasa o en el suelo. Según la FAO (2013), actualmente cerca de la mitad del carbono terrestre está almacenada en estos sistemas y sus suelos, y pueden además absorber cerca del 10 por ciento de las emisiones globales anuales de GEI (FAO, 2010). Este efecto mitigador de los biosistemas forestales se puede lograr principalmente a través de dos maneras. Primero, a través de la conservación de los biosistemas forestales actuales por medio de la protección, del manejo y aprovechamiento sostenible, la prevención de incendios, y la gestión de zonas protegidas. Segundo, aumentando la cobertura forestal mediante actividades de reforestación, aforestación, restauración de zonas altamente degradadas, regeneración natural, o siembra de árboles en combinación con sistemas agrícolas (agroforestales), ganaderos (silvopastoriles), o en esfuerzos de mejora paisajística urbana o rural. Se espera que para el final del presente siglo, las emisiones relacionadas con la agricultura, forestería, y otros usos del suelo (AFOLU, por sus siglas en inglés) se vean reducidas significativamente y con posibilidades de convertirse en un sumidero neto (IPCC, 2014).

Para lograr estos objetivos de conservación e incremento de los biosistemas forestales se requieren esfuerzos en frentes variados a nivel



**Figura 3.** Rol de los biosistemas forestales en los procesos de mitigación y adaptación a la variabilidad y cambio climático.

institucional, técnico, social, financiero y de mercado. Uno de estos, que muchas veces no ha recibido la importancia requerida, es la utilización de madera, que como material de construcción o de mueblería, permite de forma efectiva remover carbono de la atmósfera, inclusive en productos forestales de corta duración como papel o cartón. Se estima que por cada metro cúbico utilizado de madera, 0.9 toneladas de CO<sub>2</sub> son almacenadas de forma estable por largos periodos (Reid *et al.*, 2004). Si además los productos maderables substituyen otros materiales que poseen una huella de carbono más intensa como concreto, hierro, aluminio, o plástico, se podrían evitar en promedio entre 0.7 y 1.1 ton de CO<sub>2</sub> por cada metro cúbico de madera utilizada dependiendo del sistema forestal, su procedencia, y desde luego, las especies (Watson *et al.*, 2000; Edinburgh Centre for Carbon Management, 2004; Reid et al. 2004, Upton, Miner, Spinney & Heath, 2008; CEI Bois, 2009). En España por ejemplo, se estimó que la fabricación de ventanas de madera involucra una emisión de solamente un 2.2 % o un 3.5 % comparado con las emisiones producidas en la elaboración de ventanas de aluminio o PVC, respectivamente (Lizarralde, Broto y Rodríguez, 2009).

Además de su potencial mitigador, los biosistemas forestales cumplen un rol muchas veces inadvertido de adaptación para especies

-incluido el ser humano- con relación a los efectos del clima (Figura 3). Por ejemplo, en el año 2014 se documentó por primera vez la migración masiva más lejana de especies de cebras africanas observada en la historia hacia zonas con características biosistémicas más adecuadas para su existencia (Naidoo *et al.*, 2014). Este proceso de ajuste para enfrentar los efectos climáticos actuales o esperados se conoce como adaptación al cambio climático.

A través de la adaptación se espera crear sistemas de desarrollo humano más resilientes, es decir, con capacidad para enfrentar y responder los efectos climáticos manteniendo su función, identidad y estructura esencial. Los biosistemas forestales mismos también requerirán adaptarse a los efectos de las futuras condiciones climáticas en aspectos como disponibilidad de agua o carbono, enfermedades, o incendios; condición que puede ser facilitada por intervenciones humanas, a través de reducciones de emisiones GEI de otras fuentes o más directamente a través del manejo forestal. De manera recíproca, nuestra especie ve facilitada su capacidad de adaptación a través de una serie de beneficios que los biosistemas forestales proveen. De esta forma, se puede decir que los biosistemas forestales naturales y los antropogénicamente creados

son “fábricas” deseables en los procesos de adaptación al cambio climático.

Además de aquellos bienes como la madera, el agua, los alimentos, y otros productos no maderables, los biosistemas forestales proporcionan múltiples servicios que son fundamentales en el proceso de adaptación a los cambios en el clima. Destacan la regulación del ciclo del agua, el control de la erosión, la modulación del clima, la prevención de inundaciones, y el control biológico a través de la conservación de la biodiversidad (The Economics of Ecosystems and Biodiversity TEEB, 2010; Swamy & Puri, 2005; Arias, 2004; CCT, 1996). Estos beneficios proveídos por los biosistemas forestales son de gran relevancia para Costa Rica, que junto con el resto de Centroamérica, ha sido identificada como zona de alto impacto del cambio climático (Giorgi, 2006; Baettig, Wild & Imboden, 2007). Según Flores, Salas, Astorga y Rivera (2010), Costa Rica continuará siendo afectada por eventos hidrometeorológicos extremos de manera frecuente y estacionaria, los cuales durante el periodo de 1988-2009 causaron daños por US\$ 1 161.4 millones constantes del año 2006.

Estos servicios producidos por los biosistemas forestales representan globalmente un importante flujo de beneficios para la sociedad (TEEB, 2010; Vedeld, Angelsen, Bojo, Sjaastad & Berg, 2007; Grieg-Gran, Porrás & Wunder, 2005; Smith, Sabogal, Jong & Kaimowitz, 1997). Sin embargo, dichos beneficios son raramente considerados en la valoración de biosistemas naturales y plantados, lo que contribuye a su uso negligente, pérdida de competitividad, y consecuentemente su degradación (Sukhdev, 2011). En los casos donde se ha atrevido a hacer tales valoraciones, estas han sido parciales o cuestionadas por utilizar métodos que transforman dichos efectos en una única unidad o criterio monetario (Munda, 1996; de Marchi and Ravetz, 2001). En este sentido, se estima que solamente el 20 % de los ingresos provenientes de los biosistemas forestales pasa a través del mercado, mientras que el 80 % nunca entra en este (FAO, 2011). Dentro de los más recientes estudios, Costanza *et al.* (2014) en su actualización de un estudio seminal presentado en 1997, estimaron en el año

2011 el valor económico total de los recursos naturales en US\$145 trillones/año (calculado en dólares estadounidenses equivalentes para el año 2007). De manera similar, investigadores en el Banco Mundial (2010) estimaron que en el año 2005 dicho valor en US\$44 trillones. A través de la iniciativa de las Naciones Unidas “The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB)”, se calcula que el valor económico total de únicamente conservar los biosistemas forestales para evitar las emisiones GEI es de US\$ 3.7 trillones en términos de valor presente al momento de la evaluación (Eliash, 2009).

Aumentar el tamaño y la productividad de los biosistemas forestales resulta conveniente no solo desde la perspectiva del cambio climático como ya se ha mencionado, sino además desde la económica y social. Sin querer agotar las razones, sabemos que la mayoría de biosistemas forestales plantados y otros procesos industriales de la actividad forestal ocurren en zonas rurales económicamente reprimidas y con limitadas opciones de empleo para su desarrollo. Es en estas zonas donde la actividad forestal productiva proporciona a sus habitantes oportunidades adicionales de alimentación, educación, recreación y vivienda, permitiendo el desarrollo y la permanencia de sus residentes, y evitando el continuo crecimiento de anillos de pobreza en zonas urbanas.

#### **4. LOS BIOSISTEMAS FORESTALES EN LA ESTRATEGIA NACIONAL DE CAMBIO CLIMÁTICO**

Costa Rica se ha comprometido a convertirse en la primera economía neutra en emisiones GEI para el año 2021 (MINAET, 2012). Ya desde el primer informe mundial sobre el costo económico que podría producir el cambio climático se menciona el rol de los biosistemas forestales naturales y plantados como una de las opciones más eficientes para contrarrestar dicho problema (Stern, 2007). Y es que dichos biosistemas por su longevidad y capacidad de creación de biomasa en forma de madera resultan ser una forma estable de almacenamiento de dióxido de carbono (Pan *et al.*, 2011). Los biosistemas forestales plantados, especialmente aquellos con especies de rápido crecimiento como la melina, desempeñan



un papel importante en este sentido (Swamy & Puri, 2005). Los biosistemas forestales naturales bien manejados también permiten no solamente mantener un importante reservorio de carbono, sino además pueden suplir parte de la demanda de bienes y servicios forestales -incluyendo madera- que el país requiere (Viquez, 2013). Por su parte, los biosistemas agroforestales son estratégicos en los procesos de secuestro de dióxido de carbono (Watson *et al.*, 2000), aunque su potencial aún no ha sido completamente reconocido (Montagnini & Nair, 2004).

En Costa Rica a pesar de que algunos instrumentos de política económica como el Programa de Pago por Servicios Ambientales han sido exitosos (Castro, Tattenbach, Gamez & Olson, 2000) particularmente para la conservación de los biosistemas forestales naturales, en un escenario de *Business as usual* sus recursos son limitados para crear una oferta importante de madera y potencializar un desarrollo ecoeficiente (Proyecto NEEDS, 2010). A nivel internacional, la estrategia REDD+ destaca como la principal opción de financiamiento sobre los biosistemas forestales para los países en desarrollo en el marco del cambio climático. REDD+, que consiste en la reducción de emisiones derivadas de la deforestación y la degradación forestal, además de la conservación, el manejo sostenible y el mejoramiento de las reservas de carbono de los biosistemas forestales en los países en desarrollo (UN-REDD, 2014), pretende poner en marcha alentadoras iniciativas (Kanowski, McDermott & Cashore, 2011). Su objetivo es mantener e incrementar el almacenamiento de carbono que prestan los biosistemas forestales naturales y plantados influenciando tanto su manejo como su conservación, principalmente en países tropicales a través de la creación de escenarios de referencias, la adopción de estrategias nacionales, y el diseño de sistemas de monitoreo (Smith, Molina Murillo y Anderson, 2014). Aunque a través de este mecanismo se pretende brindar a los dueños o usuarios de los biosistemas forestales una serie de incentivos económicos por el carbono absorbido y almacenado, debido a que aún no existe un acuerdo internacional vigente sobre cambio climático, dicho mecanismo avanza de manera lenta y algunas veces incierta, afectado por diversidad de visiones políticas, económicas, y operativas sobre cómo este debería de funcionar.

Los costos para la implementación de REDD+ para una reducción a la mitad de las emisiones globales para el año 2020 comparado con el 2010 se estiman entre \$17-\$33 mil millones anuales (Eliasch, 2008). Aunque se han efectuado otros estudios con montos similares (e.g., Kindermann *et al.*, 2008; Commission of the European Communities-CE, 2008), lo cierto del caso es que estos dependen del precio de la tonelada de carbono transada y de los costos de oportunidad sobre el valor de la tierra (Streck y Parker, 2013). Lamentablemente dichos valores se han comportado de manera desfavorable, con precios del carbono en descenso y precios de la tierra en ascenso, estos últimos por una mayor demanda de cultivos agrícolas y energéticos (e.g., Johansson & Azar 2007, Barua, Lehtonen & Pahkasalo, 2014).

La financiación para REDD+ proviene de múltiples fuentes y mecanismos. Según Streck y Parker (2013) estos montos ascienden a unos \$4 mil millones anuales, significativamente menor a los montos necesarios. Debido a que 75 % del financiamiento proviene de fondos públicos, no es de extrañar que los principales programas sean manejados por organizaciones financieras multilaterales bajo el auspicio de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) y sobre los Fondos de Inversión en Clima. Estos programas incluye UN-REDD+ y el Fondo Cooperativo de los Bosques o Forest Carbon Partnership Facility (FCPF) como es conocida en inglés, establecidas ambas en el año 2008 y que tratan de implementar tales estrategias a través de bancos internacionales de desarrollo y el Banco Mundial. A través de FCPF, en el 2013 se anunció que Costa Rica recibirá US\$63 millones, convirtiéndose en el primer país que recibirá pagos de FCPF por conservar sus bosques, disminuir la degradación del suelo, y propiciar sistemas agroforestales (FCPF, 2013).

De acuerdo a la información presentada por el Ministerio de Ambiente en abril del 2014, se proyecta que para el año 2021 habrán 21.6 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes (CO<sub>2</sub>e) totales, de las cuales 17.5 millones (81 %) se pueden compensar principalmente por mejoras en la cobertura y los acervos bioforestales (Castro, 2014). En los cálculos realizados por investigadores del Proyecto NEEDS (2010), se estimó que la reserva de carbono de

Costa Rica se vería aumentada hasta en 300 mil toneladas de CO<sub>2</sub>e entre el año 2000 y el año 2030 a través de la conversión de pastizales mediante una mejora al Programa de Pago por Servicios Ambientales (PPSA). Tal mejora se estima tendría un costo anual de US\$24 millones y permitiría además evitar la emisión de unos 100 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>e del 2010 al 2030 por medio de deforestación evitada, reforestación (12 mil hectáreas anuales) y regeneración. El PPSA que tiene su génesis en Costa Rica con la Ley Forestal No. 7575 de 1996, funciona a nivel nacional como el mecanismo a través del cual se compensan los dueños de los biosistemas forestales por los beneficios que estos proveen, incluyendo aunque no limitado, al mantenimiento y fijación de carbono. Dicho programa es considerado el primero a escala nacional en un país en desarrollo y de los más consolidados a nivel internacional. A pesar de lo anterior, aún contiene múltiples aspectos por mejorar, particularmente en la priorización en los servicios pagados y los costos de oportunidad sobre el valor de la tierra (Smith, Molina-Murillo & Anderson, 2014). Otra problemática del PPSA está relacionada con los altos costos de transacción y una entreverada tramitología en la cual tienen que incurrir los aspirantes a estos fondos. Esta es una situación preocupante si se considera que actualmente la mayoría de la madera demandada en el país es abastecida por biosistemas forestales plantados, en comparación con biosistemas forestales naturales, o por árboles en terrenos de uso agropecuario como ocurría en el pasado. En el 2012, el 78.1 % de la madera nacional procesada provino de biosistemas forestales plantados (ONF, 2013) y a pesar de que los esfuerzos de reforestación alcanzaron más de 9 000 ha en 1996, a partir de ese momento esta tasa ha venido disminuyendo hasta en un tercio; situación que no garantiza la sostenibilidad de la actividad y pone bajo amenaza la corta de los biosistemas forestales naturales (Barrantes, 2008). Esta realidad se viene anunciando desde hace una década (Arce y Barrantes, 2004; Arrieta, 2004; McKenzie, 2004) y lamentablemente no se ha logrado revertir, ocasionando impactos en la producción, comercio, y empleo en la actividad forestal (ONF, 2013).

## 5. EL ENTORNO LEGAL ALREDEDOR DEL MANEJO DE BIOSISTEMAS FORESTALES

Desde el punto de vista legal, el manejo forestal en Costa Rica se define según el Decreto Ejecutivo N° 36062 MINAET del 15 julio 2010, como:

“Administración del recurso forestal orientada a asegurar que todos los bienes y servicios derivados de los bosques abastezcan las necesidades actuales; mientras que al mismo tiempo aseguren su capacidad y contribución continua para las futuras generaciones. El manejo forestal abarca los aspectos administrativos, legales, técnicos, económicos, sociales y ambientales de la conservación, protección y uso de los bosques. Implica varios grados de intervención humana deliberada, que van desde acciones que intentan salvaguardar y mantener los bosques y sus funciones, a acciones destinadas a favorecer especies, o grupos de especies, valoradas económica o socialmente para mejorar la producción de bienes y servicios”.

Como ya hemos revisado en apartados anteriores, el manejo de los biosistemas forestales contribuye en los procesos de mitigación y adaptación al cambio climático, tanto por sus características propias de sumidero y reservorio de carbono en la biomasa viva y el suelo, como también por la utilización de productos de madera. A través del manejo forestal, los propietarios o usuarios de los biosistemas naturales pueden aprovechar los bienes y servicios derivados garantizando su permanencia en el tiempo. De acuerdo a uno de los cuatro criterios de sostenibilidad propuesto por The Natural Step, un recurso renovable se puede utilizar a una tasa no mayor a la que este se renueva, situación que puede lograrse a través de un manejo forestal sostenible (MFS). Precisamente a través de la Resolución 62/98 de las Naciones Unidas se especifica que el MFS es un concepto dinámico que evoluciona, el cual

“tiene por objetivo mantener y además mejorar los valores económicos, sociales y



ambientales de todos los tipos de bosques para el beneficio de las presentes y futuras generaciones”.

Sin embargo, a pesar que en Costa Rica aproximadamente 1.2 millones de hectáreas son aptas para el manejo forestal, se estima que del total de madera aserrada consumida en nuestro país, solamente un valor cercano al 3 % proviene del manejo de biosistemas naturales (ONF, 2013), en parte por vedas al aprovechamiento en ciertos territorios o por trabas administrativas en las instituciones competentes. Esta no es una medida adecuada en el mediano o largo plazo que favorezca los dueños de bosques naturales, en su mayoría pequeños productores, y consecuentemente tampoco para el desarrollo del país. Por el contrario, con pocos incentivos para la reforestación y sin alternativas complementarias, se corre el riesgo no solamente de un incremento en la corta ilegal, sino que además se opta por el consumo de productos maderables importados o productos sustitutos, generando una mayor huella de carbono, una pérdida importante de divisas, y un desfavorecimiento al desarrollo rural.

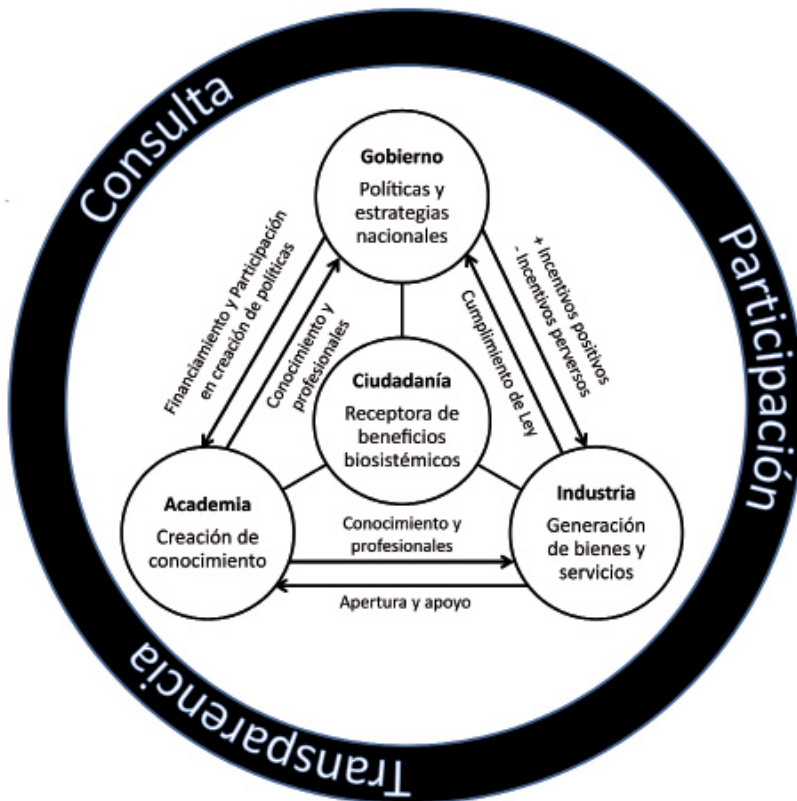
## **6. LA RELACIÓN ENTRE LA ACADEMIA, EL GOBIERNO Y LA INDUSTRIA**

En pleno siglo XXI no hay duda que la llamada triple hélice o modelo de relación tripartita entre la academia, el gobierno y la industria es clave para fortalecer los procesos de innovación, contextualización de tecnologías y crecimiento integrado de una sociedad a partir del conocimiento (Etzkowitz, 2008). A pesar de que este modelo está siendo implementado en un gran número de países en desarrollo, en Costa Rica existen una serie de obstáculos de vinculación, principalmente entre la academia y la industria, que no permiten la fluidez requerida para que el modelo se ejecute con eficiencia (Chang, 2010).

Si bien muchos de estos obstáculos son legales y pueden ser corregidos con voluntad política, lo cierto es que la visión de país durante los últimos 50 años no ha permitido que Costa Rica agilice los procesos de implementación de una agenda basada en el concepto de la triple hélice.

Por ejemplo, el país ha históricamente facilitado políticas internacionales de expropiación ecológica en detrimento del capital natural nacional (Goebel, 2014), situación que hubiera sido menos extrema si la posición académica hubiera sido tomada en cuenta en un esquema integrado. Hasta el día de hoy el potencial de los biosistemas forestales como promotores de desarrollo ha sido altamente subestimado por una visión limitada de los mismos. En Costa Rica, las unidades académicas forestales propiamente dichas han existido por menos de 50 años; a pesar de esta corta trayectoria, es claro que ante la complejidad de bienes y servicios ofrecidos por los biosistemas forestales y a la naturaleza de la relación de nuestra especie con los mismos, un enfoque unidisciplinario es inadecuado para la implementación del modelo integrado tripartito expuesto anteriormente. Por lo tanto, se requiere de un análisis integrado del conocimiento para la consolidación de enfoques interinstitucionales sobre el tema desde perspectivas de las ciencias básicas así como de las sociales. Por ejemplo, debido a la creciente competencia por la tierra y a la necesidad de una mayor producción, hoy en día son más comunes los sistemas mixtos o integrales ya sean agroforestales, silvopastoriles, o agrosilvopastoriles. En el caso de las ingenierías agrícolas existe un movimiento conceptual hacia la ingeniería de biosistemas como una estrategia de vinculación más efectiva con otras áreas del conocimiento. Por su parte la economía ambiental y la economía ecológica así como la historia ambiental y la psicología de los recursos naturales son áreas académicas que han hecho importantes contribuciones en la última década. Si consideramos que los biosistemas forestales están influenciados por sistemas agrícolas, industriales y socioeconómicos, el enfoque clásico unidisciplinario se ve no solamente expandido en su visión de trabajo sino en su conceptualización. Cambios como estos en la academia abren muchas posibilidades para el estudio integrado de biosistemas forestales propiciando una mejor protección y uso de nuestros recursos forestales.

De forma similar, la integración interna de políticas de manejo de biosistemas forestales debería de ser un tópico de común interés a nivel gubernamental. Si bien es cierto que Costa Rica ha creado un marco legal en relación con



**Figura 4.** Gobernanza de los recursos bioforestales en función de beneficios equitativos para la ciudadanía

el tema (e.g., leyes de biodiversidad, suelos, aguas y forestal), en los últimos años ha sido el papel de las organizaciones no-gubernamentales (ONGs), localizadas entre instituciones públicas y privadas, uno de los principales movilizadores de la ejecución políticas públicas (Scott, 2010). Lo anterior no es inadecuado de ninguna manera, pero muestra un desequilibrio en la dinámica interna de implementación de políticas.

En una situación más equilibrada, la naturaleza liberal de la industria podría aportar a la política nacional el apoyo necesario para movilizar el motor de la triple hélice (Figura 4). De esta forma, en el caso de los biosistemas forestales, es necesario que exista una agenda de consenso en cada uno de los elementos de esa relación tripartita. El objetivo es entonces que el manejo de los recursos forestales se implemente en un marco contextual vinculado con las mencionadas estrategias de desarrollo que toman en cuenta el papel del cambio climático en su enfoque. Esta estrategia debe originarse y

crearse en un marco de consulta con los múltiples actores, de manera transparente y participativa. La industria por su parte debería esperar del gobierno señales e incentivos que propicien una mayor productividad con alto grado de responsabilidad en beneficio de la ciudadanía. Igualmente el gobierno debe ser vigilante de eliminar aquellos incentivos perversos que podrían equívocamente destruir los biosistemas forestales naturales o limitar el desarrollo de aquellos plantados. De la misma forma, la industria debe de guardar un cercano apego por el cumplimiento de las leyes, las cuales son la pauta de lo que la sociedad quiere y espera. La academia por su parte debe impulsar la creación y transmisión del conocimiento, tanto para la implementación de estrategias productivas y políticas, como la formación de profesionales. Este engranaje tripartido debe tener por fin último un mantenimiento y mejora de los biosistemas forestales, los cuales como hemos discutido ampliamente, son la base de

los beneficios que la sociedad necesita para su desarrollo sustentable.

A pesar del camino por recorrer, en Costa Rica ya existe una compleja coyuntura de elementos existentes. Aún en la población general conocedora del cambio climático, se ha documentado un alto nivel de interés por el efecto de ese fenómeno sobre servicios mediados por biosistemas forestales (Vignola, Klinsky, Tam & McDaniels, 2012). Lo anterior ya implica un nivel de interiorización similar al observado en iniciativas de integración social con respecto a los mismos sistemas (e.g., Aguilar 2009). A pesar de lo anterior, la disociación histórica entre academia e industria, es quizás la principal limitación para que un modelo integrado pueda desarrollarse en el país. En un estudio reciente por parte de la Organización de Estados Iberoamericanos (2014) señala que:

“...el conocimiento científico y tecnológico es una de las principales riquezas de las sociedades contemporáneas y un elemento indispensable para impulsar el desarrollo económico y social”

Sin embargo, del mismo estudio se deduce que en los países latinoamericanos aún existe una brecha entre los intereses académicos de creación de conocimiento y los industriales por aumentar sus ganancias. Estas diferencias deben enfrentarse con una mirada estratégica de mediano y largo plazo, donde el aporte académico sea aplicado con inteligencia en la industria para la resolución de las tareas pendientes en desarrollo económico, social y ambiental.

## **7. LA INGENIERÍA DE BIOSISTEMAS Y SU IMPLICACIÓN EN LA ACCIÓN FORESTAL**

Dentro de la rama del conocimiento que agrupa a las ingenierías, algunas de las pocas disciplinas que han tenido un desempeño directo con los recursos naturales son la ingeniería forestal y la ingeniería agrícola. Estas dos disciplinas, en su forma clásica y simplista se han dividido el nicho de trabajo principalmente por la naturaleza de su producto comercial. Aquellos productos

comerciales no comestibles como la madera, resinas, aceites, entre otros, son tratadas por la primera, y las especies comerciales comestibles son el enfoque principal de la segunda. A pesar de los múltiples traslapes entre ambas disciplinas, en Costa Rica el alcance profesional de cada una de ellas está definido legalmente y esto de alguna forma ha empañado el proceso de integración académica y profesional de la investigación en torno a los recursos forestales.

Sin embargo, desde hace algunos años empieza a darse una cierta integración conceptual en el accionar de ambas disciplinas. Debido a la creciente competencia por la tierra y a la necesidad de una mayor producción, hoy en día son más comunes los sistemas mixtos o integrales ya sean agroforestales, silvopastoriles, o agrosilvopastoriles. Como mencionamos, la ingeniería agrícola conceptualmente se re-direcciona hacia la ingeniería de biosistemas vinculándose más efectiva con otras áreas del conocimiento. Esto ha ocurrido, de manera similar, en la ingeniería forestal, por ejemplo en la Universidad de Minnesota, el Departamento de ingeniería en productos forestales ahora es el Departamento de ingeniería en bioproductos y biosistemas. Si consideramos que los biosistemas forestales agrupan también los sistemas agrícolas, el enfoque clásico unidisciplinario se ve no solamente expandido en su visión de trabajo sino en su conceptualización. A pesar de lo anterior, la ingeniería de biosistemas como su nombre lo indica se enfoca en los sistemas *per se* y no necesariamente en los componentes del mismo, que seguirán siendo estudiados por las disciplinas clásicas anteriormente mencionadas.

Cambios como estos en la academia abren muchas posibilidades para el estudio integrado de biosistemas forestales desde la perspectiva forestal, biológica, agrícola y ambiental. Si bien la ingeniería forestal en el país se ha expandido con el tiempo, existen tópicos de trabajo en los cuales la ingeniería de biosistemas puede aportar complementariamente. Por ejemplo, el enfoque de la agricultura de precisión contextualizado hacia el tema forestal, la integración con modelos agroforestales de adaptación al cambio climático o los protocolos de mecanización de sistemas productivos para aumentar rendimiento, son temas que desde la óptica de la ingeniería de

biosistemas permiten una mejor protección y uso de nuestros recursos forestales.

## 8. CONCLUSIONES

Aunque las políticas y estrategias de desarrollo socio-económico y ambiental de nuestro país tienen puntos de convergencia bastante evidentes a través de la conservación, manejo y desarrollo de los biosistemas forestales -particularmente considerando el gran potencial en el marco del cambio climático- es lamentable que estos puntos aún posean gran resistencia en múltiples esferas. A continuación presentamos las principales conclusiones del análisis realizado en este artículo con el objetivo de facilitarle al lector su reflexión.

Debido al carbono almacenado en la biomasa y suelo de los biosistemas forestales, mantener estos sumideros es fundamental como estrategia de mitigación al cambio climático. Sin embargo, amenazas como la deforestación, plagas, incendios, sequías, inundaciones, o tormentas, pondrán en mayor riesgo dicho almacenamiento. Por lo tanto, la ejecución de estrategias para su protección, conservación, y eventual adaptación son urgentes dentro de un marco de política pública.

El aumento de las reservas de carbono a través de los biosistemas forestales es una opción no solamente viable, sino además deseable para mitigar los efectos del cambio climático. Lograr este aumento a través de la mayor utilización de madera y productos maderables producidos localmente es altamente beneficioso. Primero, porque su producción ayuda a absorber dióxido de carbono de la atmósfera a través del crecimiento de los árboles. Segundo, porque esta estrategia disminuye las emisiones de GEI generadas por el transporte de productos importados. Tercero, como hemos explicado, ayuda a substituir productos alternativos con huellas de carbono considerablemente mayores, tales como acero, aluminio, cemento y plástico. De la misma forma, dicha utilización promueve a partir de incentivos, la creación de más biosistemas forestales plantados (homogéneos, agroforestales, o silvopastoriles) que permitirán la conservación de los biosistemas naturales, favoreciendo la adaptación al cambio climático a través de la

regulación y producción de servicios ambientales como por ejemplo, la regulación del ciclo del agua, el control de erosión y deslizamientos y la regulación del clima.

La vulnerabilidad a los eventos ocasionados por el cambio climático difiere sustancialmente a nivel local porque está en relación directa con la exposición a las amenazas, el grado de resiliencia y la capacidad de adaptación. Por lo tanto es urgente el desarrollo e implementación de políticas y estrategias de adaptación que permitan gestionar el riesgo para responder y enfrentar tales efectos. Esta capacidad adaptativa dependerá de una adecuada gestión de los recursos (e.g., sociales, económicos, educativos, políticos, tecnológicos), para lo cual es requisito una coordinación y gobernanza interinstitucional de consulta, participativa y transparente que articule las diferentes agendas e iniciativas internacionales, nacionales y locales.

El rol de los biosistemas forestales en las políticas nacionales es reconocido pero muchas veces limitado en la práctica. Por ejemplo, el Plan Nacional de Desarrollo, la Estrategia Nacional de Cambio Climático, la política de Carbono Neutralidad, la Agenda Agroalimentaria, Cambio Climático y Carbono Neutralidad en el sector Agroalimentario de Costa Rica, el Plan Nacional de Desarrollo Forestal, todos abordan de una u otra manera la importancia de estos biosistemas como mecanismos para la mitigación y eventualmente la adaptación al cambio climático, la reducción de la vulnerabilidad y consecuentemente de la pobreza. Sin embargo, en el entorno actual las políticas son instrumentos necesarios pero no suficientes para que acciones específicas se concreten. Por ejemplo, aunque se permite el manejo y aprovechamiento de múltiples bienes y servicios de los biosistemas forestales, desde hace varios años esto es casi imposible debido a una veda administrativa que limita gravemente el abastecimiento de manera de fuentes locales, y propicia la compra de productos sustitutos a la madera o productos importados. Esta inseguridad jurídica limita una mayor producción e inversión privada en actividades forestales.

En términos estructurales, la pobreza en zonas rurales sigue sin resolverse. Consideramos que a través del manejo sostenible de los biosistemas

forestales naturales, los incrementos en los biosistemas forestales plantados, y sus mezclas con sistemas agrícolas y pastoriles, pueden no solamente contribuir en sus funciones de mitigación y adaptación al cambio climático, sino además en crear opciones de desarrollo económico, social, ambiental y cultural acordes con las necesidades de estas poblaciones marginadas.

De la misma manera como los biosistemas forestales necesitan adaptarse a los nuevos desafíos propiciados por el cambio climático, pareciera que las instituciones, incluyendo las académicas, están en procesos de adaptación en su cobertura y en su forma de análisis. Tal es el caso de la ingeniería agrícola y la forestal, que en su forma esencial, comparten el manejo de la tierra y sus recursos bióticos. El análisis con un enfoque biosistémico pareciera ser un paso en la dirección correcta para aportar en la resolución de las tareas pendientes en desarrollo económico, social y ambiental.

## REFERENCIAS

- Aguilar, L. (2009). *Training manual on gender and climate change*. San José, Costa Rica, Absoluto.
- Arce, H. & Barrantes, A. (2006). *La madera en Costa Rica: situación actual y perspectivas*. San José, Costa Rica, ONF-FONAFIFO. Recuperado de [http://onfcr.org/media/uploads/cyclope\\_old/adjuntos/MADERAENCOS-TARICASITUACIONACTUALYPECTIVAS2006kr06123.pdf](http://onfcr.org/media/uploads/cyclope_old/adjuntos/MADERAENCOS-TARICASITUACIONACTUALYPECTIVAS2006kr06123.pdf)
- Arias, G. (2004). *Análisis del impacto económico y social de las plantaciones forestales en Costa Rica*. San José, FUNDECOR. Recuperado de: [http://www.sirefor.go.cr/Documents/Reforestacion/2004\\_Arias\\_analisis\\_impactoecon\\_plfor.pdf](http://www.sirefor.go.cr/Documents/Reforestacion/2004_Arias_analisis_impactoecon_plfor.pdf)
- Arrieta, E. (2004). *País sufrirá déficit de madera en 2010*. La Prensa Libre, 20 de diciembre del 2004.
- Baettig, M., Wild, M., & Imboden, D. (2007). A climate change index: Where climate change may be most prominent in the 21st century. *Geophysical Resource Letters*, 34, L01705.
- Banco Mundial. 2010. *The Changing Wealth of Nations: Measuring Sustainable Development in the New Millennium*. Washington, D.C.
- Barua, S.K., Lehtonen, P. & Pahkasalo, T. (2014). Plantation vision: potentials, challenges and policy options for global industrial forest plantation development. *International Forestry Review*, 16 (2), 117–127.
- Bonan, G.B. (2008). Forests and Climate Change: Forcings, Feedbacks, and the Climate Benefits of Forests. *Science*, 320, 1444-1449.
- Commission of the European Communities. (2008). Addressing the challenges of deforestation and forest degradation to tackle climate change and biodiversity loss. *A communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions*. Comisión Europea, Bruselas, Bélgica. Recuperado de: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2008:0645:FIN:EN:PDF>. (Consultado 28 Mayo 2014)
- Castro, R. (2014). *PSA Precursos de la Meta Carbono Neutralidad: ¿Dónde estamos hoy?* Presentación Foro Internacional sobre Pagos por Servicios Ambientales de los Bosques Tropicales (ITTO, FONAFIFO-MINAE), San José, Costa Rica. April 7-10, 2014. Recuperado de <http://www.fao.org/forestry/84884/en/>
- Castro, R., Tattenbach, F., Gamez, L. & Olson, N., (2000). The Costa Rican Experience with Market Instruments to Mitigate Climate Change and Conserve Biodiversity. *Environ Monit Assess*, 61, 75–92.
- Centro Científico Tropical. (1996). *Valoración de Servicios Ambientales de los bosques en Costa Rica*. Caps. 5 y 6. San José, 11 – 35 p.
- CEI Bois. (2009). *Frente al cambio climático, utiliza madera*. España. Disponible en <http://www.cei-bois.org/files/b03400-p01-84-SP.pdf>. (Consultado 22 Febrero 2014).
- de Marchi, B. & Ravetz, J. (2001). Participatory approaches to environmental policy. Environmental Valuation in Europe, Policy Research Brief. *Cambridge Research for the Environment*, 10.
- Chang Castillo, H.G. (2010). El modelo de la triple hélice como un medio para la vinculación entre la universidad y la empresa. *Revista Nacional de Administración*, 1, 85-94.



- Chenoweth, J. & Feitelson, E. (2005). Neo-Malthusians and Cornucopians put to the test: Global 2000 and The Resourceful Earth revisited. *Future*, 37(1), 51-72.
- Clarke, L., Edmonds, J., Jacoby, H., Pitcher, H., Reilly, J. & Richels, R. (2007). *Scenarios of Greenhouse Gas Emissions and Atmospheric Concentrations: Sub-report 2.1A of Synthesis and Assessment Product 2.1 by the U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research*. Department of Energy, Office of Biological and Environmental Research, Washington, DC., EEUU, 154 pp.
- Costanza, R., de Groot, R., Sutton, P., van der Ploeg, S., Anderson, S., Kubiszewski, J., Farber, S., Turner, R. K. (2014). Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environ Change*, 26 (May), 152-158.
- Costanza, R., R. d'Arge, R de Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R. O'Neill, J. Paruelo, R. Raskin, P. Sutton and M. van den Belt. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387, 253-260.
- Edinburgh Centre for Carbon Management. (2006). Carbon benefits of timber in construction. Reporte 196. Comisionado por la Comisión Forestal de Escocia. Recuperado de [http://www.forestry.gov.uk/pdf/Carbonbenefitsoftimberinconstruction.pdf/\\$FILE/Carbonbenefitsoftimberinconstruction.pdf](http://www.forestry.gov.uk/pdf/Carbonbenefitsoftimberinconstruction.pdf/$FILE/Carbonbenefitsoftimberinconstruction.pdf). (Consultado 22 Mayo 2014).
- Eliasch, J. (2008). *Climate Change: Financing Global Forests*. UK Government, London. <http://www.official-documents.gov.uk/document/other/9780108507632/9780108507632.pdf>
- Etzkowitz, H. (2008). *The triple helix: University-Industry-Government Innovation in Action*. Nueva York, Routledge.
- Food and Agricultural Organization of the United Nations. (2013). *Climate change guidelines for forest managers. FAO Forestry Paper No. 172*. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Food and Agricultural Organization of the United Nations. (2011). *State of the World's Forests 2011*. FAO.
- Food and Agricultural Organization of the United Nations. (2010). *La gestión de los bosques ante el cambio climático*. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/014/i1960s/i1960s00.pdf>. (Consultado 01 Mayo 2014).
- Flores Verdejo, R., Salas Jiménez, J., Astorga Molina, M. & Rivera Ugarte, J. (2010). *El impacto económico de los eventos naturales y antrópicos extremos en Costa Rica, 1988-2009*. Costa Rica, MIDEPLAN. Recuperado de: <https://documentos.mideplan.go.cr/alfresco/d/d/workspace/SpacesStore/f6efebf9-5dfc-405e-9baa-981baeb93d46/Impacto-Economico-de-Eventos-Naturales-y-Antronicos-Extremos-en-Costa-Rica-1988-2009.pdf?guest=true>
- Forest Carbon Partnership Facility (2013). *Letter of Intent signed with Costa Rica*. Recuperado de <https://www.forestcarbonpartnership.org/letter-intent-signed-costa-rica>. (Visitado 20 Mayo 2014).
- Giorgi, F. (2006). Climate change hot-spots. *Geophysical Resource Letters*, 33, L8707.
- Goebel McDermott A. (2014). Exported Biodiversity and Transformed Regions: Nature, Trade and Regional Dynamics in Costa Rica (1884-1948). *HALAC*, 3, 339-377.
- Grieg-Gran, M., Porrás, I. & Wunder, S. (2005). How can market mechanisms for forest environmental services help the poor? Preliminary lessons from Latin America. *World Development*, 33, 1511-1527.
- Guariguata M.R., Locatelli, B. & Haupt, F. (2012). Adapting Tropical Production Forests to Global Climate Change: Risk Perceptions and Actions. *International Forestry Review*, 14(1), 27-38.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014). *Driver, Trends and Mitigation. Chapter 5 of report of Work III on Mitigation of Climate Change*. Recuperado de [http://report.mitigation2014.org/drafts/final-draft-postplenary/ipcc\\_wg3\\_ar5\\_final-draft\\_postplenary\\_chapter5.pdf](http://report.mitigation2014.org/drafts/final-draft-postplenary/ipcc_wg3_ar5_final-draft_postplenary_chapter5.pdf). (Consultado 30 Mayo 2014).
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2007). *Climate change 2007: synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel*



- on *Climate Change*. R.K. Pachauri & A. Reisinger, (Eds.). Geneva, Switzerland, Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Harris, D.C. (2010). Charles David Keeling and the Story of Atmospheric CO<sub>2</sub> Measurements. *Analytical Chemistry*, 82, 7865-7870.
- Holmes G.D. (1975). History of forestry and forest management. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, Series B271, 69-80.
- Johansson, D.J.A. & Azar, C. (2007). A scenario based analysis of land competition between food and bioenergy production in the US. *Climatic Change*, 82, 267-291.
- Kanowski, P.J., McDermott, C.L. & Cashore, B.W. (2011). Implementing REDD+: lessons from analysis of forest governance. *Environmental Science & Policy*, 14 (2), 111-117. doi:10.1016/j.envsci.2010.11.007
- Kimmins J.P. (2003). *Forest ecology: a foundation for sustainable management*. (3a edición). San Francisco, California, Benjamín Cummins.
- Lizarralde, I. Broto, M. & Rodríguez, F. (2009). Ciclo de vida de los productos forestales. Impacto sobre la fijación de CO<sub>2</sub>. En *El papel de los bosques españoles en la mitigación del cambio climático*. Fundación Gas Natural, pp. 263-288.
- McDaniels, T., Mills, T., Gregory, R. & Ohlson D. (2012). Using Expert Judgments to Explore Robust Alternatives for Forest Management under Climate Change. *Risk Analysis*, 32(12), 2098-2112.
- McKenzie, T. (2004). *Estudio de tendencias y perspectivas del sector forestal en América Latina: Informe Nacional*. San José: SINAC- FAO. 12pp.
- Ministerio de Ambiente y Energía y Telecomunicaciones. (2009). *Estrategia Nacional de Cambio Climático*. San José, Costa Rica: Editor Calderón y Alvarado S. A. Recuperado de [cambioclimaticocr.com/biblioteca-virtual/doc\\_download/116-estrategia-nacional-de-cambio-climatico](http://cambioclimaticocr.com/biblioteca-virtual/doc_download/116-estrategia-nacional-de-cambio-climatico).
- Molina-Murillo, S.A. (2013). Urban Population Knowledge of Climate Change in Costa Rica and Nicaragua. *Revista Latinoamericana de Desarrollo Económico*, 19, 55-75.
- Montagnini, F. & Nair, P.K.R. (2004). Carbon sequestration: An underexploited environmental benefit of. *Agroforestry Systems*, 61-62, 281-295.
- Munda, G. (1996). Cost-benefit analysis in integrated environmental assessment: some methodological issues. *Ecological Economics*, 19, 157-168.
- Naidoo, R., Chase, M.J., Beytell, P., Du Preez, P., Landen, K., Stuart-Hill, G. & Taylor, R. (2014). *A newly discovered wildlife migration in Namibia and Botswana is the longest in Africa*. Oryx DOI: 10.1017/S0030605314000222.
- Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2014). *Ciencia, Tecnología e Innovación, para el desarrollo y la cohesión social*. España: OEI. Recuperado de: <http://www.oei.es/cti2021.pdf>
- Odum, E. & Barret, G.W. (2004). *Fundamentals of Ecology*. Connecticut, EEUU, Cengage Learning.
- Pan, Y., Birdsey, R.A., Fang, J., Houghton, R., Kauppi, P.E., Kurz, W.A., Phillips, O.L., Shvidenko, A., Lewis, S.L., Canadell, J.G., Ciais, P., Jackson, R.B., Pacala, S.W., McGuire, A.D., Piao, S., Rautiainen, A., Sitch, S. & Hayes, D. (2011). A Large and Persistent Carbon Sink in the World's Forests. *Science*, 333, 988-993.
- Proyecto NEEDS. (2010). National Economic, Environmental and Development Study for Climate Change. MINAET- INCAE-FUNDECOR.
- Reid, H., Huq, S., Inkinen, A., MacGregor, J., Macqueen, D., Mayers, J., Murray, L., & Tipper, R. (2004). Using wood products to mitigate climate change: a review of evidence and key issues for sustainable development. International Institute for Environment and Development. Disponible en <http://pubs.iied.org/pdfs/10001IIED.pdf>. (Consultado 22 Febrero 2014).
- Scott Metcalfe, A. (2010). Examining the trilateral networks of the triple helix: Intermediate organizations and Academy-Industry-Government Relations. *Critical Sociology*, 36, 503-519.
- Smith, J., Sabogal, C.; Jong, W. & Kaimowitz, D. (1997). Bosques secundarios como recurso

- para el desarrollo rural y la conservación ambiental en los trópicos de América Latina. CIFOR. Ocasional Paper No. 13. 31 p.
- Smith, T.M., Molina Murillo, S.A., & Anderson, B.M. (2014). Implementing Sustainability in the Forestry Sector: Toward the convergence of public and private forest policy. In: *The Global Forest Sector: Changes, Practices, and Prospects*. Eds. Hansen, E., Panwar, R., & Vlosky, R. Taylor and Francis, Florida.
- Soares-Filho, B., Moutinho, P., Nepstad, D., Anderson, A., Rodrigues, H., Garcia, R., Dietzsch, L., Merry, F., Bowman, M., Hissa, L., Silvestrini, R., Maretti, C. (2010). Role of Brazilian Amazon protected areas in climate change mitigation. *PNAS*, 107, 10821–10826.
- Stern, N. (2006). *The Economics of Climate Change. The Stern Review*. Cambridge, UK. Cambridge
- Streck, C. & Parker, C. (2013). Financiación de REDD+. In *Análisis de REDD+: Retos y Opciones*. (Angelsen, A., Brockhaus, M., Sunderlin, W. y Verchot, L. (Eds.). Bogor, Indonesia, Center for International Forestry Research.
- Sukhdev, P. (2011). Putting a Price on Nature: The Economics of Ecosystems and Biodiversity. *Solutions*, 1(6), 34–43.
- Swamy, S.L. & Puri, S. (2005). Biomass production and C-sequestration of Gmelina arborea in plantation and agroforestry system in India. *Agroforest Systems*, 64, 181–195.
- The Economics of Ecosystems and Biodiversity. (2010). *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Mainstreaming the Economics of Nature: A synthesis of the approach, conclusions and recommendations of TEEB*. Recuperado de [http://www.teebweb.org/Portals/25/TEEB%20Synthesis/TEEB\\_SynthReport\\_09\\_2010\\_online.pdf](http://www.teebweb.org/Portals/25/TEEB%20Synthesis/TEEB_SynthReport_09_2010_online.pdf).
- UN-REDD. (2014). *About the UN-REDD Programme* [Sobre el Programa UN-REDD]. Disponible en <http://www.un-redd.org/AboutUN-REDDProgramme/tabid/102613/Default.aspx>
- Upton, B., Miner, R., Spinney, M., & Heath, L.S. (2008). The greenhouse gas and energy impacts of using wood instead of alternatives in residential construction in the United States. *Biomass and Bioenergy*, 32, 1–10.
- Vedeld, P., Angelsen, A., Bojo, J., Sjaastad, E. & Berg, G.K. (2007). Forest environmental incomes and the rural poor. *Forest Policy Economics*, 9, 869–879.
- Vignola, R., Klinsky, S., Tam, J. & McDaniels, T. (2012). Public perception, knowledge and policy support for mitigation and adaptation to Climate Change in Costa Rica: Comparisons with North American and European studies. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 18, 303–323.
- Watson, R. T., Noble, I. R., Bolin, B., Ravindranath, N. H., Verardo, D. J. & Dokken, D. J. (Eds.) (2000) Land use, Land use Change, and Forestry. *IPCC Special Report*.
- Wiersum, K.F. (1995). 200 years of sustainability in forestry: Lessons from history. *Environmental Management*, 19 (3), 321–329.

## **SOBRE LOS AUTORES:**

**Sergio Andrés Molina Murillo.** Docente de la Escuela de Ciencias Ambientales. Universidad Nacional de Costa Rica (UNA), Investigador, Unidad de Recursos Forestales, Universidad de Costa Rica. Correo electrónico: [sergiomolina@una.cr](mailto:sergiomolina@una.cr)

**Carlos Rojas Alvarado.** Unidad de Recursos Forestales, Instituto de Investigaciones en Ingeniería, Escuela de Ingeniería Agrícola, Facultad de Ingeniería, Universidad de Costa Rica. Correo electrónico: [rojas\\_carlos@outlook.com](mailto:rojas_carlos@outlook.com)