

---

# Adaptación al cambio climático y servicios ecosistémicos en América Latina

**Libro de actas del Seminario Internacional sobre Adaptación al Cambio  
Climático: el Rol de los Servicios Ecosistémicos  
(SIAASE 2008)**

Editores

Celia Martínez-Alonso  
Bruno Locatelli  
Raffaele Vignola  
Pablo Imbach

CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza) es un centro regional dedicado a la investigación y la enseñanza de posgrado en agricultura, manejo, conservación y uso sostenible de los recursos naturales. Sus miembros son el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), Belice, Bolivia, Colombia, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, República Dominicana, Venezuela y España.

© Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE, 2010

ISBN 978-9977-57-527-8

363.73874

A221 Adaptación al cambio climático y servicios ecosistémicos en América Latina : libro de actas del seminario internacional SIASSE 2008 / editado por Celia Martínez Alonso ...[et al.]. – 1 ed. – Turrialba, CR : CATIE, 2010 144 p. : il. – (Serie técnica. Manual técnico / CATIE ; no. 99)

ISBN 978-9977-57-527-8

1. Cambio climático – Adaptación – América Latina  
2. Cambio climático – servicios ambientales – América Latina  
I. Martínez Alonso, Celia, ed. II. Locatelli, Bruno, ed. III. Vignola, Raffaele, ed.  
IV. Imbach, Pablo, ed. V. CATIE VI. Título VII. Serie.

## **Créditos**

### **Edición técnica**

Miguel Cifuentes

### **Compilación**

Angela Diaz

### **Corrección de estilo**

Joselyne Hoffmann

Cynthia Mora

### **Diseño y diagramación**

Silvia Francis

### **Financiamiento**

Proyecto Bosques tropicales y su adaptación al cambio climático (TroFCCA, por sus siglas en inglés), proyecto ejecutado por CATIE y CIFOR y financiado por la Unión Europea bajo el contrato EuropeAid/ENV/2004-81719.

Proyecto Mitigación y adaptación al cambio climático en la gestión forestal sostenible en Iberoamérica (MIA), proyecto ejecutado por CATIE, CIFOR, UPM y financiado por el INIA-España

## Índice

<b>Presentación</b> .....	5
<b>Prólogo</b> .....	7
<b>I. Introducción</b> .....	9
Servicios ecosistémicos y adaptación al cambio climático ( <i>Ecosystem services and adaptation to climate change</i> ). Bruno Locatelli y Markku Kanninen .....	11
<b>II. Impactos del cambio climático sobre los ecosistemas y sus servicios</b> .....	21
Future climate change scenarios and their application for studies of impacts, vulnerability and adaptation in Brazil ( <i>Escenarios futuros de cambio climático y su aplicación a estudios de impactos, vulnerabilidad y adaptación en Brasil</i> ). José A. Marengo .....	23
Vulnerabilidad de los servicios ecosistémicos hidrológicos al cambio climático en Mesoamérica ( <i>Vulnerability of hydrological ecosystem services to climate change in Mesoamerica</i> ). Pablo Imbach, Luis Molina, Bruno Locatelli y Lenin Corrales.....	32
Migración de ecosistemas bajo escenarios de cambio climático: el rol de los corredores biológicos en Costa Rica ( <i>Ecosystem migration under climate change scenarios: the role of biological corridors in Costa Rica</i> ). Bruno Locatelli y Pablo Imbach.....	44
Impacto del cambio climático para el cultivo de café en Nicaragua ( <i>Impacts of Climate Change on coffee cultivation in Nicaragua</i> ). Peter Laderach, Kathleen Schepp, Julian Ramirez, Andy Jarvis y Anton Eitzinger .....	54
<b>III. Sociedad, servicios ecosistémicos y cambio climático: estrategias de adaptación</b> .....	65
Defining ecosystem-based adaptation strategies for hydropower production: stakeholders' participation in developing and evaluating alternative land use scenarios and the strategies to achieve desired goals ( <i>Definición de estrategias de adaptación basadas en los ecosistemas para la producción de energía hidroeléctrica: la participación de actores en el desarrollo y la evaluación de escenarios alternativos de uso de la tierra y estrategias para lograr los objetivos deseados</i> ). Raffaele Vignola, Marco Otárola y Gustavo Calvo .....	67
Managing the uncertainty of tropical ecosystem vulnerability to climate change ( <i>Gestión de la incertidumbre de la vulnerabilidad de los ecosistemas tropicales ante el cambio climático</i> ). Benjamin Poulter, Fred Hattermann, Ed Hawkins, Sönke Zaehle, Stephen Sitch, Ursula Heyder y Wolfgang Cramer.....	79

Gestión de riesgos climáticos en el sector agropecuario para la adaptación al cambio climático ( <i>Climate Risk Management in the Agricultural Sector geared towards Adaptation to Climate Change</i> ). Walter E. Baethgen .....	88
Desarrollo de capacidad institucional adaptativa, lucha contra la sequía y servicios ecosistémicos en el norte del Uruguay ( <i>Development of adaptive institutional capacity, fight against drought, and ecosystem services in northern Uruguay</i> ). Walter Oyhantçabal.....	97
Estrategias de comunicación para la adaptación al cambio climático ( <i>Communication strategies for adaptation to climate change</i> ). Arturo Curiel Ballesteros.....	105
Financiamiento de la adaptación: propuestas y retos éticos y metodológicos relevantes para la adaptación basada en ecosistemas ( <i>Financing adaptation: Proposals and ethical challeges relevant to ecosystem-based adaptation</i> ). Pascal O. Girot y Raffaele Vignola .....	116
Base de datos sobre proyectos y actividades relacionadas con adaptación al cambio climático desarrolladas en América Latina y el Caribe ( <i>Database of projects and activities related to climate change adaptation carried out in Latin America and the Caribbean</i> ). Angela Diaz Briones .....	131
<b>Relación de autores y direcciones</b> .....	141

## Presentación

**E**ste libro surge del interés generado en el Seminario Internacional sobre Adaptación al Cambio Climático: el Rol de los Servicios Ecosistémicos (SIAASE 2008) celebrado en el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) en noviembre de 2008, con el objetivo de conocer el papel que juegan los servicios ecosistémicos para la adaptación al cambio climático y cómo la adaptación, a su vez, es importante en los servicios ecosistémicos para reducir la vulnerabilidad de los ecosistemas frente al cambio climático. Aunque es mucho lo que se ha escrito sobre la temática a nivel internacional, este libro presenta una perspectiva regional, abordando los servicios ecosistémicos clave para América Latina. Mucha de la investigación generada para la región, hasta el momento, se concentra en las bases y los protocolos establecidos a nivel internacional; sin embargo, no se consideran las características propias de la región.

Existe una gran parte de la población y de los sectores económicos regionales que dependen de los bienes y servicios que proveen los ecosistemas. Los servicios de provisión y regulación de agua que influyen sobre la producción hidroenergética, el agua potable, la agricultura, la pesca, etc., se consideran esenciales para la existencia humana y, a la vez, muy vulnerables ante los efectos climáticos. En este libro nos cuestionamos cuáles son los servicios ecosistémicos significativos en la región y cómo se deben considerar en el diseño de estrategias de adaptación al cambio climático.

El libro presenta una recopilación de 12 estudios de caso en la región, por medio de los cuales se pretende dar una visión actual del rol de los servicios ecosistémicos para la adaptación al cambio climático. El libro está dirigido a una audiencia amplia, proporcionando un tono de divulgación alto, pero sin dejar de lado el rigor científico y cuidando las fuentes originales. El libro pretende llenar un vacío sobre un tema de gran actualidad en la región de América Latina.

Agradecemos a todas aquellas personas e instituciones como CATIE y el Centro Internacional de Investigación Forestal (CIFOR, por sus siglas en inglés) que han hecho posible la edición de esta obra. A los autores de los artículos les agradecemos su interés e ilusión, así como el importante esfuerzo que han realizado.

Celia Martínez Alonso  
Bruno Locatelli  
Pablo Imbach  
Raffaele Vignola

España, Indonesia y Costa Rica, noviembre 2009



## Prólogo

El clima está cambiando más allá de lo que puede ser explicado por la variabilidad y ciclos climáticos naturales como los fenómenos de El Niño y La Niña. Muchos factores influyen en los cambios observados y la comunidad científica trabaja en el desarrollo de modelos y escenarios de proyección de futuros cambios climáticos. El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) realiza sus proyecciones tomando en cuenta cuatro grupos de posibles escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero. El más benigno de ellos requiere grandes esfuerzos mundiales de mitigación, pero aun así proyecta un aumento en temperatura y variaciones en precipitación que pueden llegar a ser dramáticos en algunas regiones del mundo. Sin embargo, hasta el momento los cambios reales han sido más fuertes que el escenario y el modelo más pesimista analizado por el IPCC. Considerando esta información, sólo se puede llegar a una conclusión: tenemos que prepararnos para la adaptación al cambio climático.

Cada vez más se ha ido reconociendo que los servicios ecosistémicos son importantes para el bienestar de la sociedad. La Evaluación de los Ecosistemas del Milenio explica estas relaciones y muestra, a nivel global, cómo los diferentes ecosistemas y sus servicios son amenazados por las acciones humanas. El IPCC indica que el cambio climático aumenta las amenazas sobre los ecosistemas y sus servicios, y que estos servicios son cada vez más importantes para la supervivencia de muchas personas pobres.

Desafortunadamente, aún sabemos poco sobre cómo el cambio climático va a afectar a los diferentes ecosistemas, sus servicios y el bienestar de la gente que depende de ellos. Los modelos de cambio climático existentes son de resolución baja y todavía no ofrecen proyecciones consistentes para toda la región latinoamericana. Existe una gran necesidad de proyecciones climáticas más confiables a nivel de la región para poder proyectar los impactos, analizar las vulnerabilidades y proponer estrategias de adaptación.

En América Latina y el Caribe, millones de personas dependen en un grado u otro de los servicios ecosistémicos. Por esto, es importante entender las relaciones entre estos y el clima. En esta publicación se puede visualizar la creciente cantidad y calidad de trabajos científicos que se están desarrollando en el tema. Lo novedoso de los trabajos presentados en este libro es el énfasis en los bosques como proveedores de servicios ecosistémicos. Su presencia y grado de degradación son determinantes para la calidad de los servicios, mientras su ubicación y la presencia de personas que requieren de los servicios determinen el valor de ellos.

En América Latina, dos servicios son probablemente los más tangibles en este momento: la regulación del ciclo hídrico (sobre todo en zonas secas, previendo que sean aún más en el futuro) y el secuestro y almacenamiento de carbono. La provisión de variedad de productos en tiempos de emergencia no ha sido evaluada, a pesar de que los informes narrativos de estos productos indican que han logrado sostener la vida humana después de los desastres naturales que arrasaron con cultivos agrícolas. Estos tres servicios ganan nuevo valor en el contexto de cambio climático. En primer lugar, el secuestro y almacenamiento de carbono contribuye a la mitigación del cambio climático. Además, el agua será uno de los recursos naturales más afectados por este cambio, por lo menos en algunas regiones de clima seco (por ejemplo, Mesoamérica y Paraguay). Esto aumentaría el impacto sobre la gente más vulnerable que depende de este recurso para obtener agua potable, hidroenergía o riego de sus cultivos. Por último, se proyecta que en algunas partes de América Latina y el Caribe los eventos extremos fuertes

aumentarán. Por esta razón, es importante que las comunidades logren sobrevivir basándose en sus recursos naturales sin la intervención del gobierno, por lo menos durante varias semanas.

Los artículos aquí presentados muestran el papel importante que pueden tener los servicios que brinda el bosque en la adaptación de las sociedades latinoamericanas. El provecho que obtendrán estas sociedades también dependerá de la calidad de las proyecciones de cambios y sus impactos, de la gobernanza a nivel nacional y local, de la comunicación entre los diferentes actores y de la disponibilidad de recursos financieros y humanos para lograr la adopción de las estrategias más adecuadas. Cuatro son los ejemplos de adaptación sugeridos en los artículos presentados en este libro: mejorar la institucionalidad e involucrar a los actores en la evaluación de su vulnerabilidad y opciones de adaptación frente al cambio climático; establecer y manejar corredores biológicos entre áreas protegidas afectadas por el cambio climático; cambiar o adaptar el sistema productivo; llegar a acuerdos entre actores que viven en la misma cuenca para mejorar el uso y manejo del suelo y, así, reducir la sedimentación y contaminación de las aguas río abajo. Aunque podría parecer poco, el número de ejemplos de adaptación expuestos en este libro ya son un gran avance.

El seminario SIAASE 08, sirvió de base para los artículos presentados en este libro y se convirtió en el inicio de un proceso de intercambio y aprendizaje permanente. De este encuentro nació la Red Temática de Adaptación al Cambio Climático (ADAnet: <http://adaptacionyecosistemas.net>). Además, sirvió de base para la organización del primer curso internacional sobre adaptación al cambio climático y el rol de los servicios ecosistémicos, organizado en CATIE (noviembre 2009). Se espera que estos esfuerzos promuevan otros estudios complementarios que logren identificar y validar muchas más opciones de adaptación al cambio climático para los pueblos de América Latina y el Caribe.

Turrialba  
25 noviembre de 2009  
Bastiaan Louman

---

# I. Introducción



# Servicios ecosistémicos y adaptación al cambio climático

## *Ecosystem services and adaptation to climate change*

Bruno Locatelli<sup>1</sup>, Markku Kanninen<sup>2</sup>

<sup>1</sup>CIRAD UPR Forest Policies - CIFOR ENV Program P.O. Box 0113 BOCBD 16000 Bogor, Indonesia. E-mail: bruno.locatelli@cirad.fr

<sup>2</sup>CIFOR ENV Program P.O. Box 0113 BOCBD 16000 Bogor, Indonesia.

### Resumen

Aun con el interés creciente sobre la adaptación al cambio climático, no se han reconocido hasta ahora los vínculos entre adaptación y ecosistemas en las políticas internacionales o nacionales. En este artículo, argumentamos que los vínculos son de dos tipos. Primero, la adaptación es necesaria para los ecosistemas vulnerables al cambio climático. Segundo, los ecosistemas contribuyen a la reducción de la vulnerabilidad de la sociedad y deberían ser integrados en las políticas de adaptación de varios sectores. Estos vínculos entre adaptación y ecosistemas representan desafíos y oportunidades para los actores locales, los tomadores de decisión y los científicos.

Muchos ecosistemas van a ser afectados por el cambio climático y las perturbaciones asociadas. Existen observaciones de impactos actuales del cambio climático sobre ecosistemas y muchos estudios muestran lo que podrían ser los impactos futuros. Ya se han propuesto medidas de adaptación para los ecosistemas, como medidas que amortiguan las perturbaciones y otras que facilitan la evolución o la transición del ecosistema. La vulnerabilidad de los ecosistemas trae nuevos desafíos para las poblaciones locales, los científicos y los tomadores de decisión en los sectores públicos, privados o asociativos implicados en el manejo de los ecosistemas. Estos desafíos se refieren a entender la vulnerabilidad de los ecosistemas y sus consecuencias para los actores implicados, definir medidas de adaptación para los ecosistemas, seleccionar y aplicar medidas en un contexto de incertidumbre y diseñar políticas que faciliten los procesos de adaptación de los ecosistemas.

Los ecosistemas proveen servicios que contribuyen a reducir la vulnerabilidad de poblaciones y sectores económicos, aun aquellos distantes de los ecosistemas. Los planes de adaptación de estas comunidades o sectores deberían integrar la conservación y manejo sostenible de ecosistemas como una medida de adaptación. Hasta ahora, las políticas de adaptación han tenido generalmente un enfoque sectorial, sin considerar el rol de los ecosistemas en la adaptación de otros sectores. Integrar los ecosistemas en los planes o las políticas de adaptación de la sociedad trae desafíos, por ejemplo, entender y evaluar el rol de los servicios ecosistémicos para la adaptación y crear vínculos institucionales entre los que manejan los ecosistemas y los que se benefician de los servicios. Sin embargo, esta integración representa una oportunidad para la conservación y un manejo más sostenible de los ecosistemas. Esta integración y el interés creciente en la adaptación al cambio climático contribuirán a un mejor reconocimiento del valor de los ecosistemas para el desarrollo sostenible y al planteamiento de políticas de adaptación más sostenibles.

Palabras clave: adaptación, cambio climático, servicios ecosistémicos

### Abstract

Even with the growing interest on adaptation to climate change, the links between adaptation and ecosystems have not yet been recognized in international and national policies. In this paper, we argue the links are twofold. First, adaptation is needed for ecosystems vulnerable to climate change. Second, ecosystems contribute to reducing the vulnerability of society and should be integrated into the adaptation policies of various sectors. These links between adaptation and ecosystems represent challenges and opportunities for local stakeholders, decision makers and scientists.

Many ecosystems will be affected by climate change and the associated perturbations. There are many observations of current impacts of climate change on ecosystems and many studies on future potential impacts. Adaptation measures have already been proposed for ecosystems, such as measures buffering perturbations or measures facilitating ecosystem evolu-

tion or transition. Ecosystem vulnerability brings new challenges to local populations, scientists and decision makers in the public, private or associative sectors involved in ecosystem management. These challenges are related to understanding ecosystem vulnerability and its consequences for stakeholders, defining adaptation measures for ecosystems, selecting and applying measures in a context of uncertainties, and designing policies that facilitate the processes of ecosystem adaptation.

Ecosystems provide services that contribute to reducing the vulnerability of populations and economic sectors, even those located far away from the ecosystems. Adaptation plans for these communities or sectors should integrate ecosystem conservation or sustainable management as an adaptation measure. So far, adaptation policies have generally followed a sectoral approach, without considering the role of ecosystems in the adaptation of other sectors. Integrating ecosystems in societal adaptation plans or policies brings challenges, such as understanding and assessing the role of ecosystem services for adaptation and creating institutional linkages between those managing the ecosystems and those benefiting from the services. However, this integration represents an opportunity for ecosystem conservation and sustainable management. This integration and the growing interest in adaptation to climate change will contribute to a better recognition of ecosystem value for sustainable development and to more sustainable adaptation policies.

Keywords: adaptation, climate change, ecosystem services

---

## 1. Introducción

Desde la publicación de su primer informe de evaluación en el año 1990, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) ha presentado evidencias incontrovertibles de los cambios observados y previstos del clima y sus impactos sobre sociedades y ecosistemas (IPCC 2007). Como respuesta a este problema, se proponen dos grandes tipos de medidas: la mitigación (reducir la acumulación de gases de efecto invernadero en la atmósfera) y la adaptación (reducir la vulnerabilidad de las sociedades y los ecosistemas que enfrentan el cambio climático). Hasta ahora, los acuerdos internacionales, como la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC, por sus siglas en inglés) han puesto énfasis en la mitigación. Sin embargo, con las evidencias de que unos grados de calentamiento global son inevitables, se está poniendo cada vez más atención a la adaptación a nivel internacional, nacional y local.

Para la mitigación, los ecosistemas tienen un papel reconocido por los acuerdos internacionales actuales o en discusión. Por ejemplo, los proyectos de forestación y reforestación pueden entrar en el Mecanismo de Desarrollo Limpio y vender créditos de carbono por su contribución a la mitigación del cambio climático mediante secuestro de carbono. Otro ejemplo se refiere a las discusiones actuales (2009) sobre la inclusión de la Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación (REDD) en un acuerdo internacional.

Aun con el interés creciente sobre la adaptación al cambio climático, no se han reconocido hasta ahora los vínculos entre adaptación y ecosistemas en las políticas internacionales o nacionales. En ese capítulo se presentan los dos grandes tipos de vínculos. Primero, la adaptación es necesaria para los ecosistemas vulnerables al cambio climático porque se necesita implementar medidas para reducir los impactos (sección 2). Segundo, los ecosistemas contribuyen a la reducción de la vulnerabilidad de la sociedad y deberían ser integrados en las políticas de adaptación de varios sectores (sección 3). Estos vínculos entre adaptación y ecosistemas representan desafíos para los actores locales, los tomadores de decisión y los científicos, así como oportunidades que se presentan a continuación.

## 2. Adaptación para los ecosistemas

Muchos ecosistemas van a ser afectados por el cambio climático y las perturbaciones asociadas (por ejemplo, inundaciones, sequías, incendios y insectos: ver Dale et al. 2001) y otros factores de cambios (por ejemplo,

cambios de uso del suelo, contaminación del agua o el aire y sobre aprovechamiento). En esta sección, se presentan evidencias de la vulnerabilidad de los ecosistemas con énfasis en zonas tropicales y subtropicales, así como opciones de adaptación y desafíos asociados.

## 2.1 Vulnerabilidad de los ecosistemas

El concepto de vulnerabilidad es esencial para entender la adaptación. Según el IPCC (McCarthy et al. 2001), la vulnerabilidad es “el grado por el cual un sistema es susceptible o incapaz de enfrentarse a efectos adversos del cambio climático, incluidas la variabilidad y los extremos del clima”. Según esa definición que se puede aplicar a un sistema ecológico o socioeconómico, la vulnerabilidad tiene tres componentes: la exposición, la sensibilidad y la capacidad de adaptación.

Algunos ejemplos de factores de exposición son los cambios en el clima y la variabilidad climática (aumentos de temperatura, cambios en precipitación, cambios en los patrones de las temporadas, tormentas y huracanes), el aumento en los niveles de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, el aumento del nivel del mar y otros factores no relacionados con el cambio climático (cambio de uso del suelo, fragmentación del paisaje, aprovechamiento de recursos naturales, contaminación).

La sensibilidad es el grado en el cual está afectado un sistema (de manera perjudicial o beneficiosa) debido a estímulos externos al sistema y sin que haya adaptación autónoma de este. Por ejemplo, la sensibilidad puede inducir cambios en los procesos a nivel de árboles (productividad y crecimiento), en la distribución de especies, en las condiciones de sitio (suelos), en la estructura del ecosistema (densidad y altura) y en los regímenes de perturbaciones (incendios y plagas).

La vulnerabilidad de un ecosistema depende también de su capacidad adaptativa. Las especies que componen un ecosistema pueden adaptarse a los cambios mediante plasticidad fenotípica (aclimatación), evolución adaptativa o migración a sitios más adecuados (Markham 1996; Bawa y Dayanandan 1998). La capacidad adaptativa de los ecosistemas depende de la capacidad adaptativa de las especies, la diversidad de grupos funcionales y la diversidad de especies dentro de los grupos funcionales, por la redundancia que provee la diversidad (Walker 1992 y 1995; Peterson et al. 1998). Aun si se desconoce la capacidad adaptativa de muchos ecosistemas, se anticipa que esa capacidad podría ser insuficiente para enfrentar los cambios climáticos previstos (Gitay et al. 2002; Julius et al. 2008; Seppala et al. 2009). Por ejemplo, los cambios climáticos podrían requerir capacidad de migración mucho mayor que la observada después del último periodo glacial (Malcolm et al. 2002; Pearson 2006).

Actualmente se han observado impactos del cambio climático y la variabilidad climática sobre ecosistemas, por ejemplo, en los bosques tropicales. Cambios en estructura, funcionamiento y ciclo del carbono han sido reportados (Root et al. 2003; Fearnside 2004; Malhi y Phillips 2004). Otros cambios observados y vinculados al cambio climático se refieren a pérdidas de especies, como el sapo dorado (*Bufo periglenes*) en bosques nubosos de Costa Rica (Pounds et al. 1999 y 2006).

Se anticipa que el cambio climático podría causar cambios significativos en la distribución de los bosques tropicales húmedos y los patrones de perturbaciones. Por ejemplo, las posibles sequías inducidas por el cambio climático en la Amazonía es tema de preocupación creciente, ya que podría causar un aumento de los incendios, la degradación del bosque húmedo y su sustitución por sabanas (Cox et al. 2004; Scholze et al. 2006; Nepstad et al. 2008).

Los bosques tropicales nubosos son particularmente vulnerables desde un punto de vista del cambio climático, debido a que los cambios en la temperatura o las precipitaciones, aun a pequeña escala, pueden impactar fuertemente estos bosques ubicados en zonas con condiciones especiales y gradientes fuertes de clima (Foster 2002). El calentamiento global puede aumentar la altura de las nubes que proveen humedad a los bosques nubosos (Pounds et al. 1999). A menudo, las especies de esos bosques tienen que migrar a mayores elevaciones, con un espacio disponible cada vez más reducido (Hansen et al. 2003). Por esta razón, se justifica observar los cambios en los bosques nubosos y en general en gradientes de elevación, como medida de monitoreo de los impactos del cambio climático (Loope y Giambelluca 1998).

Los bosques tropicales secos son muy sensibles a cambios en las precipitaciones que pueden afectar la productividad y la supervivencia de las especies (Hulme 2005). El cambio climático causará mayor desplazamiento de las zonas de vidas de los bosques secos, por ejemplo, en Tanzania y Costa Rica (Mwakifwamba y Mwakasonda 2001; Enquist 2002). La reducción de las precipitaciones y la prolongación de las temporadas secas pueden aumentar los riesgos de incendios. Sin embargo, incendios más frecuentes pueden reducir la cantidad de material combustible y por lo tanto el riesgo de incendio a largo plazo (Goldammer y Price 1998; Hansen et al. 2003).

Los manglares tropicales son también amenazados por el cambio climático. La amenaza principal viene del aumento del nivel del mar y los cambios asociados en las dinámicas de sedimentación y erosión (Hansen et al. 2003). Cambios en temperatura o eventos extremos como las tormentas pueden también afectar los manglares.

En las zonas subtropicales, los bosques ya enfrentan temperaturas altas y sequías prolongadas que causan incendios. Los escenarios climáticos muestran una tendencia hacia menos precipitación y más evapotranspiración, lo que induciría una reducción en la productividad y un aumento de incendios, por lo menos a corto plazo, antes de que los cambios en los ecosistemas reduzcan la cantidad de combustible (Fischlin et al. 2009).

Los impactos del cambio climático sobre los ecosistemas van a tener consecuencias sobre la biodiversidad; por ejemplo, en los bosques subtropicales, el 40% de las especies podrían desaparecer (Fischlin et al. 2009). Los cambios tendrán consecuencias además sobre el secuestro de carbono en los ecosistemas. Muchos estudios de modelación del carbono de la biósfera muestran que la capacidad de los ecosistemas de secuestrar carbono podría degradarse severamente bajo escenarios de cambio climático (Cramer et al. 2004). Esa perspectiva es tema de mucha preocupación, debido a que la degradación de ecosistemas y la emisión de carbono a la atmósfera refuerzan el cambio climático.

Los impactos del cambio climático sobre los ecosistemas también van a afectar a las personas que viven en los bosques así como a los sectores forestales. La producción de madera cambiará de manera diferente según las regiones, dependiendo de las condiciones climáticas (Osman-Elasha y Parrotta 2009). Una gran parte de la población rural, particularmente en países en desarrollo, depende de los productos ecosistémicos, maderables o no, para sus modos de vida, la seguridad alimenticia y la salud, por ejemplo, mediante la cosecha de plantas medicinales (Vedeld et al. 2004; Colfer 2008).

## **2.2 Adaptación y desafíos**

La vulnerabilidad de los ecosistemas trae nuevos desafíos para las poblaciones locales, los científicos y los tomadores de decisión en los sectores públicos, privados o asociativos implicados en el manejo de los ecosistemas.

La necesidad de entender la vulnerabilidad de los ecosistemas y sus consecuencias para las poblaciones locales y los sectores implicados en el manejo de los ecosistemas es un desafío. Este se presenta ante los científicos y los actores. Evaluaciones de vulnerabilidad que implican solamente a científicos no suelen facilitar procesos de adaptación (Füssel 2007), mientras que los actores implicados en las evaluaciones tienden a enfocarse más en la adaptación. La solución a este desafío requiere integrar factores climáticos y socioeconómicos en el análisis de vulnerabilidad y entender la vulnerabilidad actual de los actores (Burton et al. 2002; Ribot 2009), para luego diseñar medidas de adaptación adecuadas al contexto local, especialmente al contexto institucional (Agrawal 2008; Boyd 2008).

Otro desafío es la definición de medidas de adaptación para los ecosistemas. Ya se han propuesto medidas, particularmente para las zonas templadas y boreales; sin embargo, algunas se pueden aplicar en zonas tropicales y subtropicales (e.g. Noss 2001; Spittlehouse y Stewart 2003; Hansen et al. 2003; Millar et al. 2007; Fischlin et al. 2007; Guariguata et al. 2008; Ogden y Innes 2007 y 2008). Se pueden distinguir dos grandes tipos de medidas, tal como lo proponen Smithers y Smith (1997) para la adaptación en general (Figura 1). El primer tipo incluye las medidas que buscan amortiguar las perturbaciones, aumentando la resistencia y la resiliencia del ecosistema frente a los cambios (por ejemplo, prevenir los fuegos, manejar las especies invasivas y las plagas, manejar y restaurar el ecosistema después de una perturbación). El segundo tipo incluye medidas que buscan facilitar la evolución o la transición del ecosistema hacia un nuevo estado adaptado a las nuevas condiciones (por ejemplo, aumentar la conectividad del paisaje, conservar ecosistemas en un gradiente de condiciones ambientales, conservar la diversidad genética en ecosistemas naturales, modificar el manejo de ecosistemas plantados o aprovechados).

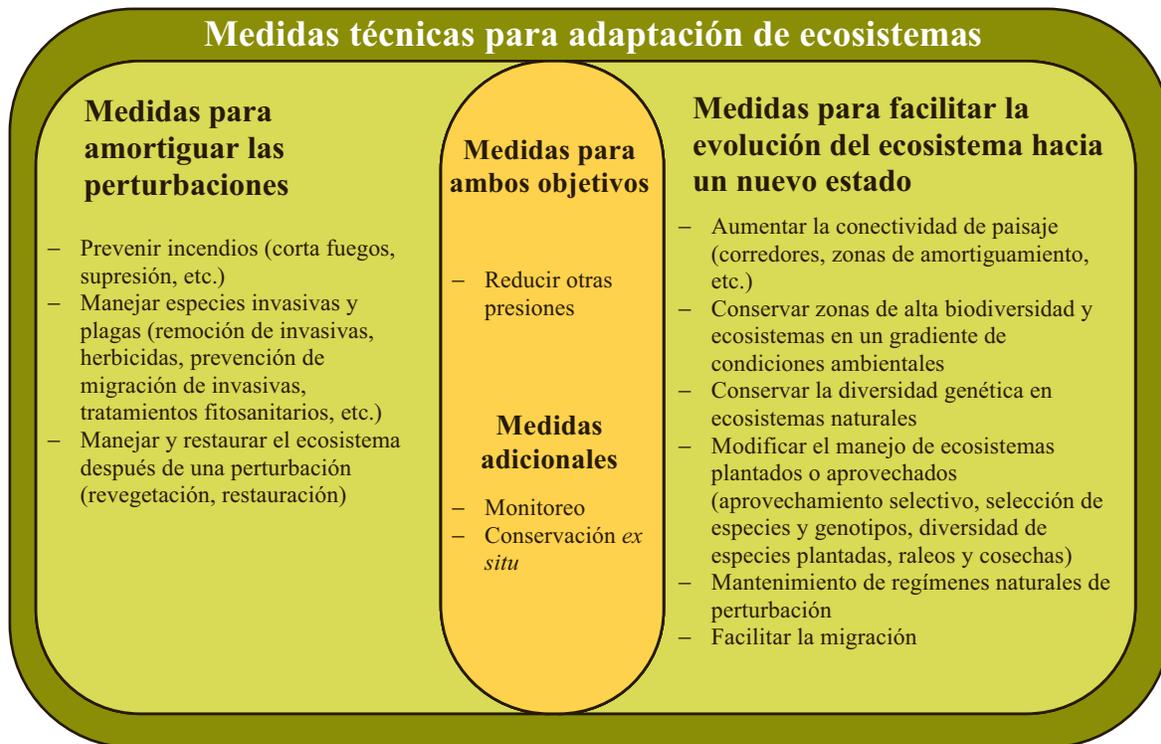


Figura 1. Ejemplos de medidas técnicas de adaptación de ecosistemas (adaptado de Locatelli et al. 2008).

Las medidas que buscan amortiguar las perturbaciones no son una panacea, porque pueden ser efectivas sólo a corto o mediano plazo y fallar cuando las condiciones ambientales difieran mucho de las condiciones iniciales. Estas medidas deberían ser usadas para ecosistemas valiosos para la sociedad, debido a sus costos (Millar et al. 2007). Al contrario, las medidas que buscan facilitar la evolución o la transición del ecosistema no intentan resistir al cambio y tienen una perspectiva más a largo plazo. En todos los casos, la capacidad adaptativa del ecosistema es un parámetro clave, no necesariamente para conservar el ecosistema en su estado inicial, sino para facilitar su evolución hacia un estado aceptable para los actores o la sociedad.

Un desafío en la selección y la aplicación de medidas de adaptación viene de las respuestas de los ecosistemas y las incertidumbres sobre el clima futuro (Mitchell y Hulme 1999). La selección de unas pocas medidas puede ser relevante para sistemas menos complejos (por ejemplo, una plantación monoespecífica) expuestos a tendencias climáticas claras. Sin embargo, en la gran mayoría de los casos, se requerirán enfoques flexibles y diversificados que combinen medidas seleccionadas en una “caja de herramientas” para la adaptación (Millar et al. 2007). La adaptación debe implementarse en el marco del manejo adaptativo colaborativo con participación de los actores y mecanismos de monitoreo, evaluación de resultados, producción de conocimiento y revisión de las acciones (CIFOR 2008; Innes et al. 2009).

Otros desafíos se refieren a las políticas que pueden facilitar procesos de adaptación de los ecosistemas. En muchos países, el primer paso para facilitar la adaptación es la definición de nuevas políticas o la ejecución de políticas existentes para la conservación o el manejo sostenible de ecosistemas. En lugares donde las amenazas no climáticas, como la deforestación, son las principales razones de degradación ambiental, hablar de adaptación de los ecosistemas es irrelevante y puede parecerse a un ejercicio puramente académico. El manejo sostenible de los bosques, por ejemplo, es un paso importante para reducir la vulnerabilidad forestal. En las comunicaciones nacionales y los programas de acción para la adaptación de los países tropicales a la UNFCCC, las medidas propuestas para la adaptación de los bosques son principalmente el manejo forestal comunitario y la reforestación (Roberts 2008). Esas actividades no son específicas de la adaptación al cambio climático, lo que muestra que la prioridad para la adaptación en muchos países tropicales es lograr primero un manejo sostenible de los ecosistemas.

### **3. Ecosistemas para la adaptación**

Los ecosistemas proveen servicios que contribuyen a reducir la vulnerabilidad de sectores económicos y poblaciones que se encuentran fuera del bosque. En esta parte, se presentan ejemplos del rol de los servicios ecosistémicos para la adaptación, así como las oportunidades asociadas.

#### **3.1 Servicios ecosistémicos y vulnerabilidad**

Los ecosistemas proveen servicios a diferentes escalas, desde las comunidades locales hasta el mundo. Los autores de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (EM 2003 y 2005) proponen distinguir entre tres tipos de servicios directamente recibidos por la gente (Figura 2): los servicios de suministro (que contribuyen a producir “bienes” como alimentos, fuentes de energía, bioquímicos, recursos genéticos, fibras y madera), los servicios de regulación (como la regulación del clima, de la cantidad y calidad de agua, de las enfermedades, de la fuerza de los vientos o las olas) y los servicios culturales (por ejemplo, espirituales, religiosos o educativos).

Los servicios ecosistémicos contribuyen al bienestar humano mediante la seguridad, los materiales básicos para la vida, la salud y las relaciones sociales (Figura 2 y MEA, 2005). En los vínculos entre ecosistemas y bienestar humano presentados por la EM, muchos elementos se refieren a la vulnerabilidad de la sociedad al cambio

climático. Por ejemplo, los servicios de regulación reducen la exposición a eventos climáticos: pueden moderar la fuerza de las olas o los vientos (Adger et al. 2005), reducir la temperatura del aire durante olas de calor, por ejemplo, en zonas urbanas (Gill et al. 2007) o regular la calidad o cantidad de agua durante la temporada seca (Imbach et al. 2009). En Costa Rica, el aumento actual de la intensidad de las precipitaciones es un tema de preocupación para el sector hidroeléctrico debido al aumento de la erosión en las cuencas y la sedimentación en los embalses. La conservación de los bosques y el suelo en las cuencas aguas arriba es entonces una medida de adaptación al cambio climático (Vignola y Calvo 2008). Los servicios de suministro reducen la sensibilidad de las comunidades al cambio climático porque representan una seguridad; por ejemplo, en África, cuando la ganadería o la agricultura son afectadas por eventos climáticos, muchas comunidades rurales usan productos forestales no maderables para el consumo directo o para la venta (Paavola 2008).

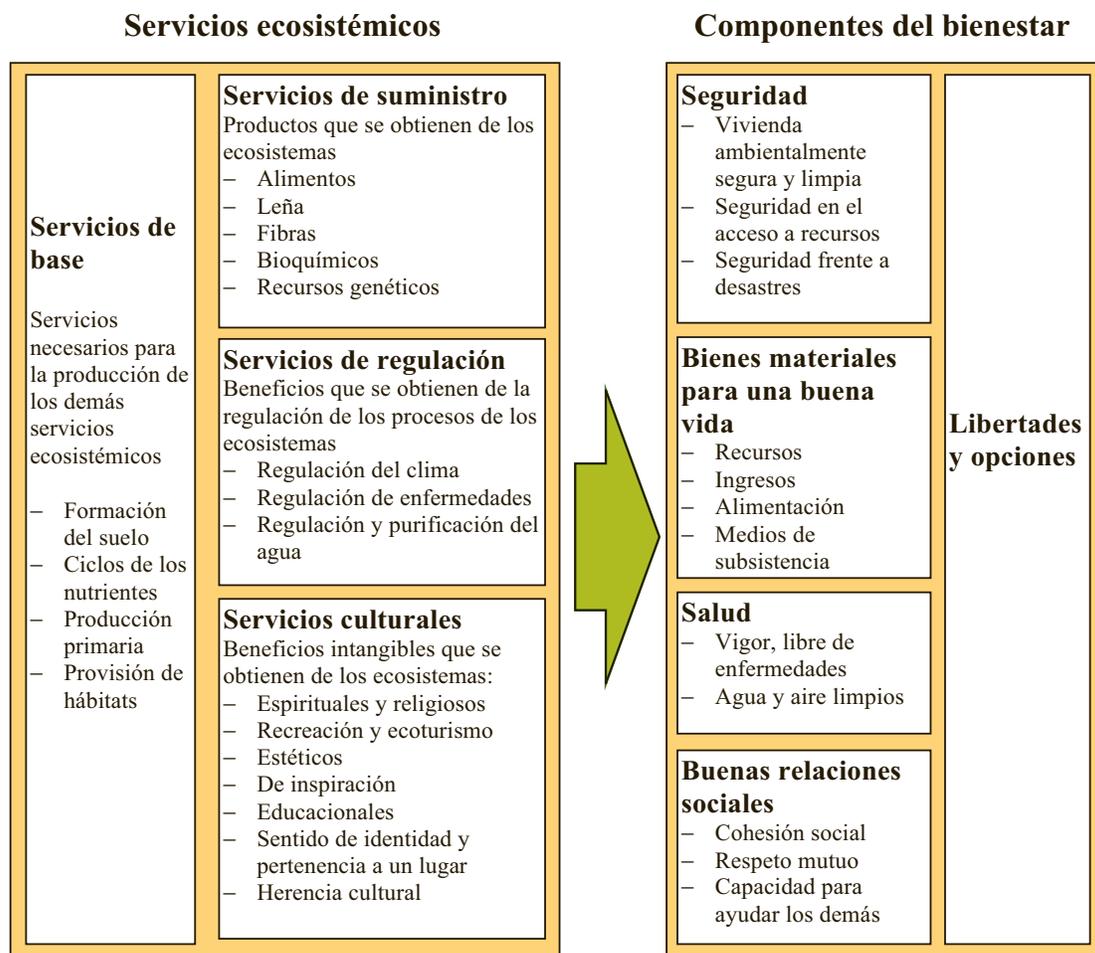


Figura 2. Ejemplos de servicios ecosistémicos y sus vínculos con el bienestar humano (adaptado del Millennium Ecosystem Assessment 2003).

### 3.2 Oportunidades para los ecosistemas

En muchas partes del mundo, los servicios ecosistémicos están amenazados por presiones humanas así como también por el cambio climático. Como la degradación y conversión de ecosistemas por cambio de uso del suelo o sobre aprovechamiento tienen consecuencias sobre la sociedad vulnerable al cambio climático, los planes de adaptación de comunidades o sectores, aun distantes de los ecosistemas, deberían considerar la conservación y manejo sostenible como una medida de adaptación (Locatelli et al. 2008). Por ejemplo, se debería promover los ecosistemas en los planes de adaptación de sectores como el agua, la hidroenergía, los transportes o la protección civil. Hasta ahora, las políticas de adaptación han tenido generalmente un enfoque sectorial, sin considerar el rol de los ecosistemas en la adaptación de otros sectores.

Integrar los ecosistemas en los planes o las políticas de adaptación de la sociedad trae desafíos, por ejemplo, entender y evaluar el rol de los servicios ecosistémicos para la adaptación y crear vínculos institucionales entre quienes manejan los ecosistemas y quienes se benefician de los servicios. Sin embargo, esta integración representa una oportunidad para la conservación y un manejo más sostenible de los ecosistemas. Con esta integración y con el interés creciente en la adaptación al cambio climático, se reconocería más el valor de los ecosistemas y su importancia para el desarrollo sostenible.

## 4. Conclusiones

El cambio climático y las perturbaciones asociadas afectarán a los ecosistemas, lo que tendrá consecuencias sobre comunidades rurales y actores implicados en el manejo de los ecosistemas. La adaptación de los ecosistemas y los actores directamente implicados representa varios desafíos para estos actores, los científicos y los tomadores de decisión a nivel local, nacional e internacional.

Los servicios ecosistémicos pueden contribuir a reducir la vulnerabilidad de muchos sectores de la sociedad y de comunidades aun alejadas de los ecosistemas, en el ámbito local, nacional o regional. Este rol de los servicios ecosistémicos para la adaptación al cambio climático puede representar una oportunidad para la definición e implementación de medidas de conservación y de manejo sostenible de los ecosistemas, con la participación de diferentes sectores de la sociedad.

El concepto de adaptación basado en ecosistemas (EBA, por sus siglas en inglés, *Ecosystem-Based Adaptation*) ha emergido recientemente en las discusiones internacionales sobre adaptación al cambio climático, con propuestas enviadas a la UNFCCC por países y organizaciones no gubernamentales en diciembre de 2008 (por ejemplo, IUCN 2008) y en 2009 (por ejemplo, por Brasil, Costa Rica, Panamá y Sri Lanka). EBA es un conjunto de medidas y políticas que considera el papel de los ecosistemas en la reducción de la vulnerabilidad de la sociedad al cambio climático, con un enfoque multi sectorial y multi escalas. EBA involucra a diferentes actores (por ejemplo, autoridades locales y nacionales, comunidades locales, sectores privados, ONG) para lograr un manejo más sostenible de los ecosistemas con una perspectiva de adaptación de la sociedad. Este enfoque para la adaptación presenta oportunidades para los ecosistemas así como para la sostenibilidad de la adaptación al cambio climático.

## Bibliografía

- Adger, W.N., Arnell N.W., Tompkins E.L. 2005. Successful adaptation to climate change across scales. *Global Environmental Change* 15: 77–86.
- Agrawal, A. 2008. The role of local institutions in adaptation to climate change. *International Forestry Research and Institutions Program (IFRI) Working Paper no. W08I-3*, University of Michigan.

- Bawa, K.S., Dayanandan, S. 1998 Global climate change and tropical forest genetic resources. *Climatic Change* 39: 473-485.
- Boyd, E. 2008 Navigating Amazonia under uncertainty: past, present and future environmental governance. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 363: 1911–1916.
- Burton, I., Huq, S., Lim, B., Pilifosova, O., Schipper, E.L. 2002. From impact assessment to adaptation priorities: the shaping of adaptation policy. *Climate Policy* 2: 145-149.
- CIFOR (Center for International Forestry Research). 2008. Adaptive collaborative management can help us cope with climate change. CIFOR InfoBrief 13: 4, Bogor, Indonesia.
- Colfer, C.J.P. (ed.) 2008 Human health and forests: a global overview of issues, practice and policy. Earthscan, London, UK. 374p.
- Cox, P.M., Betts, R.A., Collins, M., Harris, P.P., Huntingford, C., Jones, C.D. 2004 Amazonian forest dieback under climate-carbon cycle projections for the 21st century. *Theoretical and Applied Climatology* 78: 137-156.
- Cramer, W., Bondeau, A., Schaphoff, S., Lucht, W., Smith, B., Sitch, S. 2004 Tropical forests and the global carbon cycle: impacts of atmospheric carbon dioxide, climate change and rate of deforestation. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B* 359: 331-343.
- Dale, V.H., L.A. Joyce, S. McNulty, R.P. Neilson, M.P. Ayres, M.D. Flannigan, P.J. Hanson, L.C. Irland, A.E. Lugo, C.J. Peterson, D. Simberloff, R.J. Swanson, B.J. Stocks, B.M. Wotton. 2001. Climate change and forest disturbances. *Bioscience* 51:723-734.
- Enquist, C.A.F. 2002. Predicted regional impacts of climate change on the geographical distribution and diversity of tropical forests in Costa Rica. *Journal of Biogeography* 29(4): 519-534.
- Fearnside, P.M. 2004. Are climate change impacts already affecting tropical forest biomass? *Global Environmental Change* 14: 299–302.
- Fischlin, A., M. Ayres, D. Karnosky, S. Kellomaki, B. Louman, C. Ong, G.-K. Paltner, H. Santoso, I. Thompson. 2009. Future environmental impacts and vulnerabilities. Pages 53-100 in R. Seppala, A. Buck and P. Katila (eds.), *Adaptation of forests and people to climate change: a global assessment report*. IUFRO World Series Vol. 22. Helsinki.
- Fischlin, A., Midgley, G.F., Price, J.T., Leemans, R., Gopal, B., Turley, C., Rounsevell, M.D.A., Dube, O.P., Tarazona, J., Velichko, A.A. 2007. Ecosystems, their properties, goods and services. Pages 211-272 in M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson (eds.), *Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Foster, P. 2002 The potential negative impacts of global climate change on tropical montane cloud forests. *Earth-Science Reviews* 55(1-2): 73-106.
- Füssel, H.M. 2007. Adaptation planning for climate change: concepts, assessment approaches, and key lessons. *Sustainability Science* 2: 265-275.
- Gill, S.E., Handley, J.F., Ennos, A.R., Pauleit, S. 2007. Adapting Cities for Climate Change: The Role of the Green Infrastructure. *Built Environment* 33(1): 115-133. doi: 10.2148/benv.33.1.115
- Gitay, H., Suarez, A., Watson, R.T., Dokken, D.J. (eds.) 2002. *Climate change and biodiversity*. A Technical Paper of the IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), Geneva, Switzerland.
- Goldammer, J.G., Price, C. 2008 Potential impacts of climate change on fire regimes in the tropics based on MAGICC and a GISS GCM-derived lightning model. *Climatic Change* 39, 273-296.
- Guariguata, M.R., Cornelius, J.P., Locatelli, B., Forner, C. Sánchez-Azofeifa, G.A. 2008. Mitigation needs adaptation: tropical forestry and climate change. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 13, 793-808.
- Hansen, L.J., Biringer, J.L. Hoffman, J.R. 2003. *Buying time: a user's manual for building resistance and resilience to climate change in natural systems*. WWF, Climate Change Program, Berlin, Germany. 246p.
- Hulme, P.E. 2005. Adapting to climate change: is there scope for ecological management in the face of a global threat? *Journal of Applied Ecology*, 42, 784-794.
- Imbach, P., Molina, L., Locatelli, B., Corrales, L. 2010. Vulnerabilidad de los servicios ecosistémicos hidrológicos al cambio climático en Mesoamérica.
- Innes, J., Joyce, L.A, Kellomaki, S., Louman, B., Ogden, A., Parrotta, J., Thompson, I. 2009. Management for adaptation. Pages 135-169 in *Future environmental impacts and vulnerabilities*. Pages 53-100. In: Seppala, R., Buck, A., Katila, P. (eds.), *Adaptation of forests and people to climate change: a global assessment report*. IUFRO World Series Vol. 22. Helsinki.
- IPCC. 2007. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 976 pp.
- IUCN. 2008. *Ecosystem-based adaptation: An approach for building resilience and reducing risk for local communities and ecosystems*. A submission by IUCN to the Chair of the AWG-LCA with respect to the Shared Vision and Enhanced Action on Adaptation. UNFCCC, 2008.
- Julius, S.H., West, J.M. (eds.), Baron, J.S., Griffith, B., Joyce, L.A., Kareiva, P., Keller, B.D., Palmer, M.A., Peterson, C.H., Scott, J.M. (authors). 2008. Preliminary review of adaptation options for climate-sensitive ecosystems and resources. A Report by the U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, USA, 873 pp.

- Locatelli, B., Kanninen, M., Brockhaus, M., Colfer, C.J.P., Murdiyarto, D., Santoso, H. 2008. Facing an uncertain future: How forests and people can adapt to climate change. *Forest Perspectives* no. 5. CIFOR, Bogor, Indonesia, 97 p.
- Loope, L.L., Giambelluca, T.W. 1998. Vulnerability of island tropical montane cloud forests to climate change with special reference to East Maui, Hawaii. *Climatic Change* 39, 503-517.
- Malcolm, J.R., Markham, A., Neilson, R.P., Garaci, M. 2002. Estimated migration rates under scenarios of global climate change. *Journal of Biogeography* 29, 835-849
- Malhi, Y., Phillips, O.L. 2004. Tropical forests and global atmospheric change: a synthesis. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B* 359, 549-555.
- Markham, A. 1996. Potential impacts of climate change on ecosystems: review of implications for policymakers and conservation biologists. *Climate Research* 6, 179-191.
- McCarthy, J.J., Canziani, O.F., Leary, N.A., Dokken, D.J., White, K.S. (eds.). 2001. *Climate change 2001: impacts, adaptation and vulnerability*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Millar, C.I., Stephenson, N.L., Stephens, S.L. 2007. Climate change and forests of the future: managing in the face of uncertainty. *Ecological Applications* 17(8), 2145-2151.
- Millennium Ecosystem Assessment. 2003. *People and ecosystems: a framework for assessment and action*. Island Press, Washington, DC.
- Millennium Ecosystem Assessment. 2005. *Ecosystems and human well-being: synthesis*. Island Press, Washington, DC.
- Mitchell, T.D., Hulme, M. 1999. Predicting regional climate change: living with uncertainty. *Progress in Physical Geography* 23 (1), 57-78.
- Mwakifwamba, S., Mwakasonda, S. 2001. *Assessment of vulnerability and adaptation to climate change in the forest sector in Tanzania*. The Centre for Energy, Environment, Science and Technology (CEEST), Tanzania.
- Nepstad, D.C., Stickler, C.M., Soares-Filho, B. Merry, F. 2008. Interactions among Amazon land use, forests and climate: prospects for a near-term forest tipping point. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 363(1498), 1737-1746.
- Noss, R.F. 2001. Beyond Kyoto: forest management in a time of rapid climate change. *Conservation Biology* 15 (3), 578-590.
- Ogden, A.E., Innes, J.L. 2008. Climate change adaptation and regional forest planning in southern Yukon, Canada. *Mitig Adapt Strateg Glob Change* 13, 833-861.
- Ogden, A.E., Innes, J.L. 2007. Incorporating climate change adaptation considerations into forest management planning in the boreal forest. *International Forestry Review* 9, 713-733.
- Osman-Elasha, B., Parrotta, J. (Coordinating Lead authors); Adger, N., Brockhaus, M., Colfer, C.J.P., Sohngen, B. (lead authors), Dafalla, T., Joyce, L.A., Nkem, J., Robledo, C. (contributing authors). *Future Socioeconomic Impacts and Vulnerabilities*. pp. 101-122 (Chapter 4) In: Seppälä, R., Buck, A., Katila, P. (eds.). 2009. *Adaptation of Forests and People to Climate Change - A Global Assessment Report*. IUFRO World Series Vol. 22. Helsinki. 224 p.
- Paavola, J. 2008. Livelihoods, vulnerability and adaptation to Climate Change in Morogoro, Tanzania. *Environmental Science & Policy* 11 (7), 642-654.
- Pearson, R.G. 2006. Climate change and the migration capacity of species. *Trends in Ecology and Evolution* 21 (3), 111-113.
- Peterson, G., Allen, C.R., Holling, C.S. 1998. Ecological resilience, biodiversity, and scale. *Ecosystems* 1, 6-18.
- Pounds, J.A., Bustamant, M.R., Coloma, L.A., Consuegra, J.A., Fogden, M.P.L., Foster, P.N., La Marqua, E., Masters, K.L., Moreno-Viteri, A., Puschendorf, R., Ron, S.R., Struebing, G.A., Still, C.J., Young, B.E. 2006. Widespread amphibian extinctions from epidemic disease driven by global warming. *Nature* 439, 161-167.
- Pounds, J.A., Fogdan, M.P.L., Campbell, J.H. 1999. Biological response to climate change on a tropical mountain. *Nature* 398, 611-615.
- Ribot, J.C. 2009. Vulnerability does not just come from the sky: Toward Multi-scale Pro-poor Climate Policy. in Robin Mearns and Andrew Norton (eds.). *Social Dimensions of Climate Change: Equity and Vulnerability in a Warming World*. Washington, DC: The World Bank.
- Roberts, G. 2008. *Policies and Instruments for the Adaptation of Forests and the Forest Sector to Impacts of Climate Change as Indicated in United Nations Framework Convention on Climate Change National Reports*. IUFRO, Vienna. 119 p.
- Root T.L., Price J.T., Hall K.R., Schneider S.H., Rosenzweig C., Pounds J.A. 2003. Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature* 421, 57-60.
- Scholze, M., Knorr, W., Arnell, N.W., Prentice, I.C. 2006. A climate-change risk analysis for world ecosystems. *PNAS* 103: 13116-13120.
- Sépala, R., Buck A., Katila P. (eds.). 2009. *Adaptation of forests and people to climate change: a global assessment report*. IUFRO World Series Vol. 22.
- Smithers, J., Smit, B. 1997. Human adaptation to climatic variability and change. *Global Environmental Change* 7(2), 129-146.
- Spittlehouse, D.L., Stewart, R.B. 2003. Adaptation to climate change in forest management. *BC Journal of Ecosystems and Management*, 4 (1), 1-11.
- Vedeld, P., Angelsen A., Sjaastad E., Berg G. K. 2004. *Counting on the Environment: Forest Incomes and the Rural Poor*. World Bank, Washington, D. C. Environment Department Working Paper No. 98.
- Vignola, R., Otarola, M., Calvo, G. 2010. Defining ecosystem-based adaptation strategies for hydropower production: stakeholders' participation in developing and evaluating alternative land use scenarios and the strategies to achieve desired goals.
- Walker, B.H. 1992. Biodiversity and ecological redundancy. *Conservation Biology* 6, 18-23.
- Walker, B.H. 1995. Conserving biological diversity through ecosystem resilience. *Conservation Biology* 9, 747-52.

---

## II. Impactos del cambio climático sobre los ecosistemas y sus servicios



# Future climate change scenarios and their application for studies of impacts, vulnerability, and adaptation in Brazil

## *Escenarios futuros de cambio climático y su aplicación a estudios de impactos, vulnerabilidad y adaptación en Brasil*

Jose A. Marengo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro de Ciencias do Sistema Terrestre (CCST), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Cachoeira Paulista, São Paulo, 12630-000, Brazil. E-mail: jose.marengo@cptec.inpe.br

### Abstract

Regional climate change projections for the last half of the 21st century have been produced for South America, as part of various research initiatives in Brazil. Three regional climate models were nested within the HadAM3P global model. The simulations cover a 30-year period representing present climate (1961–1990) and two future scenarios for the IPCC emission scenarios A2 and B2 for the period 2071–2100. The focus is on changes in the mean temperature and precipitation, as well as temperature and precipitation based climate extremes. There are indications that regions such as Northeast Brazil and central-eastern and southern Amazonia may experience rainfall deficiency in the future, while the Northwest coast of Peru-Ecuador and southern Brazil-northern Argentina may experience rainfall increases in a warmer future. These changes may vary with the seasons. Extreme rainfall events may be more frequent and intense in regions such as southern Brazil and western Amazonia, while dry spells would be more frequent and longer in the eastern Amazonia and northeast Brazil regions.

The three models show warming in the A2 scenario stronger in the tropical region, both in summer and especially in winter, reaching up to 6-8°C warmer than in the present scenario. Indices of temperature extremes, such as warm nights, show a steep increase in the future and, together with reductions in the frequency of cold nights, all of these lead to a climate change global warming scenario. Impacts of climate change on the hydroelectric generation and agricultural production in some regions of Brazil, as well as on ecosystem services provided by the Amazon basin are also discussed. All of this shows a variety of impacts on population and economy, identifying vulnerabilities and the need for adaptation measures to mitigate the effects of climate change.

Keywords: Amazonia, climate change, ecosystem services, impacts, regional climate models, vulnerability

### Resumen

Se han producido proyecciones regionales de cambio climático para la segunda mitad del siglo XXI en América del Sur, como parte de diversas iniciativas de investigación en Brasil. Tres modelos climáticos regionales fueron anidados dentro del modelo global HadAM3P. Las simulaciones comprenden un rango de 30 años (1961–1990) que representa el clima actual y dos escenarios futuros para los escenarios de emisiones A2 y B2 del IPCC, para el periodo 2071–2100. La atención se centra en los cambios en los promedios de temperatura y precipitación, así como en los extremos de temperatura y precipitación. Hay evidencia de que regiones como el noreste brasileño y la región centro-oriental y sur de la Amazonia podrían experimentar deficiencia de precipitación en el futuro, mientras que la costa noroeste de Perú-Ecuador y el sur de Brasil-norte de Argentina podrían experimentar incrementos de precipitación en un futuro más cálido. Estos cambios variarían estacionalmente. Los eventos extremos de precipitación podrían ser más frecuentes e intensos en regiones como el sur de Brasil y la Amazonia occidental, mientras que períodos de sequía serían más frecuentes y prolongados en la Amazonia oriental y el noreste de Brasil.

Los tres modelos muestran un calentamiento más fuerte en el escenario A2 para la región tropical, tanto en el verano como, especialmente, en el invierno, alcanzando hasta 6-8°C más que en el presente en el escenario A2. Los índices extremos de temperatura, tales como las noches cálidas, muestran un considerable aumento en el futuro y, junto con las disminuciones en la frecuencia de noches frías, estos factores apuntan a un escenario de cambio climático con aumento de temperatura a nivel global. También se discuten los impactos del cambio climático sobre la generación hidroeléctrica y la producción agrícola en algunas regiones de Brasil, así como sobre los servicios ecosistémicos proporcionados por la cuenca amazónica. Todo esto muestra una diversidad de impactos sobre la población y la economía, identificando vulnerabilidades y la necesidad de medidas de adaptación para mitigar los efectos del cambio climático.

Palabras clave: Amazonía, cambio climático, servicios ecosistémicos, impactos, modelos climáticos regionales, vulnerabilidad

---

## 1. Introduction

Developing climate change scenarios at regional scales is an important component of understanding climate impacts under global warming conditions, with critical implications for climate change adaptation and mitigation. In addition, climate change can show pronounced regional variability, which could suggest geographical distribution of climate impacts. Climate change projections derived from Regional Climate Models (RCMs) may be useful for studies on climate impacts because of the sub-continental pattern and magnitude of the change. RCMs are more refined than the coarse grid spacing of Global Circulation Models (GCMs), which poses limitations to the representation of topography, land use, and land-sea distribution.

High resolution future climate change scenarios developed from regional climate model results have been produced in various parts of the world (See reviews in Marengo et al. 2009a). Downscaling experiments on climate change scenarios in South America have recently become available for various emission scenarios and time slices until the end of the XXI Century, using various regional models forced with the global future climate change scenarios as boundary conditions from various global climate models (Marengo et al. 2009a y b; Nuñez et al. 2008; Solman et al. 2008; Cabré et al. 2008; Soares and Marengo 2008).

Within the impacts and adaptation community (e.g. agriculture, water resources management, health, among others) there is a growing move toward integrated assessments, wherein regional climate change projections form a principal factor for decision support systems aimed at reducing vulnerability. At present, few initiatives in Brazil have addressed impacts and vulnerability assessments using regional climate change scenarios. Only a relatively small number of studies deal with climate change impacts on natural ecosystems and agro-ecosystems, coastal zones, renewable energies, water resources, mega-cities and human health and migration, as well as the economics of climate change.

These experiences show the need to provide climate change projections tailored to the needs of the impacts community, as well as estimates of uncertainties in the climate change scenarios. Where extreme weather events become more intense and/or more frequent, the economic and social costs of those events will increase, and these increases will be substantial in the areas most directly affected. In drier areas, climate change is expected to lead to salinisation and desertification of agricultural land. Productivity of some important crops is projected to decrease and livestock productivity to decline, with adverse consequences for food security. In Latin America, semi-arid and arid areas are particularly exposed to the impacts of climate change on freshwater, as concluded by the IPCC (IPCC 2007a and b).

In this chapter we discuss high resolution future climate change scenarios and extremes in South America and their applications for impacts, vulnerability and adaptation (IVA) studies in Brazil and South America. We

assess climate change scenarios based on the projections of 3 RCMs for 2071–2100 under IPCC SRES emission scenarios A2 and B2. More information on those scenarios can be found in Nakicenovic et al (2000). Qualitative indications of possible impacts on each geographical region of Brazil are also presented. These products are important for planning and development of national and local IVA activities and actions to cope with climate change, and also for raising awareness among government and policy makers in assessing climate change impact and vulnerability, and in designing adaptation measures.

## 2. Methodology, models and experiments

The methodology for downscaling of climate change scenarios and a description of the global model and the three regional models used is shown in Marengo et al. (2009a, b y 2007). Three RCMs were run nested into the global climate model of the Hadley Centre at the U.K. Met Office HadAM3P. The experimental design of the driving HadAM3P experiment is described by Rowell (2005) and is summarised as follows. Greenhouse gases concentration and aerosol were forcings included in the global climate model. The HadAM3P model was run for the present (1961-1990) forced by observed sea-surface temperatures (SST) and sea-ice. For the future period, 2071–2100, HadAM3P is forced by SSTs which are formed from observed SSTs with the addition of mean changes and trends calculated from global coupled HadCM3 model projection. The HadAM3P has a resolution of about 2.5° latitude by 3.75° longitude, while the regional models have a horizontal resolution of 50 km.

The RCMs used are the HadRM3P, from the UK Met Office-Hadley Centre (Jones et al. 2004), the Eta CCS, from INPE in Brazil (Pisnitchenko and Tarasova 2007 y 2008), and the RegCM3, from the University of São Paulo (Pal et al. 2007). Integrations of these models were carried out with HadAM3P for both time slices 1961-1990 and 2071–2100. In general, RCMs have a better depiction of topography, which tends to appear smooth in low resolution global models. The first step in the evaluation of the dynamic downscaling of results was the investigation of the consistency between the regional models outputs and the global model data used for driving the simulations, and with present observations. We concentrate on the two extreme seasons: austral summer (DJF) and winter (JJA) and at annual time scales for A2 (high emissions) and B2 (low emissions) scenarios.

## 3. Results and discussion: mean climate

In general, B2 simulations reproduced most of the changes obtained in A2, but with somewhat smaller amplitude (as expected from the smaller forcing and global mean warming). Therefore, the main focus of this chapter will be on the A2 experiment, as all models clearly show that the B2 experiment gives a relatively scalable result with a similar but weaker climate change signal as compared to the A2 ones.

### 3.1 Rainfall

For the A2 scenario (2071–2100), the three models show positive annual and summer rainfall anomalies over the northwest coast of Peru-Ecuador and Argentina south of 25°S and negative rainfall anomalies over eastern Amazon and Northeast Brazil. These projected changes in precipitation in the three regional models could be a partial consequence of an El Niño like response. Precipitation is likely to increase in south-eastern South America during summer. In addition, in some other regions there is qualitative consistency among the simulations from the three RCMS and the IPCC AR4 regional means, particularly an increase of rainfall in Ecuador and northern Peru, and a decrease at the northern tip of the continent, in southern northeast Brazil, and on the western coast of South America.

Summarized, all regional models show reductions and increases in precipitation in the future for the A2 scenario depending on the region; reductions are lower in the HadRM3P in some regions. Rainfall decrease is detected by all models over the eastern Amazon and Northeast Brazil. However, for Pantanal and Southern Brazil, the HadRM3P model shows rainfall increases in the future, while the other models show reductions. Perhaps the largest uncertainties are in Pantanal, since the three models show larger standard deviations in this region than in the other regions.

### 3.2 Temperature

In the A2 scenario, all of South America is very likely to warm during this century. The projected warming from the three RCMs is generally largest inside continental regions, such as inner Amazonia, with warming approximately  $\geq 3^{\circ}\text{C}$  in the entire tropical and subtropical South America. Warming may reach up to  $6^{\circ}\text{C}$ - $8^{\circ}\text{C}$  in Amazonia and  $4^{\circ}\text{C}$  in southeastern South America during summer. In wintertime the pattern is similar to that of summer, but during summer the larger anomalies are more widespread in the continent, especially in the tropical region. Just for comparison, the observed annual warming in Brazil during the last 50 years was about  $0.7^{\circ}\text{C}$ , while in winter the warming was about  $1.0^{\circ}\text{C}$  (Marengo 2007).

## 4. Climate extremes

Climate change is expected to modify the frequency, intensity and duration of extreme events in many regions. At seasonal time scales, the droughts of Southeastern Brazil in 2001 and the drought of Amazonia in 2005 are good examples of extremes. Rainfall deficits during summer and fall 2001 resulted in a significant reduction in river flow throughout Northeast, Central-West, and Southeast Brazil, thereby reducing the capacity to produce hydroelectric power in those areas. The entire non-Amazonian portion of Brazil suffered blackouts and electricity rationing due to lack of water in reservoirs, which contributed to a GDP reduction of 1.5%. The large-scale nature of the deficits, affecting nearly the entire country, resulted in an energy crisis that forced the government to impose energy conservation measures in order to avoid total loss of power (blackouts) during part of 2001 and 2002.

In 2005 large sections of southwestern Amazonia experienced one of the most intense droughts of the last hundred years. The drought severely affected human populations along the main channel of the Amazon River and its western and southwestern tributaries, the Solimões (also known as Amazon River in the other Amazon countries) and the Madeira Rivers, respectively. Due to the extended dry season in the region, forest fires increased almost 300% in southwestern Amazônia (Marengo et al. 2008a, b; Zeng et al. 2008).

Projections for that region by Tebaldi et al. (2007) and Marengo et al. (2009b) suggest that any future increase in rainfall would be in the form of more intense and/or frequent rainfall extremes. In contrast, rainfall reductions would be in the form of longer and more intense dry spells. Future rainfall reductions from the three RCMs in Eastern Amazonia and Northeast Brazil may be explained in terms of increase in the frequency of dry days, as shown in the analyses of future trends in extremes by Marengo et al. (2009a). In those regions, the risk of drought is likely to increase. In southern and southeastern Brazil, the increase in mean precipitation is also associated with the increase in frequency of wet days and reductions in consecutive dry days.

The same two studies show increases in the frequency of warm nights in many regions that are important from the agricultural point of view in tropical and subtropical regions. The frequency of cold nights shows a steady decline, suggesting warmer winters. Changes are more noticeable in winter and on the intermediate season, and are consistent with positive trends in minimum temperatures, that are larger than the also detected positive trends

in maximum air temperatures. A combination of changes in the mean and in extremes in rainfall and temperature are indicative of global warming, and the expected impacts on climate change.

## 5. Climate change scenarios in Brazil: a summary

Climate variability already poses a substantial challenge to society, and further changes in climate are now unavoidable even assuming effective implementation of present mitigation policies. This makes the development of adaptation strategies imperative, and begs attention to issues of ethics and justice: people most likely to bear the brunt of global climate change are those who have contributed and who will continue to contribute the least to it, mostly people living in poor regions and countries.

Climate change impacts may redefine the economical and demographic dimensions of the region, particularly when the affected sector is highly articulated with other sectors of the economy. In Brazil, a relatively small number of studies deal with climate change impacts on natural ecosystems and agroecosystems, coastal zones, renewable energies, water resources, megacities and human health. However, they leave no room for doubt: Brazil will not be left unharmed by climate change (Assad and Pinto 2008; Schaeffer et al. 2008; Cedeplar and Fiocruz 2008; Marengo et al. 2009a).

In an attempt to analyze uncertainties of these climate change projections in Brazil, at least in a qualitative manner, Marengo et al. (2009b) analyzed the consistency of the signal of change in temperature and precipitation from the three RCMs in the five regions of Brazil under analyses. They concluded that at the continental scale, the regions of Brazil where models show more agreement in the projected changes are Northern (including Amazonia) and Northeast Brazil, with significant reductions of rainfall at annual, summer and wintertime in the time slice 2071-2100 relative to the present. In contrast, the sign of rainfall change is more uncertain in Southern, Southeast, and West Central Brazil, where the signals are conflicting among models. All models show high confidence in temperature increases. Even though these projections may experience some bias related to the behavior of the HadAM3P GCM, they are consistent with the drier and warmer climates for Amazonia and Northeast Brazil produced by the IPCC AR4 global models and other studies on climate change scenarios performed in South America (see references in section 1).

Figure 1 summarizes the scenario of change of climate and extremes by 2071-2100, for the A2 high emission scenario. In the figure we also have added some qualitative information on possible impacts of climate change in Brazil: warming and drying would impact biodiversity, transportation, human health, and hydroelectric generation (highly dependent on water) in northern Brazil (including Amazonia). In Northeast Brazil, with about 30 million inhabitants, shorter residence time of soil moisture due to temperature rise, increase in the frequency and intensity of droughts, and rainy periods with more concentrated and intense rainfall events are likely to diminish soil water availability in this region. This would lead to a scenario of desertification and accelerating desertification, which would restrict dry-land agriculture even further and impair the subsistence of more than 10 million inhabitants. Natural biomes as the tropical rain forest in the Amazon region and the *caatinga* in Northeast Brazil would be affected. The *caatinga* is a Portuguese name of dry scrubland vegetation characterized by thorny bushes that grows in the semiarid lands of Northeast Brazil. Some model experiments using vegetation models in the A2 scenario for 2071-2100 (Salazar et al. 2007) show that the tropical rain forest would be replaced by savanna-type vegetation. The *caatinga* semiarid vegetation would be replaced by arid type vegetation, aggravating a desertification process by the end of the XXI Century. These two regions would be the most impacted and vulnerable to climate change.

In Southern Brazil, the impacts would be on agriculture, where increases in temperature and a small increase in rainfall through increased extremes would affect agriculture and urban areas. Floods and landslides would be expected in populated areas nearby mountains where natural vegetation was removed. In regions such as Southeast and West Central Brazil, possible changes in extremes together with increases in air temperature would affect hydroelectric generation and agriculture and natural ecosystems as the cerrado and Pantanal. This impact would also extend to the hydroelectric generation in the Sao Francisco river basin that is important for energy in Northeast Brazil and the industrialized regions of Southeast Brazil.

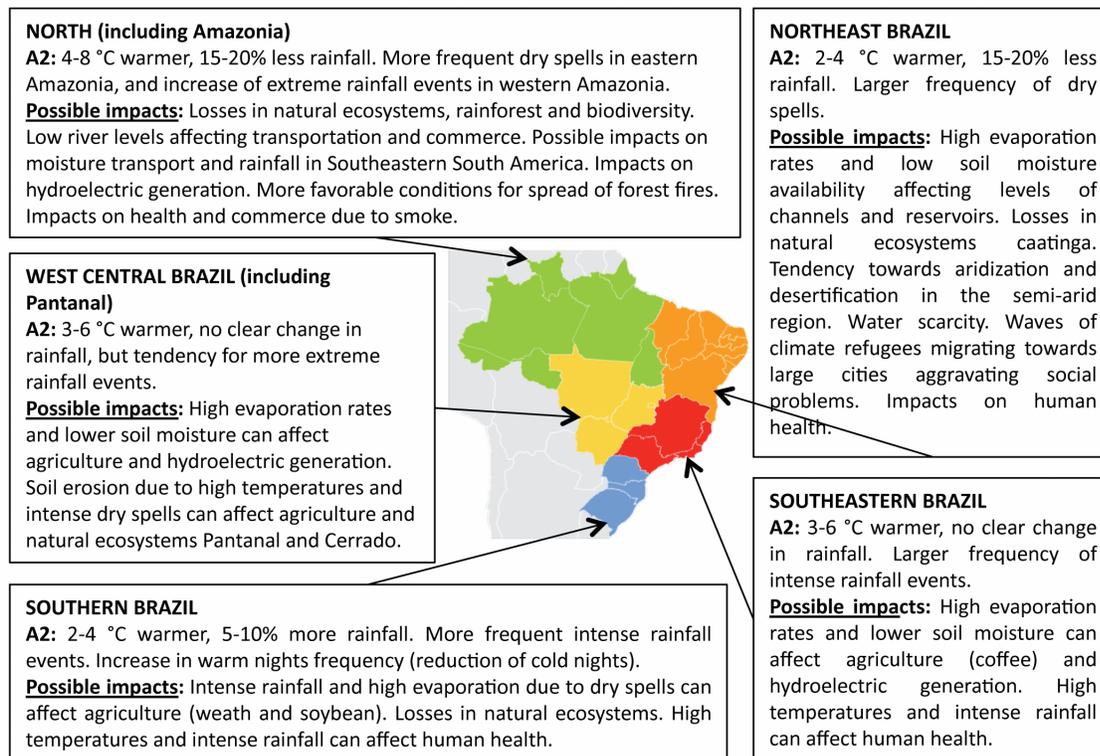


Figure 1. Summary of expected changes in air temperature and precipitation for each of the five regions of Brazil based on the projections derived from the three regional models for 2071-2100 relative to 1961-90. Qualitative indicators of possible impacts of those changes are also described (Marengo et al., 2009b).

## 6. Implications for ecosystem services: the Amazon Basin

In general, biodiversity plays an important role in ecosystem functions that provide support, provisions, regulations and cultural services essential to human well-being. For example, people rely on biodiversity for food, medicine, raw materials, and ecosystem services such as water supply, nutrient cycling, waste treatment and pollination. Forest ecosystems also provide a wide array of goods and services. Human responses to a warmer climate are likely to increase demand of fresh water to meet urban and agricultural needs. Likely results will be decreased flow in rivers and streams, causing a loss of ecosystem services.

The Amazon forest is sufficiently large to have a significant impact on the regional and even global climate system, and provides a host of ecosystem services that are threatened by deforestation. As deforestation approaches this critical threshold, we can expect the marginal value of the forest ecosystem to rise rapidly, approaching the infinite if we believe that the loss of the Amazon ecosystem is unacceptable. Compounding the uncertainty of how much forest loss the system can tolerate before it can no longer generate adequate rainfall to sustain itself, climate change is likely to have substantial impacts on such thresholds.

Rainfall is essential for sustaining the Amazonian ecosystems and all the ecosystem services they generate. Studies of hydrological cycle in the Amazon suggest that it recycles as much as 50% of its rainfall, and that if as little as 30% of the Amazon is cleared (see reviews in Marengo 2006), it will be unable to generate enough rainfall to sustain itself, leading to a positive feedback loop of more forest loss and less rainfall. The value of the Amazon as a water-regulating eco-utility becomes indistinguishable from the value of other ecosystem services generated in other regions. The Amazon forest releases water vapor to the atmosphere daily, transferring heat, moderating weather conditions and supplying Brazil and the La Plata Basin further south with rainfall on which US\$1 trillion of agribusiness, hydropower and industry depend. Reduced rainfall in the Plata Basin would impact agriculture, industry and hydro-electricity. These sectors are responsible for 70% of the GNP of five Latin American nations.

Rainfall in the Plata Basin is derived from moisture from the Amazon basin together with local evaporation in the Plata basin, cold fronts from the south and air masses from the South Atlantic. This major economic region of Latin America depends on an as yet unknown extent on rainfall from the Amazon. Changes in rainfall resulting from declines in Amazonian forest cover will need to be considered in addition to changes resulting from global climate change. Further research is needed to investigate the role of the forest in the economic well-being of the continent and to integrate this information into policies and practical activities to conserve the Amazon and provide benefits to its inhabitants.

## 7. Concluding remarks

In this chapter we show the results from regional simulations of climate change under the A2 high emission scenario for the period 2071–2100 over South America. We analyzed the projected climatic changes with respect to the reference period 1961–1990. The simulations were performed using three regional climate models (Eta CCS, RegCM3 and HadRM3P) nested within the Hadley Centre Global Atmospheric Model (HadAM3P). All regional models show reductions and increases in precipitation in the future for the A2 scenario, depending on the region. Northeast Brazil and central-eastern Amazonia may experience rainfall deficiency in the future, while the Northwest coast of Peru-Ecuador may experience rainfall excesses in a warmer future. The projections exhibit an increase of rainfall in northern Argentina especially in summer and fall and a general decrease in precipitation in winter and spring, and in southern Brazil during fall.

In general, the three models show warming in the A2 scenario stronger in the tropical region, especially in the 5 °N-15°S band, both in summer and especially in winter, reaching up to 6-8°C warmer than in the present. In southern South America, warming varies between 2-4°C in summer and between 3-5°C in winter for the three regional models. The changes in rainfall and temperature discussed here are consistent with changes in rainfall and temperature extremes reported in Meehl et al. (2007) suggesting the added value of the regional simulation. It is hoped that with other regional climate change simulations being currently implemented we can gain a better understanding of the uncertainties of the regional projections discussed. Without adaptation measures, various

regions in Brazil will be even more affected in the future. Populations living there would not be able to cope with climate change and its impacts and will be most vulnerable.

For stakeholders in each of the regions, these changes and uncertainties pose different challenges for the management of water resources. For the scientific community, the challenge raised is how to incorporate this uncertainty in climate change projections in a way that allows those groups to make informed decisions based on model projections. A few degrees rise of temperature may expose the tropical semi-arid region of Northeast Brazil to tangible risks, with clear social repercussions.

The Amazon forest provides ecosystem services mainly through the stabilization of climate, hydrology and soil in the basin and nearby regions. A reduction in water recycling due to Amazonian deforestation could therefore reduce rainfall in the Plata Basin. Reduced rainfall in the Plata Basin would in turn impact agriculture, industry and hydro-electricity, the economically most important sectors for the continent.

## Acknowledgements

We would like to thank the Hadley Centre for providing the PRECIS model system. Results shown in this chapter are derived from various projects directed toward climate change scenario generation and impact studies: MMA/BIRD/GEF/CNPq (PROBIO Project), the Brazilian National Climate Change Program from the Ministry of Science and Technology-UNDP Project BRA/05/G31, the University of Sao Paulo/IAG, the UK Global Opportunity Fund-GOF Project Using Regional Climate Change Scenarios for Studies on Vulnerability and Adaptation in Brazil and South America, and GOF-Dangerous Climate Change (DCC). T.A. and J.M also thanks to FAPESP, CNPq and CAPES.

## Bibliography

- Assad, E., Pinto, H.S. 2008. Aquecimento Global e a Nova Geografia da produção agrícola no Brasil. EMBRAPA-CEPAGRI, São Paulo, Agosto 2008. 82 pp.
- Cabré, M.F., Solman, S., Nuñez, M. 2008. Creating regional climate change scenarios over southern South America for the 2020's and 2050's using the pattern scaling technique: validity and limitations. *Climatic Change* (in press).
- Cedeplar, Fiocruz, 2008. Mudanças Climáticas, Migrações e Saúde: Cenários para o Nordeste Brasileiro, 2000-2050. Relatório de Pesquisa (Research Report): Belo Horizonte, CEDEPLAR/FICRUZ, Julho de 2008.
- Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC. 2007a. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller Eds., Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.
- Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC. 2007b. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, M.L. Parry OF, Canziani, JP. Palutikof, PJ. van der Linden and CE. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 976 pp.
- Jones, R.G., Noguer, M., Hassell, D., Hudson, D., Wilson, S., Jenkins, G., Mitchell, J. 2004. Generating high resolution climate change scenarios using PRECIS, Hadley Centre for Climate Prediction and Research, Met Office Hadley Centre, UK, p 40.
- Marengo, J.A. 2006. On the Hydrological Cycle of the Amazon Basin: A historical review and current. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 21, 1 – 19.
- Marengo, J.A. 2007. Mudanças climáticas globais e seus effects sobre a biodiversidade - Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI (Segunda Edicao). Brasília, Ministerio do Meio Ambiente, 2007, v.1. p.214.
- Marengo, J.A., Nobre, C., Tomasella, J., Oyama, M., Sampaio, G., Camargo, H., Alves, L.M., Oliveira, R. 2008a. The drought of Amazonia in 2005, *Journal of Climate*, 21, 495-516
- Marengo, J.A., Nobre, C., Tomasella, J., Cardoso, M., Oyama, M. 2008b. Hydro-climatic and ecological behaviour of the drought of Amazonia in 2005. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Biological Sciences*, 21, 1-6.

- Marengo, J.A., Jones, R., Alves, L.M., Valverde, M. 2009a. Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system. *Int J Climatol*. doi:10.1002/joc.1863.
- Marengo, J.A., Ambrizzi, T., Rocha, R.P., Alves, L.M., Cuadra, S.V., Valverde, M.C., Ferraz, S.E.T., Torres, R.R., Santos, D.C. 2009b. Future change of climate in South America in the late XXI Century: Intercomparison of scenarios from three regional climate models. Accepted, *Climate Dynamics*.
- Nuñez, M.N., Solman, S.A., Cabré, M.F. 2008. Regional Climate change experiments over southern South America. II: Climate Change scenarios in the late twenty-first century. *Clim Dyn*. doi 10.1007/s00382-008-0449-8.
- Pal, J.S., Giorgi, F., Bi, X., Elguindi, N., Solmon, F., Gao, X., Rauscher, S.A., Francisco, R., Zaakey, A., Winter, J., Ashfaq, M., Syed, F.S., Bell, J.L., Diffenbaugh, N.S., Karmacharya, J., Konaré, A., Martinez, D., Rocha, R.P., Sloan, L.C., Steiner, A.L. 2007. Regional climate modeling for the developing world - The ICTP RegCM3 and RegCNET. *Bull Am Meteorol Soc* 88:1395-1409. doi:10.1175/BAMS-88-9-1395.
- Pisnichenko, I.A., Tarasova, T.A. 2007. The climate version of the Eta regional forecast model. 1. Evaluation of consistency between the Eta model and HadAM3P global model. <http://arxiv.org/abs/0709.2110v2>.
- Pisnichenko, I.A., Tarasova, T.A. 2008. The climate version of the Eta regional forecast model. 2. Evaluation of the Eta CCS model performance against reanalysis data and surface observations. <http://arxiv.org/abs/0901.1461v1>.
- Rowell, D.P. 2005. A scenario of European climate change for the late twenty-first century: Seasonal means and interannual variability. *Clim Dyn* 25: 837– 849. doi:10.1007/s00382-005-0068-6.
- Salazar, L.F., Nobre, C.A., Oyama, M.D. 2007. Climate change consequences on the biome distribution in tropical South America, *Geophys. Res. Lett.*, 34, L09708.
- Schaeffer, R., Sklo, A.S., de Lucena, A.F., de Souza, R., Borba, B.R., da Costa, A., Junior, S. da Cunha, H. 2008. Mudanças Climáticas e Segurança Energética no Brasil. COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro, Junho 2008, 65.
- Soares, W., Marengo, J.A. 2008. Assessments of moisture fluxes east of the Andes in South America in a global warming scenario. *Int J Climatol*. doi:10.1002/joc.1800.
- Solman, S.A., Nuñez, M.N., Cabré, M.F. 2008. Regional climate change experiments over southern South America. I: present climate. *Clim Dyn* 30:533-552. doi:10.1007/s00382-007-0304-3.
- Tebaldi, C., Haohow, K., Arblaster, J., Meehl, G. 2007. Going to Extremes. An intercomparison of model-simulated historical and future changes in extreme events. *Climatic Change* 79:185-21. doi: 10.1007/s10584-006-9051-4.
- Zeng, N., Yoon, Y., Marengo, J., Subramaniam, A., Nobre, C., Mariotti, A. 2008. Causes and impacts of the 2005 Amazon drought, *Environmental Research*, 3, 1-6.

# Vulnerabilidad de los servicios ecosistémicos hidrológicos al cambio climático en Mesoamérica

## *Vulnerability of hydrological ecosystem services to climate change in Mesoamerica*

Pablo Imbach<sup>1</sup>, Luis Molina<sup>2</sup>, Bruno Locatelli<sup>3</sup>, Lenin Corrales<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Programa Cambio Climático, CATIE, Turrialba, Costa Rica. E-mail: pimbach@catie.ac.cr

<sup>2</sup>Programa Cambio Climático, CATIE, Turrialba, Costa Rica. E-mail: lmolina@catie.ac.cr

<sup>3</sup>CIRAD UPR Forest Policies–CIFOR ENV Program, P.O. Box 0113 BOCBD, 16000 Bogor, Indonesia.

<sup>4</sup>The Nature Conservancy (TNC)–Climate Change Science, P.O. Box 230-1225, San José, Costa Rica.

## Resumen

El cambio climático modificará el régimen hidrológico global debido a alteraciones en la distribución y magnitud de la precipitación y temperatura, y su interacción con las condiciones físicas y de vegetación de cada lugar. Estos cambios afectarán los ecosistemas y sus funciones, modificando la provisión de servicios hidrológicos para la sociedad.

Aunque la región mesoamericana es altamente dependiente de la provisión de servicios hidrológicos de los ecosistemas, existe información limitada sobre los impactos del cambio climático en estos servicios. La generación de esta información es un primer paso para que la planificación de la adaptación al cambio climático reconozca el manejo de los ecosistemas y sus servicios como medida de reducción de la vulnerabilidad social.

El artículo presenta una revisión de literatura sobre los servicios hidrológicos y los potenciales impactos del cambio climático en nuestra sociedad, así como una guía para el diseño de estudios que permitan generar este conocimiento a una escala adecuada para la toma de decisiones en la región mesoamericana.

Palabras clave: cambio climático, Mesoamérica, servicios ecosistémicos hidrológicos

## Abstract

Climate change will modify the global hydrological regime due to alterations in the distribution and magnitude of precipitation and temperature and its interaction with physical and vegetation conditions on each site. These changes will affect ecosystems and their functions, modifying the provision of hydrological services for society.

Although the Mesoamerican region is highly dependent on the provision of hydrological ecosystem services, information on the impacts of climate change on these services is still limited. Generating information is a first step towards planning adaptation that recognizes the management of ecosystems and their services as a measure for reducing social vulnerability.

The article presents a literature review on hydrological services and the potential impacts of climate change in our society, as well as a guide for designing studies that can generate information at an adequate scale for decision making in the Mesoamerican region.

Keywords: climate change, hydrological ecosystem services, Mesoamerica

## 1. Introducción

Los ecosistemas terrestres proveen una gran variedad de funciones hidrológicas importantes para el bienestar humano. Estas funciones se convierten en bienes y servicios ecosistémicos cuando son valoradas por el ser humano (de Groot et al. 2002; Limburg et al. 2002) y el desarrollo de la sociedad es dependiente de la provisión sostenida de estos servicios (MEA 2003).

Los servicios hidrológicos incluyen la regulación de caudales para mitigar inundaciones, la recarga de acuíferos que mantienen caudales en la época seca, la purificación de agua y el control de la erosión (MEA 2003). Existen cuantificaciones económicas de los servicios hidrológicos tanto a escalas globales, regionales y locales que sirven para estimar la magnitud de nuestra dependencia (Costanza et al. 1997; Guo et al. 2000; Woodward y Wui 2001; Pattanayak 2004).

Los regímenes hidrológicos serán potencialmente afectados por el cambio climático debido a una combinación de impactos sobre la distribución y funciones de los ecosistemas, cambios en los patrones y la variabilidad de la temperatura y precipitación (Arnell 2003). Estos cambios, combinados con cambios en los patrones de desarrollo (por ejemplo, crecimiento poblacional y desarrollo económico), van a modificar la provisión de servicios hidrológicos a la población en Mesoamérica. De esta manera, se espera que en algunas regiones exista un incremento y en otras una reducción en la provisión de agua para la población (Arnell 2004).

El objetivo de este artículo es presentar elementos relacionados con los impactos potenciales del cambio climático sobre los ecosistemas y sus servicios hidrológicos, con énfasis en los métodos y modelos disponibles.

## 2. Cambio climático y el régimen hidrológico

A escala global, el aumento de la temperatura hace que aumente la evaporación hacia la atmósfera y la capacidad de carga de agua de la misma, esto hace que el ciclo hidrológico se acelere. El caudal de los ríos o nivel de lagos, lagunas y humedales dependerán principalmente de los cambios en la cantidad, estacionalidad e intensidad de la precipitación. Otros factores como la humedad atmosférica, la velocidad del viento y la radiación afectarán la tasa de evaporación y se combinarán con los cambios de precipitación (en cantidad y distribución temporal) para resultar en impactos sobre los caudales de los ríos. El impacto dependerá también de las características hidrogeológicas, fisiográficas y de recarga de aguas subterráneas (Kundzewicz et al. 2007). Arnell (2003) estudió a escala global el impacto de un escenario de emisiones en el caudal de ríos y encontró resultados opuestos (aumento o disminución del caudal) según el Modelo de Circulación General (MCG) utilizado. Kundzewicz et al. (2007) concluye que los cambios vendrán como un incremento en la estacionalidad de los caudales, con caudales mayores en la época lluviosa y una época seca o de flujo base más extensa. Sin embargo, ninguno de los estudios analizados por Kundzewicz et al. (2007) se realizaron en Mesoamérica.

Se conoce poco de los impactos del cambio climático en las aguas subterráneas. Estos dependen más de cambios en la precipitación que de la temperatura, a menos que sean acuíferos superficiales durante períodos cálidos (Kundzewicz et al. 2007). El tipo de conexión entre acuíferos y aguas superficiales puede hacer que la recarga de los mismos sea más afectada por los niveles de aguas de los ríos que por las tasas de recarga de los mismos. En las zonas semi-áridas y áridas, el incremento en las inundaciones y eventos intensos de precipitación pueden hacer que aumente la recarga de los acuíferos (Kundzewicz et al. 2007). En la región existen estudios localizados sobre la interacción entre las aguas subterráneas y la precipitación (Zadroga 1981; Heyman y Kjerfve 1999; Guswa et al. 2007) y efectos de la extracción de agua de los mismos (Calderon Palma y Bentley 2007).

La calidad del agua que se encuentra en los lagos y reservorios será afectada por el aumento de temperatura y su efecto en el ciclo del oxígeno, estratificación de los lagos, tasas de intercambio de gases, potencial redox y biota en general. En los ríos será disminuida su capacidad de biodegradación que se combinará con un aumento en el flujo de nutrientes, toxinas y patógenos producto del aumento en la intensidad de la precipitación (Kundzewicz et al. 2007). Los impactos en intrusión salina y salinización de aguas subterráneas serán fuertes debido a aumentos en el nivel del mar y de la evapotranspiración respectivamente (Kundzewicz et al. 2007).

Los impactos en las tasas de erosión dependerán de los cambios en la intensidad de la precipitación. Sin embargo, no existen muchos estudios sobre cambios en las tendencias pasadas de este fenómeno. Sería difícil de separar la señal del cambio climático del efecto que tiene el cambio de uso del suelo en el mismo (Kundzewicz et al. 2007), aunque existen esfuerzos en la región para tratar de cuantificar la dimensión y distribución del mismo (Kim et al. 2005; Luijten et al. 2006)

### 3. El caso de la región mesoamericana

La región Mesoamericana ha experimentado en los últimos años cambios en su clima. Aguilar et al. (2005) reportan, para el periodo 1961–2003, una tendencia al calentamiento de la región con un aumento en la ocurrencia de extremos cálidos máximos y mínimos combinado con un decrecimiento de eventos extremos fríos. La cantidad total de precipitación no ha mostrado cambios, sin embargo, se presenta en eventos lluviosos más intensos (Malhi y Wright 2004; Aguilar et al. 2005).

Mesoamérica es una de las regiones tropicales que será más afectada en el futuro por el cambio climático (Giorgi 2006). Bajo el escenario de emisiones A1B y usando el promedio de 21 MCG, se observan las tendencias futuras de precipitación y temperatura para el fin del siglo. En general, estas tendencias muestran un aumento en la temperatura con una certidumbre y magnitud que se intensifica del sur a norte. La precipitación anual se reducirá en los países al norte de Costa Rica, con menor convergencia entre los modelos en los casos de Costa Rica y Panamá. El cambio será más pronunciado para ambas variables en el trimestre de junio-agosto (Christensen et al. 2007). Rauscher et al. (2008), bajo el mismo escenario y para la segunda mitad del siglo, encuentra que la sequía de medio-verano o canícula se verá intensificada, con reducciones en la precipitación del 20% para los países al norte de Costa Rica, y hasta un 25% en algunas partes de Honduras, Guatemala y El Salvador. Este fenómeno es una de las señales más consistentes en el conjunto de modelos del Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados (CMIP3, por sus siglas en inglés) a escala global (Neelin et al. 2006). La Figura 1 muestra escenarios de precipitación y temperatura de los datos multi-modelo de la fase 3 del Proyecto CMIP3 del Programa Mundial de Investigación del Clima (WCRP, por sus siglas en inglés)<sup>1</sup>.

### 4. Vulnerabilidad y adaptación de la sociedad a problemas de acceso al agua

La vulnerabilidad actual de la sociedad a los cambios en recursos hídricos se verá exacerbada en el futuro por la acción combinada de un incremento en la demanda del recurso debido al aumento de la población y condiciones más secas en muchas cuencas de la región (Magrin et al. 2007). En la región mesoamericana tanto el sector de producción de hidroenergía como de provisión de agua potable son vulnerables a la reducción de la precipitación,

<sup>1</sup> Agradecemos las contribuciones del Program for Climate Model Diagnosis and Intercomparison (PCMDI) y el WCRP's Working Group on Coupled Modelling (WGCM) por facilitar los datos del multi-modelo CMIP3 de WCRP. Estos datos son financiados por la Oficina de Ciencia del Departamento de Energía de los Estados Unidos de América. Department of Energy.

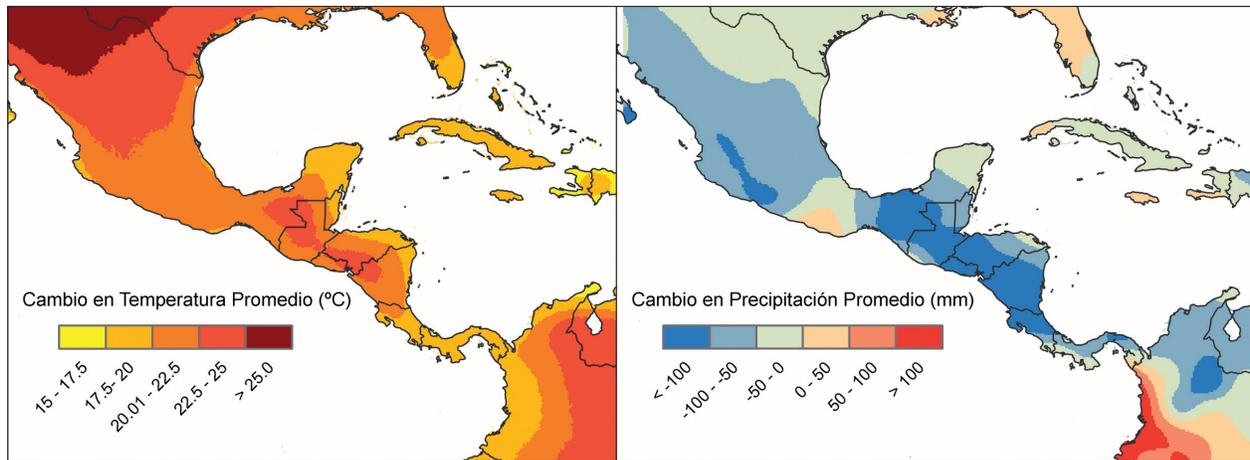


Figura 1. Cambios en la temperatura promedio ( $^{\circ}\text{C}$ , izquierda) y cambios en la precipitación promedio (mm, derecha) proyectados para el periodo 2080-2100 en Mesoamérica utilizando la simulación de 48 MCG atmósfera-océano (MCGAO) para un escenario de bajas emisiones (B1 o estabilización de 550 ppm de  $\text{CO}_2$  atmosférico). (Fuente: Meehl et al. 2007).

tal como ocurrió durante la sequía del año 2001. Esta vulnerabilidad se debe a un efecto sinérgico entre la reducción de la precipitación y la reducción en la capacidad de reserva de los embalses, debido a la acumulación de sedimentos producto de procesos erosivos, con impactos para la producción de energía y el consumo humano (CEPAL 2002). Esto tiene implicaciones importantes para los países en el corto plazo para el suministro de agua y energía (de la cual un porcentaje significativo proviene de esta fuente) y también a largo plazo debido a las inversiones que han realizado los países en infraestructura para la producción de esa energía (Kaimowitz 2005). En general, la percepción de la vulnerabilidad futura de los países mesoamericanos proviene de cambios en la cantidad y distribución temporal del recurso hídrico, esto ligado a la variabilidad climática de la región y la frecuencia de desastres naturales. Bajo diferentes escenarios de cambio climático se espera en algunas zonas una reducción en la disponibilidad del recurso, con impactos en la producción de electricidad, cultivos alimenticios y suministros de agua potable. En otras zonas el problema será debido a inundaciones y fenómenos relacionados con precipitaciones intensas. En Nicaragua, por ejemplo, se identifican problemas de calidad de agua tanto para consumo humano, uso agrícola a través de riego y producción de electricidad (SICA 2002).

La adaptación a riesgos en el sector hídrico según Bergkamp et al. (2003) se debe enmarcar en tres ejes prioritarios. El primero, buscar reducir la vulnerabilidad de la sociedad a eventos hidrometeorológicos e incrementos en su variabilidad, principalmente sequías e inundaciones. El segundo, busca restaurar los ecosistemas para recuperar la provisión de servicios ecosistémicos que reducen la vulnerabilidad social al cambio climático. Finalmente, el tercero se refiere a cerrar la brecha que existe entre la oferta y la demanda de los recursos hídricos.

El potencial que tienen los ecosistemas para reducir la vulnerabilidad social al cambio climático está escasamente representado en las políticas de los países de la región (Pérez et al. 2008). Sin embargo, el enfoque de adaptación basada en ecosistemas ya se promueve a nivel nacional e internacional (Locatelli y Kanninen 2009a). Esta alternativa para la adaptación podría ser importante para las metas regionales de desarrollo del sector hídrico establecidas en la Declaración de San José (OMM 1996) y las metas globales como las Metas de Desarrollo del Milenio (UN 2000).

## 5. El rol de los servicios hidrológicos

Los servicios hidrológicos incluyen diversos servicios (Daily et al. 1997; de Groot et al. 2002) y según Brauman et al. (2007), se pueden dividir en cinco categorías:

- Mejora en la disponibilidad y calidad de agua para extracción con fines de uso residencial, agrícola, industrial y comercial
- Mejora en la disponibilidad y calidad de agua en los ríos y cuerpos de agua para la producción de hidroenergía, la recreación, el transporte y la producción de peces de agua dulce
- Reducción del impacto de eventos hidrológicos como los daños causados por las crecientes e inundaciones, la erosión, la sedimentación, la intrusión de agua salada en los acuíferos y la salinización de tierras en zonas secas
- Servicios culturales como los usos espirituales, la apreciación estética y el turismo
- Servicios de soporte que no son servicios usados directamente por los seres humanos pero que contribuyen a la provisión de otros servicios ecosistémicos. Por ejemplo, la provisión de agua para el mantenimiento a largo plazo de la biodiversidad relacionada o dependiente de hábitats acuáticos

La Evaluación de Ecosistemas del Milenio (MEA 2005) hace una síntesis global del status de la provisión de los servicios ecosistémicos y encuentra que la provisión de agua para consumo humano, riego e industria ha decrecido, aunque la cantidad de agua para la producción de energía se mantiene constante con una mejoría en la capacidad de aprovecharla debido a las represas. Los servicios de regulación como control de la erosión, purificación del agua y regulación de amenazas naturales (amortiguadores naturales como humedales y manglares) se han deteriorado. En el caso de la regulación del flujo del agua, su condición es variable dependiendo de su ubicación y cambios en el ecosistema.

Kaimowitz (2005) y Vignola (2009b) hicieron una revisión acerca de los mitos que existen relacionados a la provisión de ciertos servicios por los ecosistemas boscosos, en particular sobre sus efectos en la cantidad de precipitación (incluyendo los bosques nubosos), incremento en la cantidad de agua, control de inundaciones, regulación del caudal base, deslizamientos y sedimentos. Como un ecosistema dado no puede proveer todos los servicios hidrológicos de manera óptima, es importante analizar la compensación entre servicios ecosistémicos tomando en cuenta la capacidad de los ecosistemas de proveer diferentes servicios y el rol de estos servicios para la sociedad.

Para el caso mesoamericano se han hecho estudios sobre la importancia de los ecosistemas para algunos sectores de la sociedad (González et al. 2008; Leguía et al. 2008a; Leguía et al. 2008b). Sin embargo, hace falta analizar el rol de los ecosistemas en la reducción de la vulnerabilidad al cambio climático de manera que se integren en las estrategias de adaptación.

## 6. Impacto del cambio climático sobre los servicios hidrológicos

Los ecosistemas son vulnerables al cambio climático y a otras presiones antrópicas como la degradación de tierras, cambio de uso del suelo y contaminación. Algunas de estas presiones pueden actuar en sinergia y tienen consecuencias sobre la diversidad de los ecosistemas y sus procesos ecológicos. Esto a su vez tiene un impacto

en los servicios ecosistémicos que estos proveen, sin embargo, algunas de estas relaciones todavía requieren conocerse (Sala et al. 1999). El cambio climático puede afectar directamente las características funcionales (p.e. Fearnside 2004) y estructurales (p.e. Weng y Zhou 2006) de los ecosistemas, así como sus dinámicas (p.e. Goldammer y Price 1998). La amenaza más importante depende de cada ecosistema y la función o servicio específico de interés (p.e. Sala et al. 2000 para la biodiversidad), además de las condiciones del ecosistema y su entorno. En lugares donde la deforestación tiene tasas muy bajas, otras amenazas como el cambio climático pueden ser las más importantes para la provisión de los servicios ecosistémicos.

Los servicios hidrológicos se pueden ligar a ciertos atributos que son modificados por procesos ecohidrológicos de los ecosistemas. Brauman et ál. (2007) ordenan estos atributos en cuatro clases y Krauze y Wagner (2007) proporcionan algunos ejemplos:

- **Cantidad:** se refiere al flujo y almacenamiento de agua subterránea y superficial determinado por la interacción con el clima local y el consumo de agua por la vegetación; con potenciales efectos sobre el agua total disponible
- **Calidad:** se refiere a los flujos de patógenos, nutrientes, salinidad y sedimentos determinados por la capacidad de infiltración de la vegetación, estabilización del suelo y procesos bioquímicos de los ecosistemas
- **Ubicación del recurso:** se refiere a la disponibilidad de agua a nivel superficial o subterráneo, en las partes altas o bajas de la cuenca y dentro o fuera del curso de los ríos. Está determinada por la vegetación y los suelos, las propiedades superficiales del suelo o las propiedades de los bancos en los ríos
- **Temporalidad:** se refiere a los picos de caudales, los caudales de base y la velocidad de los caudales, que afectan el caudal de los ríos durante la época seca, la intensidad o frecuencia de las inundaciones y el potencial de eutrofización de las aguas. Está determinada por el almacenamiento de agua en el corto o largo plazo en los ecosistemas, la estacionalidad en el uso del agua por los ecosistemas y el control del flujo de agua (por ejemplo, la infiltración)

El impacto del cambio climático en estos atributos hidrológicos dependerá en parte del impacto directo en los ecosistemas. Dudley (1998) propone una tipología de impactos posibles sobre ecosistemas forestales:

- **Perturbación:** a las perturbaciones actuales, principalmente humanas, se podrían sumar perturbaciones por eventos extremos como tormentas y por cambios graduales en patrones de lluvias o temperaturas, que impactarían el funcionamiento, la composición y la estructura del bosque (Condit 1998)
- **Simplificación:** dado el crecimiento lento y las bajas capacidades de migración de los árboles en comparación con otras plantas, el cambio climático podría favorecer las especies de crecimiento rápido, de ciclo de vida corto (como las hierbas) e invasoras, lo que reducirá la biodiversidad de los bosques
- **Migración:** los ecosistemas se podrían mover, generalmente hacia los polos o hacia mayores alturas. Estudios en Costa Rica y Nicaragua (Halpin et al. 1995) mostraron que se van a mover las zonas climáticas asociadas a ciertos tipos de vegetación. Sin embargo, los movimientos reales dependerán de la capacidad de dispersión de las especies y de las barreras a la migración (Pearson 2006). Estos cambios de vegetación tienen implicaciones en el régimen hidrológico de un lugar

- **Reducción de edad:** los fuegos, los ataques de plagas, la migración y las otras perturbaciones causarían el reemplazo de bosques maduros por bosques más jóvenes, lo que tendría implicaciones importantes sobre la biodiversidad, ya que muchas especies se encuentran solamente en bosques adultos
- **Extinción:** algunos ecosistemas o especies podrían desaparecer por causa del cambio climático. En el bosque nuboso tropical de altura en Monteverde (Costa Rica), cambios en la elevación de las nubes ya ha causado la desaparición de varias especies de anfibios (Pounds et al. 1999)

Los servicios hidrológicos podrían ser afectados a raíz de cambios en las funciones hidrológicas de los bosques, tales como la intercepción de lluvias o la infiltración en el suelo. Por ejemplo, el incremento de los incendios asociados con el aumento de las condiciones secas puede reducir el estrato superficial de sustancias orgánicas. Esto causaría menor infiltración y mayor escorrentía a nivel del bosque, y caudales mínimos o máximos más extremos a nivel de la cuenca (Townsend et al. 2004). Los cambios en ecosistemas impactarán también el servicio de regulación de la calidad del agua, especialmente en lo que concierne la concentración de elementos químicos o biológicos y el transporte de partículas sólidas (erosión).

En el caso mesoamericano es necesario profundizar sobre los potenciales impactos del cambio climático en la provisión de estos servicios ecosistémicos tanto a nivel local como regional, debido a los esfuerzos de integración de desarrollo existentes (por ejemplo, el Corredor Biológico Mesoamericano o el Plan Puebla Panamá) y el grado en que los recursos hídricos son compartidos y cuyos conflictos potenciales (Wolf et al. 2003) se podrían acentuar.

## 7. Métodos para estudiar el impacto del cambio climático sobre los servicios hidrológicos

Bonell (1998) destaca dos frentes de progreso en el modelaje hidrológico relacionado con el cambio climático. El primero se enfoca en usar los escenarios climáticos producidos por los MCG en modelos simples de balance hídrico o modelos de proceso más complejos. Este grupo enfrenta los problemas de incertidumbre y resolución de los MCG y trata de mejorar los modelos hidrológicos de proceso. El segundo trata de mejorar la identificación de parámetros de la superficie terrestre en los MCG. Actualmente muchos de estos estudios se basan en cambios en la climatología y no en cambios en la variabilidad climática (por ejemplo, eventos extremos), debido al reto de contar con la información necesaria de los MCG (Huntingford et al. 2006), aunque estos pueden ser cambios importantes desde la perspectiva hidrológica.

Los estudios deben incorporar no solo el cambio en los parámetros climáticos, sino también otros cambios que pueden ser significativos en los cambios en la provisión de los servicios hidrológicos (por ejemplo, cambio de uso del suelo) (Piao et al. 2007). También son importantes los cambios de la cobertura vegetal que ocurren en escalas de tiempo cortas (para los flujos de gases y de energía), intermedias (para el almacenamiento de agua y la fenología) y largas (para los disturbios y el crecimiento) (Foley et al. 2000).

Xu y Singh (2004) distinguen tres tipos de modelaje para evaluar los recursos hídricos bajo clima estático:

- Método del balance hídrico a largo plazo que evalúa la distribución de la precipitación entre la evapotranspiración y el caudal en los ríos a escala multi-anual. Este enfoque tiene la desventaja de no poder evaluar la disponibilidad del recurso a nivel estacional o mensual. En zonas secas, como el caudal es muy bajo, se presentan problemas debido a que los errores de estimación de la evapotranspiración y precipitación pueden ser mayores que los valores de caudales

- Modelos conceptuales agrupados que evalúan el balance hídrico de la cuenca considerando la humedad del suelo, generalmente a escala diaria o mensual, de manera que permite ver la estacionalidad del recurso. Tratan de simular los flujos entre los diferentes compartimentos de almacenamiento de agua. En estos modelos se simula la evapotranspiración usando ecuaciones simples de extracción de agua del suelo relacionadas a la evapotranspiración potencial. Métodos más recientes se apoyan también en índices de vegetación que reflejan el crecimiento de la vegetación y sus patrones (Fisher et al. 2008). Además se simulan los diferentes componentes de la escorrentía (componentes de flujo rápido o lento)
- Modelos hidrológicos espaciales asistidos por Sistemas de Información Geográfica (SIG), que permiten evaluar cuencas grandes, modelar diferentes escenarios (por ejemplo, de cambio de uso del suelo) e impacto de fuentes contaminantes, por lo que tienen gran atractivo para trabajos de planificación. En estos entra en juego la resolución espacial asociada a los parámetros y ecuaciones del modelo. La cuenca se puede subdividir en celdas espaciadas equitativamente o en “unidades ecológicas de respuesta” que tienen respuestas con características similares

Bajo escenarios de clima futuro, se pueden aplicar tres tipos de métodos para evaluar los recursos hídricos (Xu y Singh 2004). El primero hace uso de los datos hidro-climáticos producidos por los MCG que tienen una resolución gruesa para muchas aplicaciones necesarias en una región como Mesoamérica. El segundo usa los datos de los MCG en modelos hidrológicos de macro-escala. El tercero considera modelos hidrológicos de macro-escala de tierra-superficie que se usan para mejorar modelos climáticos y meteorológicos y se usan acoplados a los MCG.

Un factor importante para la selección o construcción del modelo es la escala espacial y temporal del estudio, que depende de los objetivos del estudio. Otro factor se refiere a la disponibilidad de datos y los requerimientos de datos para identificar parámetros, calibrar y luego validar el modelo. Para los países de la región Mesoamericana esto puede ser una limitante debido a la diversidad y limitaciones en los datos disponibles.

Debido a la incertidumbre asociada a los escenarios de cambio climático (Santoso et al. 2008), es recomendable analizar varios modelos y escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero de manera que se cubra el rango de impactos posibles en el futuro. Este rango puede servir de base para una planificación robusta de la adaptación de los diferentes sectores asociados a los recursos hídricos. La mejora de la resolución espacial de los escenarios climáticos para su aplicación en modelos hidrológicos para Mesoamérica, es posible por varios métodos: la interpolación simple, métodos estadísticos de reducción de escala y modelos climáticos regionales (Santoso et al. 2008) de los cuales existen diversas experiencias en América (Marengo 2009).

Un modelo con potencial aplicación para la región mesoamericana es el Sistema de Mapeo Atmósfera-Planta Suelo (MAPSS, por sus siglas en inglés) (Neilson 1995). Este es un modelo estático atmósfera suelo-vegetación (SVAT, por sus siglas en inglés) que tiene el propósito de mapear cambios potenciales en parámetros de vegetación relevantes para el balance hídrico y los patrones de escorrentía bajo diferentes escenarios climáticos. MAPSS simula vegetación potencial bajo el principio fundamental de que los ecosistemas tienden a maximizar el área foliar que podrá ser soportada por un sitio dependiendo de la disponibilidad de humedad en el suelo y/o energía.

El modelo calcula el índice del área foliar (LAI, por sus siglas en inglés) de formas de vida leñosas y herbáceas en competencia por luz y agua, mientras que mantiene un balance hídrico por sitio. Los pasos sucesivos de cualquier trabajo de modelaje (identificación de parámetros, calibración y validación) son cruciales para crear confianza en los resultados del modelo. El modelo necesita datos accesibles a nivel regional (por ejemplo, textura de suelos

y promedios mensuales de precipitación, temperatura y viento). La validación del modelo se puede hacer con valores de LAI que se obtienen a través de sensores remotos y valores de escurrimiento que se obtienen de cuencas seleccionadas en la región. La aplicación del modelo con escenarios climáticos tiene el objetivo de mostrar como el cambio climático afectará la distribución de las formas de vida y la densidad de su área foliar, al igual que los patrones de escurrimiento a través de la región mesoamericana. Este enfoque permite futuros análisis de impactos del cambio climático sobre los ecosistemas y la disponibilidad de agua a escala regional.

## 8. Conclusiones

Los servicios ecosistémicos contribuyen al bienestar humano y juegan un papel importante para la adaptación de la sociedad al cambio climático. En Mesoamérica como en otras partes del mundo, el agua es crucial para la sociedad y el cambio climático pone en peligro el acceso por cambios en la cantidad (escasez o exceso) y la calidad de agua. Por lo tanto, los servicios hidrológicos de los ecosistemas deberían ser considerados en las políticas de varios sectores económicos de la sociedad tales como el sector de agua potable, hidroenergía, transporte, turismo, industria y pesca. Esta es la idea que se promueve con el enfoque de adaptación basada en ecosistemas.

Sin embargo, para definir e implementar la adaptación basada en ecosistemas, se requiere estudiar más el rol de los servicios hidrológicos en la reducción de la vulnerabilidad de la sociedad a problemas de agua. Este primer paso es necesario para demostrar la importancia de los servicios hidrológicos a tomadores de decisión y empezar a planificar medidas de adaptación basadas en ecosistemas. Un segundo paso consistiría en el involucramiento de diferentes sectores en el diseño e implementación de políticas, medidas y arreglos financieros para lograr la sostenibilidad de los servicios. En lugares donde los cambios en los ecosistemas se explican principalmente por presiones humanas como el cambio de uso del suelo, se debe abordar primero estos problemas. La urgencia de la adaptación de la sociedad al cambio climático puede permitir reexaminar problemas de conversión y degradación de ecosistemas con una nueva visión, nuevas motivaciones e implicación de sectores normalmente lejanos al tema de los ecosistemas.

Además de las presiones humanas, los servicios ecosistémicos (SE) van a ser afectados por el cambio climático. En una perspectiva de adaptación basada en ecosistemas, se debe tomar en cuenta estos impactos y tratar de reducirlos. Todavía no están claras las medidas de adaptación de los ecosistemas, sin embargo, ya se han propuesto medidas para facilitar la adaptación de los mismos, amortiguando las perturbaciones (por ejemplo, previniendo incendios o manejando especies invasivas y plagas) o facilitando la evolución o la transición del ecosistema hacia un nuevo estado adaptado a las nuevas condiciones (por ejemplo, aumentando la conectividad del paisaje o conservando ecosistemas en un gradiente de condiciones ambientales).

Evaluar dónde los servicios ecosistémicos son más vulnerables y dónde contribuyen más a la adaptación de la sociedad es crucial para lograr una adaptación sostenible de la sociedad mesoamericana al cambio climático. Los temas y enfoques de investigación presentados en este capítulo siguen ese objetivo y se deben complementar con estudios socioeconómicos sobre la vulnerabilidad de la sociedad, con una perspectiva multidisciplinaria.

## Bibliografía

Aguilar, E., Peterson, T.C., Ramírez Obando, P., Frutos, R., Retana, J.A., Solera, M., Soley, J., González García, I., Araujo, R. M., Rosa Santos, A., Valle, V.E., Brunet, M., Aguilar, L., Álvarez, L., Bautista, M., Castañon, C., Herrera, L., Ruano, E., Sinay, J.J., Sánchez, E., Hernández Oviedo, G.I., Obed, F., Salgado, J.E., Vázquez, J.L., Baca, M., Gutiérrez, M., Centella, C., Espinosa, J., Martínez, D., Olmedo, B., Ojeda Espinoza, C.E., Núñez, R., Haylock, M., Benavides, H., Mayorga, R., 2005. Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and northern South America, 1961-2003. *Journal of Geophysical Research*, 110, D23107.

- Arnell, N. 2003. Effects of IPCC SRES emission scenarios on river runoff: a global perspective. *Hydrology and Earth System Sciences* 7, 619-641.
- Arnell, N. 2004. Climate change and global water resources: SRES emission and socioeconomic scenarios. *Global Environmental Change* 14, 31-52.
- Bergkamp, G., Orlando, B., Burton, I. 2003. *Change. Adaptation of Water Management to Climate Change*. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. 53 pp.
- Bonell, M. 1998. Possible impacts of climate variability and change of tropical forest hydrology. *Climatic Change* 39, 215-272.
- Brauman, K., Daily, G., Duarte, T., Mooney, H. 2007. The nature and value of ecosystem services: An overview highlighting hydrologic services. *Annual Review of Environmental Resources* 32, 67-98.
- Calderon Palma, H., Bentley, L. 2007. A regional-scale groundwater flow model for the Leon-Chinandega aquifer, Nicaragua. *Hydrogeology Journal* 15, 1457-1472.
- CEPAL. 2002. El impacto socioeconómico y ambiental de la sequía de 2001 en Centroamérica. Comisión Económica para América Latina, Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo. 53 p.
- Christensen, J.H., Hewitson, B., Busuioc, A., Chen, A., Gao, X., Held, I., Jones, R., Kolli, R.K., Kwon, W.-T., Laprise, R., Magaña Rueda, V., Mearns, L., Menéndez, C.G., Räisänen, J., Rinke, A., Sarr, A., Whetton, P. 2007. Regional Climate Projections. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor M., Miller, H.L. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Condit, R. 1998. Ecological implications of changes in drought patterns: shifts in forest composition in Panama. *Climatic Change* 39, 413-427.
- Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R., Paruelo, J., Raskin, R., Sutton, P., van den Belt, M. 1997. The value of world's ecosystem services and natural capital, *Nature* 387, 253-260.
- Daily, G., Alexander, S., Ehrlich, P., Goulder, L., Lubchenco, J., Matson, P., Mooney, H., Postel, S., Schneider, S., Tilman, D., Woodwell, G. 1997. Ecosystem Services: Benefits supplied to human societies by natural ecosystems. *Issues in Ecology* 2, 1-16.
- Dudley, N. 1998. *Forests and climate change. A report for WWF Internacional, Forest Innovations, IUCN, GTZ, WWF*.
- Fearnside, P. 2004. Are climate change impacts already affecting tropical forest biomass?. *Global Environmental Change* 14, 299-302.
- Fisher, J., Tu, K., Baldocchi, D. 2008. Global estimates of the land-atmosphere water flux based on monthly AVHRR and ISLSCP-II data, validated at 16 FLUXNET sites. *Remote Sensing of Environment* 112, 901-919.
- Foley, J., Levis, S., Costa, M., Cramer, W., Pollard, D. 2000. Incorporating dynamic vegetation cover within global climate models. *Ecological Applications* 10, 1620-1632.
- Giorgi, F. 2006. Climate change hot-spots. *Geophysical Research Letters* 33, 1-4.
- Goldammer, J., Price, C. 1998. Potential impacts of climate change on fire regimes in the tropics based on MAGICC and GISS GCM-derived lightning model. *Climatic Change* 39, 273-296.
- González, C., Locatelli, B., Imbach, P., Vignola, R., Pérez, C., Vaast, P. 2008. Identificación de bosques y sistemas agroforestales proveedores de servicios ecosistémicos para el sector agua potable en Nicaragua. *Recursos Naturales y Ambiente* 51, 35-41.
- de Groot, R., Wilson, M., Boumans, R. 2002. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics* 41, 393-408.
- Guo, Z., Xiao, X., Li, D. 2000. An assessment of ecosystem services: water flow regulation and hydroelectric power production. *Ecological Applications* 10, 925-936.
- Guswa, A., Rhodes, A., Newell, S. 2007. Importance of orographic precipitation to the water resources of Monteverde, Costa Rica. *Advances in Water Resources* 30, 2098-2112.
- Halpin, P.N., Kelly, P.M., Secrett, C.M., Schmidt, T.M. 1995. *Climate Change and Central America Forest System. Background paper on the Nicaragua Pilot Project*.
- Heyman, W.D., Kjerfve, B. 1999. Hydrological and Oceanographic Considerations for Integrated Coastal Zone Management in Southern Belize. *Environmental Management* 24, 229-245.
- Huntingford, C., Gash, J., Giacomello, A. 2006. Climate change and hydrology: next steps for climate models. *Hydrological Processes* 20, 2085-2087.
- Kaimowitz, D. 2005. Useful myths and intractable truths: the politics of the link between forests and water in Central America. In: Bonell, M., Bruijnzeel, L.A. (eds). *Forests, Water and People in the Humid Tropics: Past, Present and Future Hydrological Research for Integrated Land and Water Management. International Hydrology Series*, Cambridge University Press, United Kingdom. 944 p.
- Kim, J., Saunders, P., Finn, J. 2005. Rapid Assessment of Soil Erosion in the Rio Lempa Basin, Central America, Using the Universal Soil Loss Equation and Geographic Information Systems. *Environmental Management* 36, 872-885.
- Krauze, K., Wagner, I. 2007. An ecohydrological approach for the protection and enhancement of ecosystem services. In: Petrosillo et al. (eds.). *Use of Landscape Sciences for the Assessment of Environmental Security. NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security*. Springer Netherlands. 107-277 p.

- Kundzewicz, Z.W., Mata, L.J., Arnell, N.W., Döll, P., Kabat, P., Jiménez, B., Miller, K.A., Oki, T., Sen, Z., Shiklomanov, I.A. 2007. Freshwater resources and their management. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 173-210.
- Limburg, K., O'Neill, R., Costanza, R., Farber, S. 2002. Complex systems and valuation. *Ecological Economics* 41, 409-420.
- Leguía, E., Locatelli, B., Imbach, P., Pérez, C., Vignola, R. 2008a. Servicios ecosistémicos e hidroenergía en Costa Rica. *Ecosistemas* 17, 16-23.
- Leguía, E., Locatelli, B., Imbach, P., Alpizar, F., Vignola, R., Pérez, C. 2008b. Servicios ecosistémicos e hidroelectricidad en Nicaragua. *Recursos Naturales y Ambiente* 51, 41-51.
- Locatelli B., Kanninen, M. 2009. Servicios ecosistémicos y adaptación al cambio climático. *En este volumen*.
- Locatelli B., Vignola R., 2009. Managing watershed services of tropical forests and plantations: Can meta-analyses help? *Forest Ecology and Management* 258 (9), 1864-1870. doi:10.1016/j.foreco.2009.01.015
- Luijten J., Miles, L., Cherrington, E. 2006. Land use change modelling for three scenarios for MAR region. Technical report. Watershed Analysis for the Mesoamerican Reef Data CD. World Resources Institute. Washington, DC.
- Magrin, G., Gay García, C., Cruz Choque, D., Giménez, J.C., Moreno, A.R., Nagy, G.J., Nobre, C., Villamizar, A. 2007. Latin America. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., van der Linden, P.J., Hanson, C.E. (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, UK, 581-615.
- Malhi, Y., Wright, J. 2004. Spatial patterns and recent trends in the climate of tropical rainforest regions. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. Biological Sciences* 359, 311-329.
- Marengo, J. 2009. Regional changes in climate and extremes scenarios in Brazil and applications for Impacts, Vulnerability, Adaptation Studies and Consequences for Ecosystem Services. *En este volumen*.
- Meehl, G.A., Covey, C., Delworth, T., Latif, M., McAvaney, B., Mitchell, J.F.B., Stouffer, R.J., Taylor, K.E. 2007. The WCRP CMIP3 multi-model dataset: A new era in climate change research. *Bulletin of the American Meteorological Society* 88, 1383-1394.
- Millennium Ecosystem Assessment. 2003. *Ecosystems and Human Well-Being: a Framework for Assessment*. Island Press. 212 p.
- Millennium Ecosystem Assessment, 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press, Washington, DC.
- Neelin, J., Münnich, M., Su, H., Meyerson, J., Holloway, C. 2006. Tropical drying trends in global warming models and observations. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 103, 6110-6115.
- Neilson, R. 1995. A model for predicting continental-scale vegetation distribution and water balance. *Ecological Applications* 5, 362-385.
- OMM. 1996. San José Declaration: Latin American Action Plan on Assessment and Management of Water Resources. Adoptada a la Conferencia sobre Evaluación y Manejo de los Recursos Hídricos en América Latina y El Caribe. San José, Costa Rica, Organización Mundial de la Meteorología/Banco Interamericano de Desarrollo.
- Pattanayak, S. 2004. Valuing watershed services: concepts and empirics from southeast Asia. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 104, 171-184.
- Pearson R.G. 2006. Climate change and the migration capacity of species. *Trends in Ecology and Evolution* 21 (3), 111-113.
- Pérez, C., Locatelli, B., Vignola, R., Imbach, P. 2008. Importancia de los bosques tropicales en las políticas de adaptación al cambio climático. *Recursos Naturales y Ambiente* 51-52, 4-11.
- Piao, S., Friedlingstein, P., Ciais, P., Noblet-Ducoudré, N., Labat, D., Zaehle, S. 2007. Changes in climate and land use have a larger direct impact than rising CO<sub>2</sub> on global river runoff trends. *PNAS* 104: 15242-15247.
- Pounds J.A., Fogden M.P.L., Campbell J.H. 1999. Biological response to climate change on a tropical mountain. *Nature*, 398, 611-615.
- Rauscher, S., Giorgi, F., Diffenbaugh, N., Seth, A. 2008. Extension and intensification of the Meso-American mid-summer drought in the twenty-first century. *Climate Dynamics* 31, 551-571.
- Sala, O.E., Chapin III, F.S., Gardner, R.H., Lauenroth, W.K., Mooney, H.A., Ramakrishnan, P.S. 1999. Global change, biodiversity and ecological complexity. In: Walker, B.H., Steffen, W.L., Canadell, J., Ingram, J.S.I. (eds). *The Terrestrial Biosphere and Global Change: Implications for Natural and Managed Ecosystems*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Sala, O.E., Chapin, F.S., Armesto, J.J., Berlow, E., Bloomfield, J., Dirzo, R., Huber-Sanwald, E., Huenneke, L.F., Jackson, R.B., Kinzig, A., Leemans, R., Lodge, D.M., Mooney, H.A., Oesterheld, M., Poff, N.L., Sykes, M.T., Walker, B.H., Walker, M., Wall, D.H. 2000. Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science* 287, 1770-1774.
- Santoso, H., Idinoba, M.M., Imbach, P. 2008. Climate Scenarios: What we need to know and how to generate them. Working Paper No.45, CIFOR, 32 p.
- SICA. 2002. Marco Regional de Adaptación al Cambio Climático para los Recursos Hídricos en Centroamérica. SICA/CRRH/UICN/GWP. Diálogo Centroamericano Sobre el Agua y el Clima, Noviembre 26-28, San José, Costa Rica. 61 p.
- Townsend S.A., Douglas M.M. 2004. The effect of a wildfire on stream water quality and catchment water yield in a tropical savanna excluded from fire for 10 years (Kakadu National Park, North Australia). *Water Research* 38, 3051-3058.
- United Nations. 2000. Millennium Development Goals. The Millennium Development Goals Report. United Nations, New York.

- Weng, E., Zhou, G. 2006. Modeling distribution changes of vegetation in China under future climate change. *Environmental Modeling and Assessment* 11, 45-58.
- Wolf, A., Yoffe, S., Giordano, M. 2003. International waters: identifying basins at risk. *Water Policy* 5, 29-60.
- Woodward, R., Wui, Y. 2001. The economic value of wetland services: a meta analysis. *Ecological Economics* 37, 257-270.
- Xu, C., Singh, V. 2004. Review on regional water resources assessment models under stationary and changing climate. *Water Resources Management* 18, 591-612.
- Zadroga, F. 1981. The hydrological importance of a montane cloud forest area of Costa Rica. In: Lal, R., Russell, E. W. (eds.). *Tropical Agricultural Hydrology. Watershed Management and Land Use*. New York, Willey.

# Migración de ecosistemas bajo escenarios de cambio climático: el rol de los corredores biológicos en Costa Rica

## *Ecosystem migration under climate change scenarios: the role of biological corridors in Costa Rica*

Bruno Locatelli<sup>1</sup>, Pablo Imbach<sup>2</sup>

<sup>1</sup>CIRAD UPR Forest Policies – CIFOR ENV Program PO Box 0113 BOCBD 16000 Bogor, Indonesia. Email: bruno.locatelli@cirad.fr

<sup>2</sup>CATIE Programa de Cambio Global 7170 Turrialba, Costa Rica.

### Resumen

El cambio climático causará un cambio en la distribución de los ecosistemas y las especies. Estudios biogeográficos que predicen cambios en la distribución de las zonas de vida permiten evaluar los impactos potenciales del cambio climático sobre los ecosistemas. Sin embargo, los estudios de vulnerabilidad deben ir asociados con estimaciones de la capacidad adaptativa de los ecosistemas.

La migración de especies es una respuesta potencial por parte de los ecosistemas frente al cambio climático. La capacidad de migración depende de las características de las especies y del nivel de fragmentación de los paisajes a través de los cuales tendrán que dispersarse. La implementación de corredores biológicos entre áreas protegidas puede facilitar la adaptación de estas áreas al cambio climático.

El objetivo de este artículo es evaluar si la configuración actual de los corredores biológicos facilita la adaptación de áreas protegidas mediante migración bajo escenarios de cambio climático en Costa Rica. Se desarrolló un modelo de simulación espacial de tipo “autómata celular”. El modelo usa la clasificación de zonas de vida de Holdridge para caracterizar los ecosistemas y aplica un modelo conceptual de evolución y migración de especies.

Los resultados muestran que las áreas protegidas más expuestas y sensibles al cambio climático se encuentran en las montañas altas y las zonas secas de Costa Rica y que los corredores juegan un papel importante para facilitar la migración de especies entre áreas protegidas bajo escenarios de cambio climático. Los corredores son particularmente importantes para las áreas protegidas pequeñas, aisladas y en zonas montañosas o secas. En un país con relieve marcado como Costa Rica, los corredores altitudinales son muy relevantes para facilitar la migración de especies.

El modelo es útil para priorizar acciones de adaptación al cambio climático y puede servir para apoyar los esfuerzos regionales de implementación del Corredor Biológico Mesoamericano (CBM), demostrando el rol de los corredores para la adaptación de los ecosistemas al cambio climático.

Palabras clave: cambio climático, corredores biológicos, ecosistemas, migración.

### Abstract

Climate change will induce shifts in the distribution of ecosystems and species. Biogeographical studies that predict changes in the distribution of life zones allow assessing the potential impacts of climate change on ecosystems. However, vulnerability assessments must integrate estimations of the adaptive capacity of ecosystems.

Species migration is a potential response of ecosystems facing climate change. Migration capacity depends on species characteristics and the level of fragmentation of the landscape through which species will disperse. The implementation of biological corridors between protected areas can facilitate the adaptation of these areas to climate change.

The objective of this paper is to assess whether the current configuration of biological corridors facilitates the adaptation of protected areas through migration under climate change scenarios in Costa Rica. We developed a spatially-explicit simulation model based on cellular automata. The model uses Holdridge life zone classification for characterizing ecosystems and applies a conceptual model of species evolution and migration.

Results show that the most exposed and sensitive protected areas are located in the high mountains and the dry areas of Costa Rica. Results also show that corridors play an important role in facilitating species migration between protected areas under climate change scenarios. Corridors are particularly important for protected areas that are small, isolated, and located in mountains or dry areas. In a country with an accidented topography such as Costa Rica, the altitudinal corridors are very relevant for facilitating species migration.

The model is useful for prioritizing adaption to climate change and can be used for supporting the regional efforts for implementing the Mesoamerican Biological Corridor (CBM), by highlighting the role of the corridors for the adaptation of ecosystems to climate change.

Keywords: biological corridors, climate change, ecosystems, migration.

---

## 1. Introducción

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) presenta numerosas evidencias de los cambios del clima y sus impactos sobre ecosistemas, con consecuencias para las sociedades locales y la humanidad (Parry et al. 2007). El cambio climático va a causar el desplazamiento de las zonas de vida, definidas como zonas con condiciones climáticas adecuadas para un tipo dado de ecosistema. Frente a estos cambios, las especies constitutivas de un ecosistema pueden adaptarse mediante la plasticidad fenotípica, la evolución adaptativa y la migración (Markham 1996; Bawa y Dayanandan 1998). Aun si se desconoce la capacidad adaptativa de muchos ecosistemas, se anticipa que esa capacidad podría ser insuficiente para enfrentar los cambios climáticos previstos (Gitay et al. 2002; Julius et al. 2008; Seppala et al. 2009).

La distribución futura de los ecosistemas depende en parte de la capacidad de migración de las especies (Pitelka 1997; Kirilenko et al. 2000). Las capacidades de migración necesarias bajo escenarios de cambio climático (más de 1.000 m/año según Malcolm et al. 2002 y Pearson 2006) podrían ser más altas que las que ocurren actualmente (alrededor de 100 m/año según Dyer 1995) o las que ocurrieron después del último periodo glaciario, con algunas estimaciones alrededor de 100 m/año para los árboles (McLachlan et al. 2005). Sin embargo, hay muchas incertidumbres sobre estos valores; por ejemplo, Pearson (2006) y Malcolm et al. (2002) estiman velocidades de migración de árboles entre cientos y miles de metros por año después del último periodo glaciario.

La mayoría de los estudios sobre cambio climático y ecosistemas consideran una capacidad ilimitada de migración o no migración (Pearson 2006). Suponiendo que las zonas de vida se definen por las condiciones climáticas en que se desarrolla un ecosistema, en el primer caso cuando la zona de vida se desplaza en el escenario futuro, también lo hace directamente el ecosistema (Mendoza et al. 2001). En el segundo caso, si la zona de vida de un lugar se modifica con el cambio climático, el ecosistema desaparece. La dificultad en considerar escenarios más realísticos de migración viene de las incertidumbres sobre los procesos de migración y la velocidad de migración de las plantas.

La migración de los ecosistemas depende de la configuración del paisaje en donde las especies pueden moverse. La fragmentación del paisaje puede reducir la capacidad de migración, modificando las tasas de dispersión de semillas o reduciendo los hábitats adecuados para una colonización exitosa. En este contexto, los corredores biológicos propuestos para conectar parches de vegetación (en particular las áreas protegidas) juegan un papel importante en la adaptación de los ecosistemas al cambio climático y pueden considerarse como medidas de adaptación planeada.

La adaptación de las áreas protegidas es de gran importancia por los esfuerzos que la sociedad ha puesto en estas y también porque, en las áreas protegidas donde las presiones humanas han sido reducidas, el cambio climático podría ser la mayor causa de degradación en el futuro. El rol de los corredores biológicos para la adaptación depende de su configuración espacial y de la dirección de movimiento de las zonas de vida. A menudo se han propuesto corredores altitudinales y latitudinales, pero puede ser que encontrar la solución no sea simple.

En este capítulo, se evalúa si la configuración actual de los corredores biológicos facilita la adaptación de los ecosistemas en áreas protegidas mediante migración bajo escenarios de cambio climático en Costa Rica. Para este fin, se desarrolla un modelo de simulación espacial.

## 2. Materiales y métodos

El caso de estudio es el territorio nacional de Costa Rica, un país con mucha riqueza biológica y que ha implementado activamente políticas de conservación de la biodiversidad. A pesar de los esfuerzos de conservación, se ha señalado que, debido a la degradación de ecosistemas fuera de las áreas protegidas, el aislamiento creciente de esas áreas podría impedir que funcionen como una red efectiva (Sánchez-Azofeifa et al. 2003). En la región mesoamericana, iniciativas internacionales de conservación se están implementando. En el año 1997, se conceptualizó y acordó una iniciativa de Corredor Biológico Mesoamericano (CBM) que se está progresivamente implementado en las políticas nacionales y en el campo. El CBM lo conforman los siete países centroamericanos y los Estados del sur de México para armonizar y ejecutar de manera coordinada actividades destinadas a la conservación de la biodiversidad y la promoción del desarrollo humano sostenible (CCAD-UNDP/GEF 2002). Los corredores biológicos propuestos conectan las áreas protegidas en la región y por lo tanto pueden contribuir a la adaptación de estas áreas al cambio climático.

El enfoque general del trabajo se basa en el uso de un modelo espacial de tipo autómatas celulares (Wolfram 1986), es decir, un modelo matemático de sistema dinámico representado espacialmente en una cuadrícula en la cual cada celda o píxel evoluciona en pasos discretos interactuando con sus celdas vecinas. Estos modelos ya han sido utilizados para modelar desplazamientos de manera espacialmente explícita, por ejemplo, en la migración de ecosistemas (Ostendorf et al. 2001), dispersión de fuegos en paisajes (Karafyllidis y Thanailakis 1997) u otros aspectos de modelaje biológico (Ermentrout y Edelstein-Keshet 1993). En este caso, se define una cuadrícula con píxeles de 2 arc min de lado (aproximadamente 4.6 km). El modelo usa pasos temporales de 10 años, entre los años 1990 y 2050.

Nuestro modelo usa una representación simple de la vegetación. Se justifica esta simplificación porque el modelo no busca simular el estado de la vegetación sino el rol de los corredores. Se clasificaron los ecosistemas usando el sistema de zonas de vida de Holdridge (Holdridge 1947). En cada lugar, se define la zona de vida con base en la elevación y el clima (biotemperatura promedio y precipitación anual) (Figura 1). Nuestro supuesto es que cada zona de vida está asociada a la presencia de un tipo de ecosistema potencial, compuesto de cinco grupos de

especies hipotéticas (similares a grupos funcionales como lo propuesto por Neilson et al. 2005) con diferentes capacidades de migración, de baja (100 m/año) a alta (2000 m/año). El modelo asume que la migración de las especies es posible entre pixeles contiguos con vegetación.

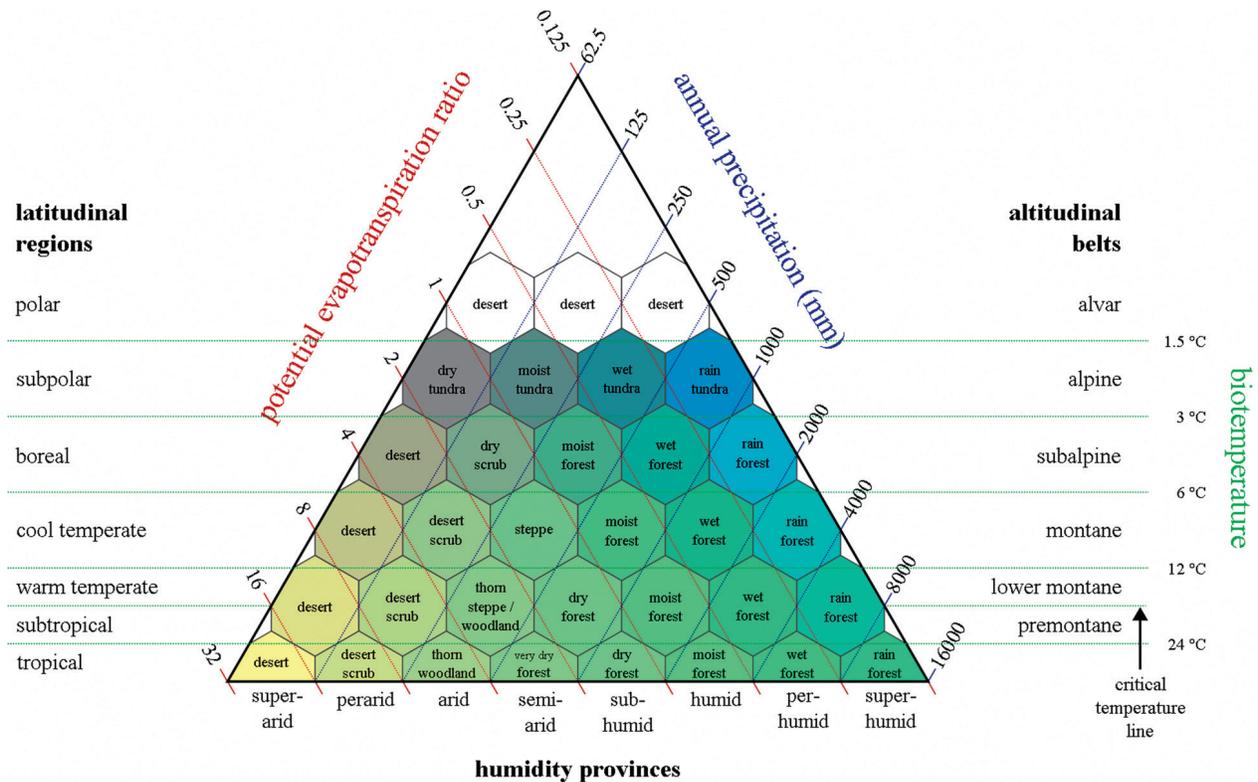


Figura 1. Esquema de clasificación de Zonas de Vida de Holdridge.<sup>1</sup>

Al iniciar la simulación, se estima en cada píxel la zona de vida del año 1990 (con base en el clima de referencia de los años 1961-1990 y las elevaciones) y se atribuye un valor de presencia de 1 a cada uno de los cinco grupos de especies correspondientes a la zona de vida (Figura 2). Luego, en cada década, se actualizan las zonas de vida de cada píxel tomando en cuenta el clima futuro. El conjunto de especies presentes en un píxel se actualiza, reduciendo la presencia de las que no están más adecuadas a la zona de vida, y aumentando la presencia de las adecuadas (con un límite superior debido a una capacidad de carga). Si una especie está adecuada a la nueva zona de vida pero no se encuentra en el píxel, se evalúa si está presente en el vecindario de pixeles contiguos con vegetación, en un radio dependiente de la capacidad de migración de la especie. Si está presente en el vecindario, la especie puede migrar al píxel (Figura 2); pero si no se encuentra en el vecindario, entonces no puede aparecer en el píxel.

Se simula un escenario de referencia con migración ilimitada, en el que no hay ninguna restricción de migración. Es decir, los cinco grupos de especies tienen capacidad ilimitada de migración en todo el paisaje. Los escenarios restantes se comparan con esta referencia: la diferencia en el estado de la vegetación en áreas protegidas entre un escenario y la referencia es el indicador de impacto. Luego se simulan cuatro escenarios que permiten evaluar diferentes impactos (Figura 3).

<sup>1</sup> Figura creada por Peter Halasz. Reproducción permitida por la licencia "Creative Commons Attribution and ShareAlike".

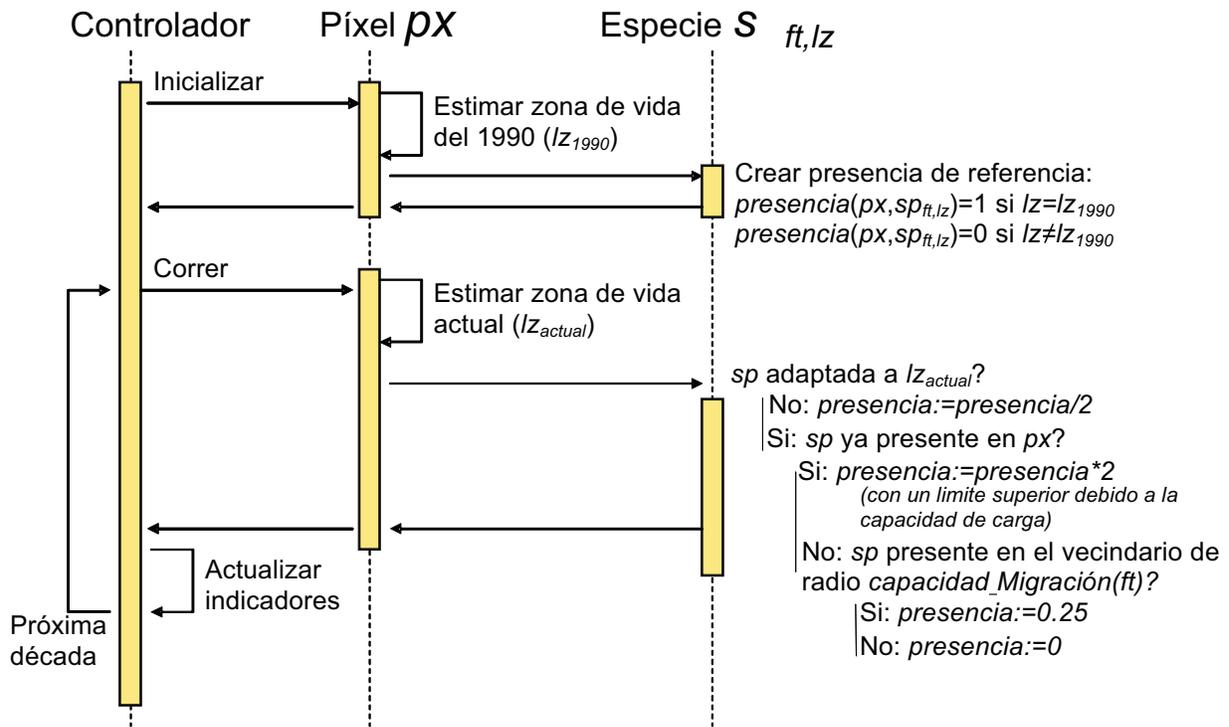


Figura 2. Diagrama de tipo UML (Lenguaje Unificado de Modelaje por sus siglas en inglés) del modelo (px = píxel, sp=especies, ft=tipo funcional, lz=zona de vida).

- Impactos potenciales (PI, por sus siglas en inglés). En este escenario, no hay capacidad de migración. Se consideran solamente los impactos potenciales (resultando de la exposición y la sensibilidad del sistema, según la definición del IPCC<sup>2</sup>) sin incluir la capacidad adaptativa del ecosistema mediante migración de especies. Esto quiere decir que la vegetación se degrada en los píxeles que cambian de zona de vida, sin que haya ingreso de nuevas especies.
- Impactos esperados (EI, por sus siglas en inglés). Las especies pueden migrar, con capacidad limitada, pero se considera que hay vegetación solamente en las áreas protegidas y no hay corredores. La migración puede ocurrir dentro de las áreas protegidas o entre áreas protegidas contiguas. Así se evalúan los impactos esperados del cambio climático sin corredores.
- Impactos residuales (RI, por sus siglas en inglés). Las especies pueden migrar, con capacidad limitada, en las áreas protegidas y los corredores. Así se evalúan los impactos residuales del cambio climático con implementación de una medida de adaptación planeada, o sea los corredores. La diferencia entre EI y RI son los impactos evitables mediante adaptación planeada (Figura 3).

<sup>2</sup> El IPCC define la vulnerabilidad como el impacto potencial del cambio climático menos la capacidad adaptativa del sistema evaluado. El impacto potencial se refiere al nivel de exposición del sistema (en nuestro caso el cambio en las variables climáticas), sumado a su sensibilidad (acá la dinámica de las especies constituyentes de los ecosistemas). La capacidad adaptativa se refiere al potencial del ecosistema de sobrellevar y recuperarse del impacto (en nuestro caso la capacidad de migración de las especies).

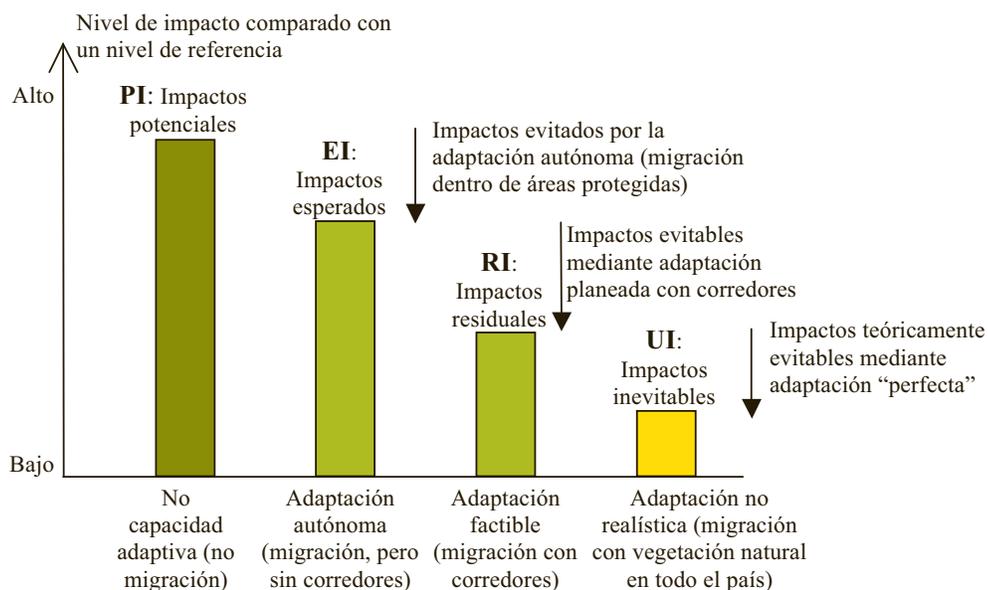


Figura 3. Los diferentes tipos de impactos evaluados con los diferentes escenarios simulados (conceptos adaptados de Füssel y Klein 2006). Las flechas que apuntan hacia abajo indican los impactos evitados.

- Impactos inevitables (UI, por sus siglas en inglés). Las especies pueden migrar, con capacidad limitada, en el territorio nacional totalmente cubierto por vegetación natural. Así se evalúan los impactos inevitables del cambio climático con medidas de adaptación "perfectas" para facilitar la migración, es decir poner todo del país bajo conservación. Estas son medidas teóricas no realistas, que permiten conocer el escenario óptimo.

Los escenarios PI y UI muestran los impactos máximos y mínimos. Como nos interesa el efecto de los corredores y no directamente el estado de la vegetación en los diferentes escenarios, presentamos los resultados con un índice relativo de impacto: el índice es alto (valor 1) cuando no hay migración (escenario PI) y bajo (valor 0) cuando la migración se puede hacer en todo el espacio (escenario UI). Para poder evaluar el rol de cada corredor en la migración y priorizar los corredores más importantes para la adaptación, también se corre el modelo removiendo los corredores uno por uno, de manera que se evalúa la contribución individual de un corredor.

Los datos de altura y clima de referencia usados en el modelo se tomaron de WorldClim (Hijmans et al. 2005) con datos de precipitación y temperaturas mensuales a una resolución de 0.5 arco-minutos (cerca de 10 km). Se escogió un escenario de cambio climático del conjunto de datos TYN SC version 2.0.3 (Mitchell et al. 2003), desarrollado con el escenario de emisiones A2 del IPCC y el modelo de circulación general HadCM3 con una resolución de 0.5 grados (cerca de 60 km). El clima promedio de cada década fue reconstituido combinando el clima de base y los cambios dados por TYN SC. El mapa de las áreas protegidas y de los corredores biológicos del CBM fue tomado de CCAD-UNDP/GEF (2002). Se remuestrearon todos los datos con la resolución de nuestra cuadrícula (2 arco-minutos). No se limitó al ámbito de Costa Rica sino que se amplió a las áreas protegidas y corredores de Nicaragua al norte y Panamá al sur para evitar los efectos de borde. Sin embargo, los resultados se evaluaron solo para Costa Rica.

### 3. Resultados y discusión

Los resultados del escenario PI (impactos potenciales) muestran cuales áreas protegidas tienen ecosistemas que están más expuestos y sensibles al cambio climático. Este escenario simple, que no considera la adaptación autónoma por migración de especies, permite evidenciar que las áreas protegidas ubicadas en las partes altas (Cordillera Central) y secas (Guanacaste) son las más impactadas potencialmente por el cambio climático (Figura 4).

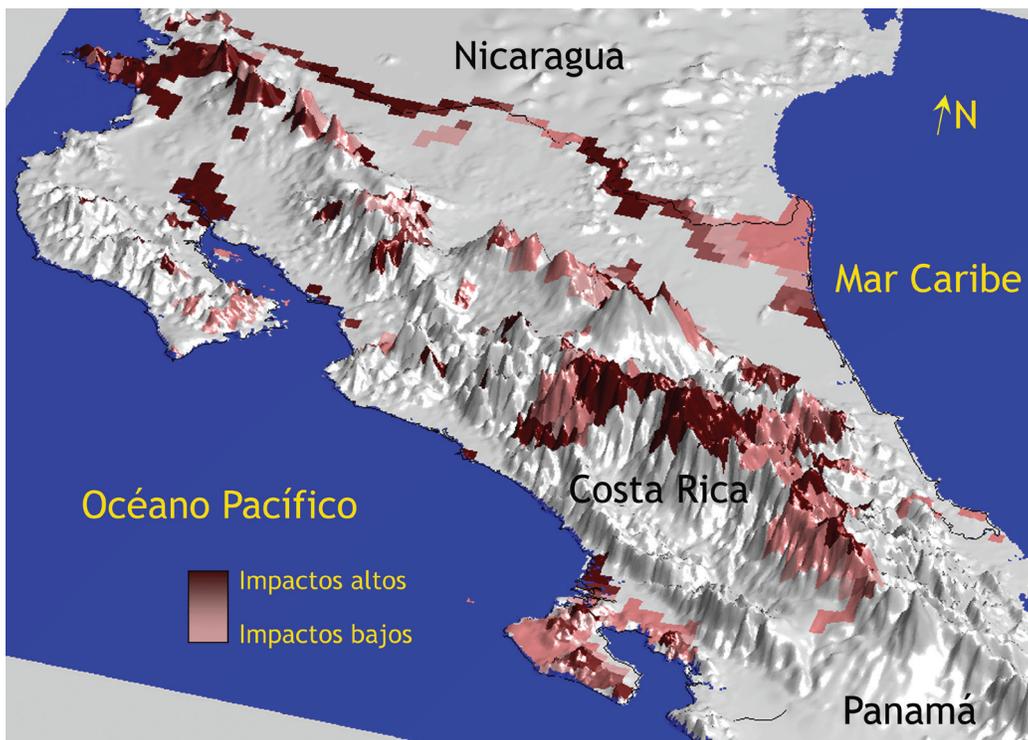


Figura 4. Mapas de los impactos potenciales del cambio climático sobre áreas protegidas en Costa Rica. Los impactos potenciales toman en cuenta la exposición (cambio climático) y la sensibilidad (pérdida de especies por desplazamiento de zonas de vida) pero no la adaptación autónoma (migración de especies).

Este resultado se puede explicar por los cambios importantes de las zonas de vida de Holdridge en las partes altas. Las zonas de bosques muy húmedos de baja montaña y de montaña se reducen mucho, y las zonas de bosques pluviales de baja montaña y de montaña casi desaparecen. En el noroeste del país, debido a las reducciones de precipitación previstas por el escenario climático usado, las zonas de vida de tipo bosque tropical húmedo se reducen mucho y se convierten en zonas de tipo bosque tropical seco.

Cuando se toma en cuenta la adaptación autónoma mediante migración de especies dentro de las áreas protegidas (escenario EI), se nota una reducción de los impactos en comparación con el escenario sin migración (PI) (Figura 5). Eso muestra la importancia de considerar la migración como adaptación autónoma en estudios de vulnerabilidad de ecosistemas bajo escenarios de cambio climático. La reducción de impactos observada se puede explicar por el hecho de que grandes superficies de áreas protegidas están ya conectadas, aun sin corredores. Es el caso de las áreas protegidas del sur-oeste en la Cordillera Volcánica Central cerca del límite con Panamá (Parque Nacional La Amistad), que bajo el escenario PI tienen impactos altos que se reduce en el escenario EI.

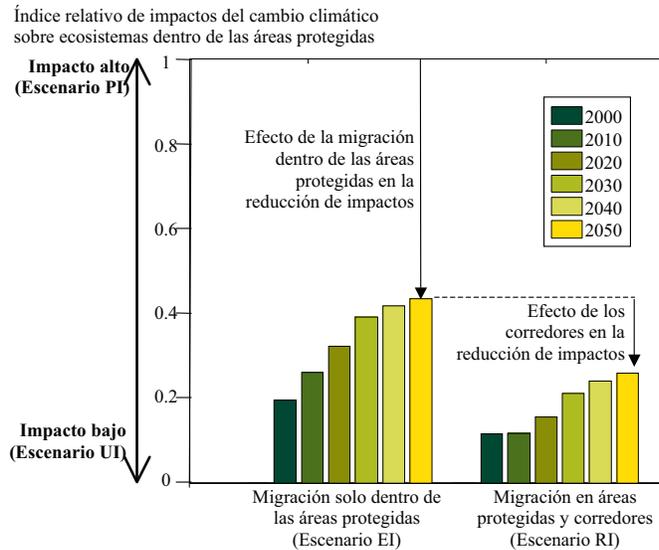


Figura 5. Impactos del cambio climático sobre los ecosistemas en las áreas protegidas en Costa Rica bajo escenarios de presencia y ausencia de corredores biológicos.

Además de la migración dentro de áreas protegidas y entre las que están contiguas, la migración mediante corredores biológicos contribuye también a reducir los impactos (Figura 5). El índice de impactos se reduce de cerca del 50% con la presencia de los corredores en el escenario RI.

Las áreas protegidas que se benefician más de los corredores se encuentran en las partes altas del norte de Costa Rica (Rincón de la Vieja, Miravalles, Volcán Tenorio y Arenal), en Guanacaste (Palo Verde) y al este del país (Río Pacuare) (Figura 6A). Estas áreas protegidas tienen la particularidad de ser relativamente pequeñas y aisladas de otras áreas.

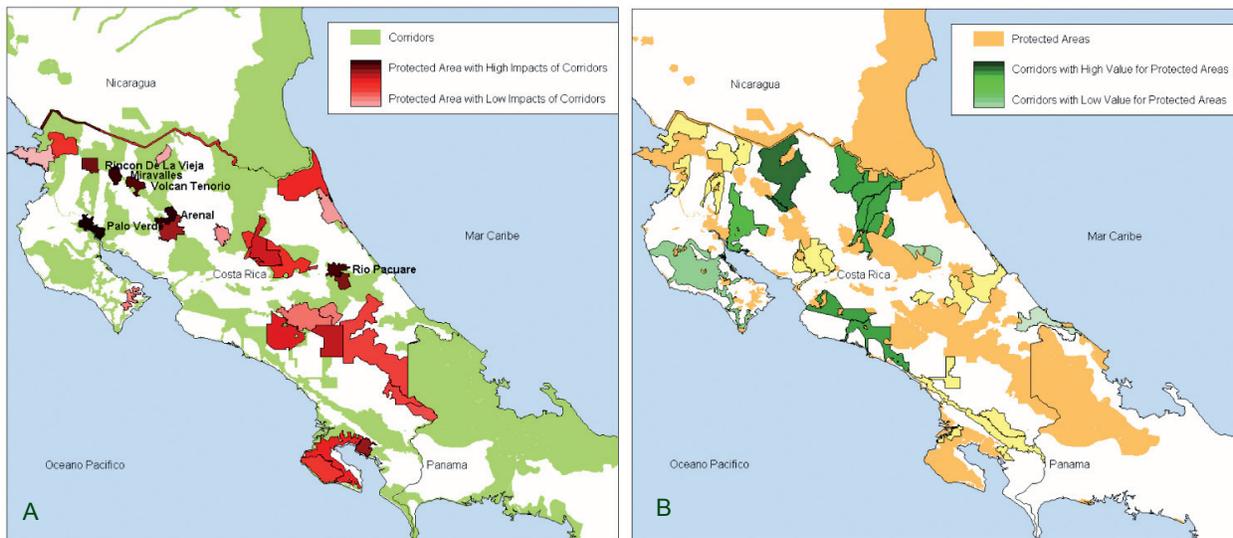


Figura 6. Mapas de las áreas protegidas que se benefician más de los corredores (A) y los corredores que benefician más a las áreas protegidas (B).

Los corredores que son más importantes para la migración de especies entre áreas protegidas bajo el escenario de cambio climático seleccionado se encuentran en el noreste del país (al norte de Palo Verde y al sur de Rincón de la Vieja), en la vertiente del Pacífico (al sur de Arenal) y en la vertiente del Atlántico (del noreste al suroeste de Río Pacuare) (Figura 6B). Estos tres corredores conectan áreas con altos impactos potenciales con otras áreas, especialmente el primero. También presentan la característica de ser corredores altitudinales que conectan las zonas bajas costeras con las zonas altas en la Cordillera Volcánica Central que corre del suroeste hacia el noreste.

Los gradientes altitudinales parecen más importantes para la migración que los latitudinales. Esta observación se puede explicar por dos factores. Primero, Costa Rica es un país con un relieve accidentado en que, a grandes rasgos, los gradientes altitudinales (de las costas al centro del país) y latitudinales (norte-sur) no son paralelos y, en muchas partes del país, los cambios de zona de vida siguen los gradientes de altura. Segundo, el escenario climático no muestra variaciones claras según un gradiente latitudinal (datos no mostrados). En el norte por ejemplo, se observa un desplazamiento de zonas de vida del oeste al este, con zonas secas de la costa pacífica que se muevan hacia el este.

Los resultados presentados tienen limitaciones asociadas al enfoque y método aplicado. Se trata de un primer paso y existen otras opciones para mejorar este trabajo. Primero, se debería tomar en cuenta el estado actual de la vegetación fuera de las áreas protegidas y en los corredores, y simular escenarios de restauración o degradación de la vegetación en los corredores o fuera de ellos, para comparar otras alternativas de políticas de conservación. Segundo, se debería trabajar con diferentes representaciones de la capacidad de migración de especies y ecosistemas. Tercero, se debería aplicar diferentes escenarios climáticos ya que los resultados pueden cambiar bajo otros escenarios climáticos, sobretodo para la parte sur del país en que diferentes modelos climáticos muestran una señal de cambio contradictoria. Finalmente, se debería realizar un análisis de sensibilidad de los resultados a los diferentes supuestos y datos utilizados, especialmente climáticos.

## 4. Conclusión

Facilitar la migración de especies es una de las medidas de adaptación al cambio climático propuestas por la comunidad que trabaja en conservación de la biodiversidad. Este trabajo ha evaluado el rol que tienen los corredores biológicos propuestos para la conectividad de la biodiversidad a nivel centroamericano. Para este fin se ha usado un modelo de simulación con autómatas celulares que se ha aplicado a escala nacional en Costa Rica.

Los resultados muestran que las áreas protegidas más expuestas y sensibles al cambio climático se encuentran en las montañas altas y las zonas secas de Costa Rica y que los corredores juegan un papel importante para facilitar la migración de especies entre áreas protegidas bajo escenarios de cambio climático.

El modelo permite identificar las áreas protegidas con ecosistemas más vulnerables al cambio climático y el efecto de los corredores sobre cada una de las áreas al facilitar la migración de los ecosistemas y sus especies. Los corredores son particularmente importantes para las áreas protegidas pequeñas, aisladas y en zonas montañosas o secas. En un país con relieve marcado, los corredores altitudinales son más relevantes para facilitar la migración de especies que los corredores latitudinales.

El modelo es útil para priorizar acciones de adaptación al cambio climático y puede servir para apoyar los esfuerzos regionales de implementación del Corredor Biológico Mesoamericano, demostrando el rol de los

corredores para la adaptación de los ecosistemas al cambio climático. El estudio se podría mejorar mediante un análisis de incertidumbres de varios escenarios de cambio climático y varios supuestos sobre la capacidad de migración de las especies.

## Bibliografía

- Bawa, K.S., Dayanandan, S. 1998 Global climate change and tropical forest genetic resources. *Climatic Change* 39, 473–485.
- CCAD-UNDP/GEF. 2002. The Mesoamerican Biological Corridor: A project for sustainable development. Central-American Environmental and Development Commission (CCAD), Global Environment Facility, Project for the consolidation of the Mesoamerican Biological Corridor, Managua, Nicaragua, 24p.
- Ermentrout G.B., Edelstein-Keshet L. 1993. Cellular Automata Approaches to Biological Modeling. *Journal of Theoretical Biology* 160 (1), 97-133.
- Gitay, H., Suarez, A., Watson, R.T., Dokken, D.J. (eds.) 2000 Climate change and biodiversity. A Technical Paper of the IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), Geneva, Switzerland.
- Hijmans R.J., Cameron S.E., Parra J.L., Jones P.G., Jarvis A., 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 25(15): 1965 – 1978
- Holdridge, L.R. 1947. Determination of World Plant formations from simple climatic data. *Science* 105: 367-368.
- Julius, S.H., J.M. West (eds.), J.S. Baron, B. Griffith, L.A. Joyce, P. Kareiva, B.D. Keller, M.A. Palmer, C.H. Peterson, J.M. Scott (authors), 2008: Preliminary review of adaptation options for climate-sensitive ecosystems and resources. A Report by the U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, USA, 873 pp.
- Karafyllidis I., Thanailakis A., 1997. A model for predicting forest fire spreading using cellular automata. *Ecological Modelling* 99(1): 87-97.
- Kirilenko A.P., Belotelov N.V., Bogatyrev B.G., 2000. Global model of vegetation migration: incorporation of climatic variability. *Ecological Modelling* 132: 125–133.
- Lugo, A., Brown, S., Dodson, R., Smith, T., Shugart, H. 1999. The Holdridge life zones of the conterminous United States in relation to ecosystem mapping. *Journal of Biogeography* 26: 1025-1038.
- Malcolm J.R., Markham A., Neilson R.P., Garaci M., 2002. Estimated migration rates under scenarios of global climate change. *Journal of Biogeography* 29: 835–849
- Markham, A. 1996 Potential impacts of climate change on ecosystems: review of implications for policymakers and conservation biologists. *Climate Research* 6: 179–191.
- McLachlan, J.S., Clark J.S., Manos P.S., 2005. Molecular indicators of tree migration capacity under rapid climate change. *Ecology* 86, 2088–2098.
- Mendoza, F., Chévez, M., González, B. 2001. Sensibilidad de las zonas de vida de Holdridge en Nicaragua en función del cambio climático. *Revista Forestal Centroamericana* 33: 17-22.
- Mitchell T.D., Carter T.R., Jones P.D., Hulme M., New M., 2004. A comprehensive set of high-resolution grids of monthly climate for Europe and the globe: the observed record (1901-2000) and 16 scenarios (2001-2100). Tyndall Centre Working Paper No. 55, Norwich, UK.
- Neilson, R., Pitelka, L., Solomon, A., Nathan, R., Midgley, G., Fragoso, J., Iischke, H., Thompson, K. 2005. Forecasting regional to global plant migration in response to climate change. *BioScience* 55: 749-759.
- Ostendorf, B., Hilbert, D., Hopkins, M. 2001. The effect of climate change on tropical rainforest pattern. *Ecological Modelling* 145: 211-224.
- Parry M.L., Canziani O.F., Palutikof J.P., van der Linden P.J., Hanson C.E. (eds.), 2007. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 976 pp
- Pearson, R.G. 2006 Climate change and the migration capacity of species. *TRENDS in Ecology and Evolution* 21(3): 111–113.
- Pitelka L.F., 1997. Plant migration and climate change. *American Scientist* Sept-Oct 85(5): 464-472.
- Sánchez-Azofeifa G.A., Daily G.C., Pfaff A.S.P., Busch C., 2003. Integrity and isolation of Costa Rica's national parks and biological reserves: examining the dynamics of land-cover change. *Biological Conservation* 109(1): 123-135.
- Seppala R., Buck A., Katila P. (eds.), 2009. Adaptation of forests and people to climate change: a global assessment report. IUFRO World Series Vol. 22.
- Wolfram S., 1986. Theory and Application of Cellular Automata. World Scientific, Singapore
- Yates, D., Kittel, T., Figge Cannon, R. 2000. Comparing the correlative Holdridge model to mechanistic biogeographical models for assessing vegetation distribution response to climate change. *Climatic Change* 44: 59-87.

# Impacto del cambio climático para el cultivo de café en Nicaragua

## *Impacts of climate change on coffee cultivation in Nicaragua*

Peter Laderach<sup>1</sup>, Kathleen Schepp<sup>4</sup>, Julian Ramirez<sup>2</sup>, Andy Jarvis<sup>2+3</sup>, Anton Eitzinger<sup>2</sup>

<sup>1</sup>International Centre for Tropical Agriculture (CIAT), Residencial Los Robles San Juan, Restaurante las Marsellaise 2 cuadras al Lago Casa No. 303 LM-172 Managua, Nicaragua E-mail: p.laderach@cgiar.org

<sup>2</sup>International Centre for Tropical Agriculture (CIAT), AA6713, Cali, Colombia

<sup>3</sup>Bioversity International, Regional Office for the Americas, c/o CIAT, AA6713, Cali, Colombia

<sup>4</sup>Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Eschborn, Germany

## Resumen

Los medios de vida de miles de pequeños productores dependen del café. El cambio climático muy probablemente trae retos socioeconómicos y ambientales dado el cambio en la adaptabilidad de los cultivos. Todos los modelos de circulación global (GCM, por sus siglas en inglés) demuestran que el clima está cambiando. Existe gran variedad de estudios globales sobre los impactos del cambio climático pero son pocos los estudios que llegan hasta una escala suficientemente local para dirigir medidas de adaptación.

Para esta publicación hemos utilizado 16 GCMs y datos de evidencia de fincas cafetaleras para (i) pronosticar el cambio del clima hasta el año 2050 en la zona cafetera de Nicaragua, (ii) evaluar su impacto en la adaptabilidad del café y (iii) proponer estrategias de adaptación, todo bajo el escenario de emisiones A2a (*business as usual*).

Los modelos climáticos muestran un patrón climático de disminución en precipitación y aumento en temperatura para la zona cafetera de Nicaragua. Se pronostica que la precipitación disminuye de 1.740 mm a 1.590 mm hasta el año 2050, pasando por 1.630 mm en el año 2020, y las temperaturas aumentan en promedio 2,2 °C en 2050 y 1,1 °C en 2020. Con el cambio climático progresivo, las áreas cafeteras de alturas superiores se vuelven aptas para la producción de café. Actualmente, la zona altitudinal más apta para producir café en Nicaragua está entre 800 y 1.400 msnm. En el año 2050 las zonas altitudinales más aptas pasarán a estar entre 1.200 y 1.600 msnm. Las zonas que más pierden adaptabilidad hasta el año 2050 se encuentran entre 500 y 1.500 msnm y las zonas que más ganan en adaptabilidad se encuentran arriba de 1.500 msnm. Alrededor del 70% de la contribución a la disminución de la adaptabilidad se debe a factores relacionados con la precipitación, el restante 30% es debido al aumento de la temperatura media del trimestre más frío.

Se recomiendan estrategias de adaptación específicas para las distintas condiciones pronosticadas. Para zonas con alta pérdida en adaptabilidad se recomienda la identificación de cultivos alternativos. Para zonas con pérdida media de adaptabilidad se recomienda la identificación de manejos agronómicos adecuados como, por ejemplo, sombra para la disminución de la temperatura, riego donde sea factible o la siembra de variedades más resistentes a estrés hídrico y altas temperaturas. Para áreas con aumento de adaptabilidad se recomienda la siembra de café donde sea factible ambientalmente y desde el punto de vista del ordenamiento territorial.

Palabras claves: café, cambio climático, modelación espacial, Nicaragua

## Abstract

The livelihoods of thousands of small producers depend on coffee. Climate change very likely brings socioeconomic and environmental challenges because of changes in the adaptability of crops. All Global Circulation Models (GCM) show that climate is changing. There is a great variety of comprehensive studies regarding the impacts of climate change but there are few studies reaching a scale sufficient to address local adaptation measures.

For this publication we used 16 GCMs and evidence data from coffee farms to (i) predict climate change by 2050 in the coffee-growing region of Nicaragua, (ii) assess its impact on the adaptability of coffee and (iii) propose adaptation strategies, all under the A2a emissions scenario (*business as usual*).

Climate models show a pattern of declining precipitation and increasing temperature for Nicaragua's coffee growing region. Rainfall is predicted to decrease from 1,740 mm to 1,590 mm by 2050 (and be at 1,630 mm by 2020). Temperature will increase an average 2.2 °C by 2050 and 1.1 °C by 2020. With progressive climate change, coffee growing areas of higher elevations become suitable for coffee production. Currently, the elevation range most suitable for coffee production in Nicaragua is between 800 and 1,400 meters. By 2050, the most suitable elevations will be between 1,200 and 1,600 meters. Adaptability decreases by 2050 in areas between 500 and 1,500 meters in elevation, and increases in areas above 1,500 meters. Precipitation contributes about 70% to the decrease in adaptability, while an increase in the average temperature for the coldest month contributes the remaining 30%.

We recommend specific adaptation strategies for the different predicted conditions. For areas with high loss of adaptability, we recommend identifying alternative crops. For areas with average loss of adaptability, we recommend identifying appropriate agronomic management techniques, such as shading to reduce temperature, irrigation where feasible, or planting varieties more resistant to water stress and high temperatures. For areas with increased adaptability, we recommend planting coffee where feasible following environmental and land planning rules.

Keywords: climate change, coffee, Nicaragua, spatial modeling

## 1. Introducción

Todos los modelos climáticos demuestran que el clima está cambiando. Miles de pequeños productores tienen medios de vidas dependientes del café. El cambio climático muy probablemente trae retos socioeconómicos y ambientales debido al cambio en la adaptabilidad de cultivos. Por esta razón es esencial identificar y desarrollar estrategias de adaptación desde el nivel de la finca hasta el nivel nacional. Existe gran variedad de estudios globales sobre los impactos del cambio climático pero son muy pocos los estudios que llegan hasta una escala suficientemente local para dirigir medidas de adaptación. La Cooperación Técnica Alemana (GTZ) y Cafedirect (una compañía de comercio de bebidas con sede en el Reino Unido), están implementando el proyecto privado-público (PPP) llamado Adaptación al cambio climático para pequeños productores (AdapCC) para café y té ([www.adapCC.org](http://www.adapCC.org)). Dentro del marco de este proyecto, el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) formó una alianza con el proyecto AdapCC para desarrollar una metodología que permita cuantificar los impactos del cambio climático en las zonas focales del proyecto, a saber Perú, Nicaragua, Chiapas (México) y Veracruz (México), como base para el desarrollo de estrategias de adaptación. En el presente capítulo se presentará la metodología completa y los resultados específicos para Nicaragua.

## 2. Metodología

### Diseño de muestreo

Como referencia de la superficie de la zona cafetera actual de Nicaragua, se utilizó el mapa cafetero del 2002 (Valerio Hernández 2002), en el cual todas las fincas cafeteras fueron identificadas y delimitadas mediante fotos aéreas e imágenes satelitales. Según dicho mapa, las zonas cafeteras se extienden cubriendo alturas desde 100 hasta 2.000 msnm. Según el conocimiento de expertos de CAFENICA (asociación de 12 organizaciones que

aglutina a más de 6.500 pequeños productores de café de Nicaragua) las principales zonas de *Coffea arabica* en Nicaragua se extienden desde los 500 msnm hasta 1.400 msnm; debajo de 500 msnm se siembra usualmente *Coffea robusta*; y arriba de 1.400 msnm existen pocas fincas cafeteras. De los 3.155 polígonos que representan la zona cafetera, se extrajeron las coordenadas en forma de píxeles de 30 arco-segundos (1 km). En total se extrajeron 6.192 coordenadas, 1.129 de las cuales representaron cafetales debajo de 500 msnm y 144 representaron fincas encima de 1.400 msnm. Para evitar la introducción de ruido en los modelos de predicción a través de sitios de producción de café robusta o fincas con alturas muy elevadas no representativas, se decidió utilizar únicamente puntos ubicados entre los 500 y 1.400 msnm, lo cual produjo un conjunto de datos de 4.919 coordenadas.

### Datos climáticos actuales

Los datos históricos del clima se obtuvieron de la base de datos WorldClim (Hijmans et al. 2005a, disponible en [www.worldclim.org](http://www.worldclim.org)). Estos datos representan promedios de largo plazo (1950-2000) de precipitación, y temperatura máxima, mínima y media mensuales, con 30 arco-segundos de resolución espacial (aproximadamente 1km en el Ecuador), generados a partir de interpolación de datos provenientes de estaciones meteorológicas con un algoritmo *spline* usando longitud, latitud y altitud como variables independientes (Hijmans et al. 2005a).

Para el caso de Nicaragua, los datos climáticos interpolados y disponibles en WorldClim se derivaron de 277 estaciones meteorológicas con datos de precipitación, 218 con datos de temperatura media y dos estaciones con temperatura mínima y máxima.

A partir de las variables mensuales es posible derivar una serie de índices bioclimáticos que, en su mayoría, se encuentran altamente relacionados con el crecimiento, desarrollo fisiológico y biología de las especies de plantas tanto cultivadas como silvestres. Para tal efecto, se calcularon 19 variables (Busby 1991) que representan tendencias anuales (i.e. temperatura media anual, precipitación total anual), estacionalidad (i.e. rango de temperatura anual, estacionalidad de precipitación), y factores limitantes o extremos (i.e. temperaturas de los meses fríos o calientes del año, y precipitaciones de los meses más secos o húmedos).

### Datos climáticos futuros

En el presente estudio, usamos los resultados de los 18 modelos más representativos del cuarto reporte de evaluación del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC-*Intergovernmental Panel on Climate Change*, por sus siglas en inglés) realizado en 2007.

El cuarto reporte del IPCC se basó en los resultados de 21 GCM, cuyos datos están disponibles a través de la página Web del IPCC ([www.ipcc-data.org](http://www.ipcc-data.org)) o directamente en las diferentes páginas Web de las instituciones que desarrollaron cada uno de los modelos. Sin embargo, la resolución espacial original de los resultados de cada GCM es inapropiada para analizar los impactos del cambio climático en la agricultura dado que en casi todos los casos las celdas GCM miden más de 100 km de lado. Esto representa un problema especialmente en paisajes heterogéneos como en los Andes, en los que, en algunos lugares, una celda GCM puede cubrir el rango completo de variabilidad de un cultivo.

Si la intención es predecir los impactos más probables del cambio climático en agricultura a escalas locales, se requiere realizar un proceso llamado *downscaling* para proveer superficies de condiciones futuras de mayor resolución. Para el *downscaling* de datos de GCM, existen básicamente dos métodos: 1) re-modelar las condiciones climáticas usando Modelos de Circulación Regional (RCM) basados en las condiciones de frontera dadas por los GCM ó 2) Realizar un *downscaling* estadístico en el cual la resolución es reducida usando interpolación y conocimiento

explícito de la distribución del clima a pequeña escala. El uso de los RCM es más robusto desde la perspectiva de las ciencias climáticas, pero requiere una gran cantidad de re-procesamiento. Otra limitante es que los RCM sólo están disponibles para un número muy limitado de GCM, haciendo que sea sólo posible incluir uno o dos RCM en cualquier análisis. En el contexto de esta investigación, el uso de RCM sólo para uno o dos GCM haría imposible cuantificar la incertidumbre del análisis, lo que desde nuestro punto de vista es inapropiado. Por este motivo, se usó un *downscaling* estadístico y se obtuvieron al final un número considerable de GCM con alta resolución espacial.

El Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) descargó y realizó el *downscaling* de diferentes GCM hasta resoluciones de 5, 2,5 y 0,5 arco-minutos; aproximadamente 10 km, 5 km y 1 km en el Ecuador respectivamente (Ramírez y Jarvis 2008) para 2.050 usando como línea base las variables mensuales de WorldClim (precipitación, temperatura media, mínima y máxima). En todos los casos, se usó el escenario A2a (“*business as usual*”).

El proceso de *downscaling*, usó como línea base la distribución climática del año 2000, obtenida de WorldClim. Usando un algoritmo *spline* entre las celdas GCM se calcularon los cambios a pequeña escala. Dichos cambios fueron adicionados a la distribución de línea base para producir la superficie final de clima futuro para cada una de las variables mensuales reportadas en WorldClim. El método asume que la distribución espacial de cambios en las variables importantes no tiene grandes variaciones a pequeña escala, mientras que la distribución de clima actual sigue con altas variaciones de pequeña escala. Aunque en algunos casos debe aceptarse que esta asunción no es completamente correcta, para la gran mayoría de sitios es improbable que haya un cambio en la variabilidad climática al nivel de meso-escala.

### **Predicción de adaptabilidad**

Existe amplia evidencia de la utilidad de modelos para la predicción de la adaptabilidad de cultivos y también especialmente para el caso del café (Laderach et al. 2005, 2006, 2006a). Para el presente estudio se revisaron diferentes modelos de predicción tales como ECOCROP (Hijmans et al. 2005b), DOMAIN (Carpenter et al. 1993; Hijmans et al. 2005b), BIOCLIM (Busby 1991) y MAXENT. Este último se considera, generalmente, como el modelo más preciso (Elith et al., 2006; Hijmans y Graham 2006) y se seleccionó para los análisis del presente estudio después de un análisis exploratorio usando los cuatro modelos.

El modelo de máxima entropía (MAXENT) es un método multipropósito para hacer predicciones o inferencias sobre información incompleta (Phillips et al. 2006). El modelo estima una probabilidad objetivo encontrando la distribución de probabilidad de máxima entropía, sujeta a una serie de condiciones que representan la incompletitud de la información sobre la distribución objetivo. La condición principal es que el valor esperado de cada variable de la distribución de máxima entropía debe ajustarse a su promedio empírico. El algoritmo comienza con una distribución de probabilidad e iterativamente altera un peso en cada momento para lograr alcanzar la distribución de probabilidad óptima que sea una combinación lineal de todas las variables y que varíe entre 0 y 1.

Las condiciones del clima proyectado para el periodo 2040 a 2069 (“2050”) se derivaron de 18 de los GCM más reconocidos usados en el cuarto Reporte de Evaluación del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) (IPCC 2007). Como se explica más adelante, dos modelos (NCAR-PCM1 y BCCR\_BCM2.0) se excluyeron después de corridas iniciales puesto que mostraron predicciones muy diferentes a las de los otros modelos de acuerdo al concepto de *outliers* estadísticos de Tukey (1977). Por esta razón, los análisis se repitieron sobre los 16 modelos restantes. Cabe destacar que si las predicciones de los modelos descartados estuviesen correctas, los impactos del cambio climático en el café de Nicaragua serían mucho más severos que los descritos en el presente documento.

Antes de ingresar los datos climáticos correspondientes en MAXENT se calculó el coeficiente de variación (CV) para los 18 modelos y sus 19 variables bioclimáticas. El objetivo de este proceso fue detectar aquellas variables que difieren significativamente entre los GCM. De ser así, dichas variables podrían excluirse del análisis, reduciéndose así la incertidumbre en las predicciones finales. Sin embargo, ninguna variable bioclimática fue excluida del análisis debido a las siguientes razones: (1) no hubo suficientes diferencias entre los modelos para ninguna variable (máximo coeficiente de variación 45% para Bio 14 [precipitación del mes más seco]) y (2) el modelo de máxima entropía (MAXENT) reduce la sobreestimación de probabilidades mediante la asignación de pesos a las variables, método que muestra un muy buen desempeño en comparación a otras técnicas como subselección de variables o análisis de componentes principales (Hijmans y Graham 2006; Dormann 2006; Phillips y Dudik 2008).

Las 19 variables bioclimáticas de cada uno de los 16 GCM se usaron como datos de entrada para MAXENT de manera separada, de tal forma que para cada uno de los GCM hubo una predicción de adaptabilidad vía MAXENT. En este modelo se aplicó una función logística, que da una estimación de probabilidad de presencia entre 0 y 1. Una vez realizado esto, se calculó la incertidumbre con tres mediciones: (1) el porcentaje de “acuerdo” entre modelos (cantidad de modelos respecto al total [16] que muestran cambios en la misma dirección que el cambio promedio) por cada píxel de 1km; (2) intervalos de confianza (IC) de 95% superior e inferior alrededor del cambio promedio en adaptabilidad utilizando los 16 modelos; y (3) el coeficiente de variación (CV) entre los modelos.

### **Análisis de variables ambientales que influyen en la adaptabilidad**

Para determinar los factores ambientales que influyen directamente en la adaptabilidad, se realizó un análisis de regresión paso a paso hacia delante (*stepwise-forward regression*). Primero se calculó el cambio en el clima y en la adaptabilidad entre el clima actual hasta el 2050 para cada una de las coordenadas. El cambio (la diferencia) se calculó restando para cada una de las variables bioclimáticas el clima futuro (2050) del actual; lo mismo se hizo con la adaptabilidad. Por medio de la regresión *stepwise-forward* se añadió paulatinamente al análisis, factor climático por factor climático, para conocer el peso de cada uno sobre el cambio de la adaptabilidad del café.

## **3. Resultados y discusión**

### **Cambios climáticos pronosticados para la zona cafetalera de Nicaragua**

Los GCM representativos (16 modelos para 2050 y cuatro modelos para 2020) del cuarto reporte de IPPC para el escenario de emisión A2a (*business as usual*) muestran un patrón climático promedio de disminución en precipitación y aumento en temperatura para la zona cafetera de Nicaragua. Se pronostica que la precipitación total anual disminuye de 1.740 mm a 1.610 mm hasta el año 2050 pasando por 1.630 mm en el año 2020. Sin embargo, el número máximo de meses consecutivos secos anuales (cinco) se mantiene constante. La temperatura media anual aumenta en promedio 2,2 °C en 2050 pasando por 1,1 °C en 2020. El rango de temperatura día y noche aumenta de 10,4 °C en 2020 a 10,6 °C en 2050. Respecto a condiciones extremas, se pronostica que para el año 2050 la temperatura máxima del año aumenta de 28,8 °C a 31,0 °C mientras que en el trimestre más caliente la temperatura aumenta en 2,3 °C. La temperatura mínima del año aumenta de 14,4 °C a 16,4 °C, mientras que en el trimestre más frío las temperaturas aumentan en 2,1 °C. El mes más húmedo se vuelve más seco con 270 mm en lugar de 280 mm, mientras que en el trimestre más húmedo la precipitación disminuye en 60 mm. El mes más seco se vuelve aun más seco con 18 mm en lugar de 24 mm, mientras que en el trimestre más seco la precipitación disminuye en 7 mm.

En general, el clima se vuelve más variable a través del año en términos de precipitación y también de temperatura. Los pronósticos muestran que el coeficiente de variabilidad de predicción de temperatura entre modelos es de 2,4%; lo que significa que las predicciones de temperatura fueron uniformes entre los modelos y lo que no se detectaron fueron *outliers*. El coeficiente de variabilidad de predicción de precipitación entre modelos es de 10,6%; al igual que para la temperatura. Las predicciones de precipitación fueron uniformes entre los 16 modelos y los que no se detectaron fueron *outliers*.

### Cambios en la adaptabilidad de café en Nicaragua

De acuerdo al modelo MAXENT, los departamentos actualmente más aptos en Nicaragua para el café, con una adaptabilidad entre 50% y 80%, son Nueva Segovia, Jinotega, Madriz, Estelí, Matagalpa, Boaco y una pequeña región en la frontera de Masaya, Carazo y Managua (Figura 1). Estos mismos departamentos muestran también zonas con adaptabilidad entre 30% y 50%. Los departamentos del Atlántico Norte, Chinandega, León y Chontales muestran zonas cafeteras con adaptabilidad de 30-50 %.

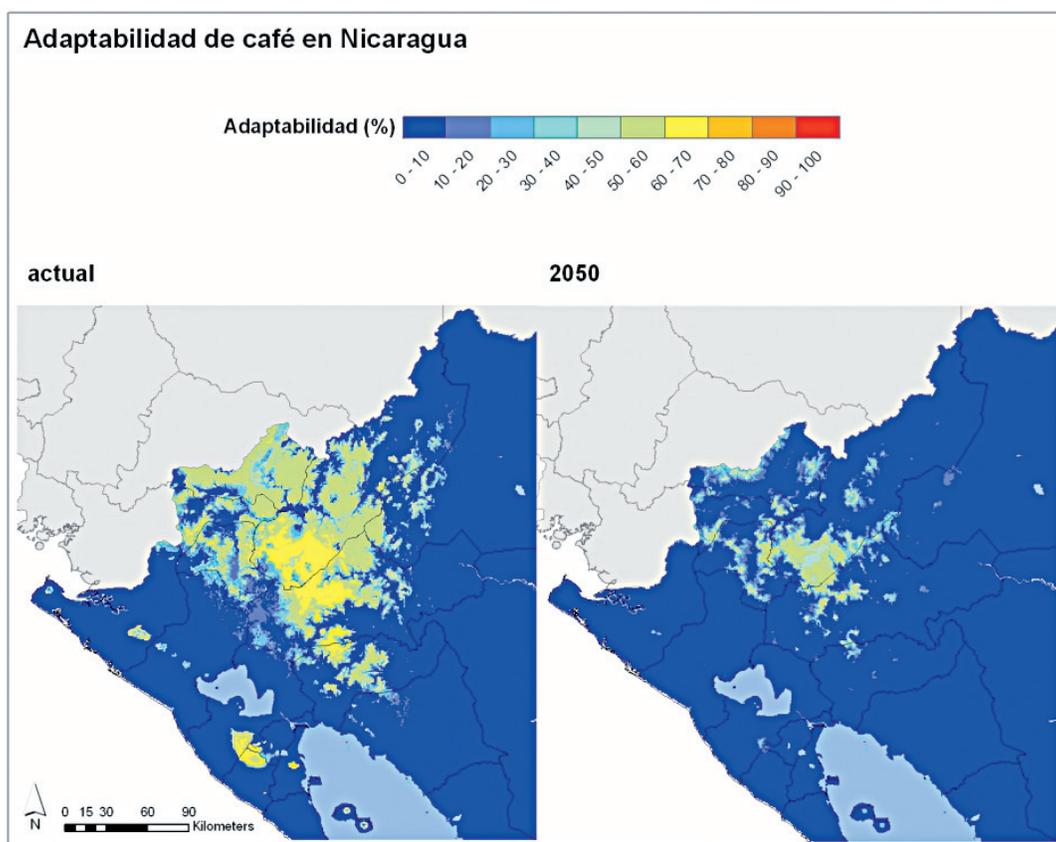


Figura 1. Adaptabilidad del cultivo de café actual y en el año 2050.

Según el modelo MAXENT, la adaptabilidad de las áreas cafeteras disminuye significativamente tanto en áreas altamente aptas como medianamente aptas hasta el año 2050 (Figura 1). Se observa un patrón general de disminución de áreas y disminución en la adaptabilidad dentro de las áreas. Las regiones actualmente aptas se mueven hacia arriba en el gradiente de altura y las áreas que pierden adaptabilidad son regiones de baja altura.

Las áreas que en 2050 todavía son aptas para la producción de café son, en su mayoría, áreas que actualmente muestran alta adaptabilidad. En 2050 se destaca un área grande con adaptabilidad entre el 50%-60 % en el sur de Jinotega, norte de Matagalpa y algunas zonas más pequeñas en los mismos departamentos. Pueden observarse otras áreas de adaptabilidad (entre 30%-50%) en Nueva Segovia, en la zona fronteriza con Honduras, en Madriz, Atlántico Norte y Boaco. Las zonas con mayor pérdida de adaptabilidad (alrededor del 40%-60%) se encuentran en los departamentos de Nueva Segovia, Jinotega, Matagalpa, Boaco y en la frontera de Carazo, Masaya y Managua. Las zonas que pierden menos adaptabilidad (alrededor del 20%-40%) se encuentran en Estelí y Madriz. Las pocas y pequeñas áreas que hasta el año 2050 ganan alrededor del 20% al 30% de adaptabilidad se encuentran en el Atlántico Norte, Estelí, Jinotega y Madriz.

El coeficiente de variación (CV) es una medida de concordancia entre los modelos GCM utilizados. Una concordancia de menos del 20% (siendo 0% el máximo acuerdo) se considera como baja. El mapa de CV (Figura 2), muestra que el CV promedio entre los 16 modelos y 19 variables bioclimáticas está debajo del 20%, lo que asegura que los 16 modelos y sus factores bioclimáticos tienen un alto acuerdo y asegura un análisis confiable. El acuerdo entre los 16 modelos (Figura 2) (porcentaje de GCM prediciendo cambios en la misma dirección que la media de todos los GCM en un lugar determinado) estuvo arriba del 90% en todos los sitios de muestreo y en los nichos principales del cultivo.

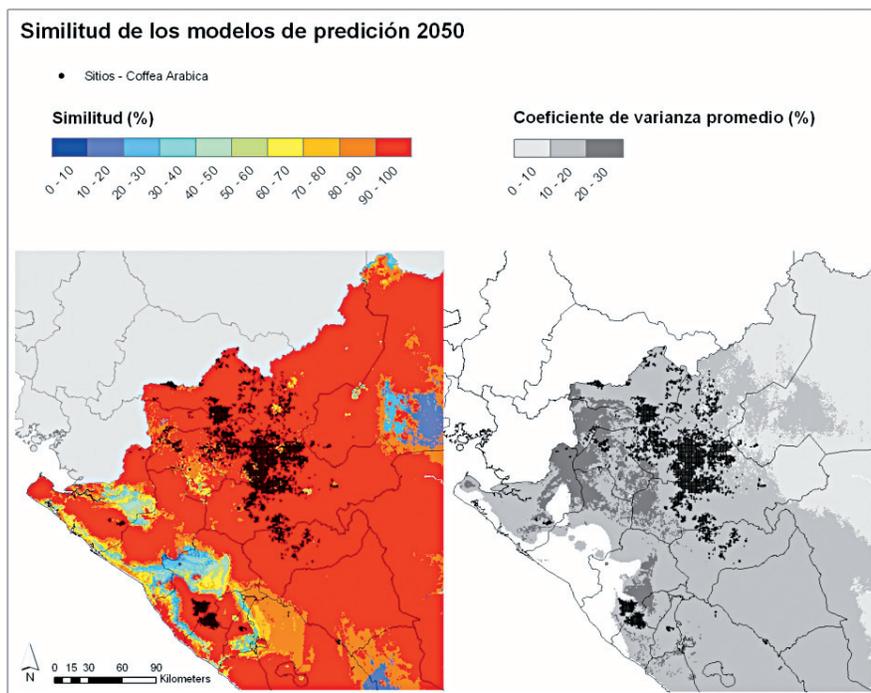


Figura 2. Similitud (izquierda) entre los 16 modelos de predicción 2050 y coeficiente de varianza promedio (derecha) entre los 16 modelos y 19 variables bioclimáticas.

De acuerdo con las predicciones de MAXENT, actualmente, el 80% de las áreas de los departamentos productores de café tiene una adaptabilidad del 0%-40% para la producción de café, mientras el restante 20% del área muestra una adaptabilidad del 40%-100%. Esto quiere decir que el nicho actual para el cultivo de café es bastante limitado

a localidades muy específicas. En el año 2050, el 96% de las áreas de los departamentos productores de café tendrá una adaptabilidad del 0%-40% y el restante 4% de las áreas una adaptabilidad del 40%-100%. Esto significa un aumento del 16% en el área de baja adaptabilidad (0%-40%) y una disminución del 16% en el área de alta adaptabilidad (40%-100%) para la producción del café. En otras palabras, el área apta para siembra de café se reducirá significativamente.

Con el cambio climático progresivo, las áreas cafeteras de alturas superiores se vuelven aptas para la producción de café (Figura 3). La altura no se ha utilizado para la modelación con MAXENT y por esta razón es considerada como factor independiente de las demás variables. Sin embargo, la altura está altamente correlacionada con las variables de temperatura en la zona tropical. Actualmente la zona altitudinal más apta para producir café en Nicaragua está entre 800 msnm y 1.400 msnm. En el año 2050 las zonas altitudinales más aptas pasarán a estar entre 1.200 msnm y 1.600 msnm. Las zonas que pierden más adaptabilidad hasta el año 2050 se encuentran entre 500 msnm y 1.500 msnm y las zonas que más ganan en adaptabilidad se encuentran arriba de 1.500 msnm.

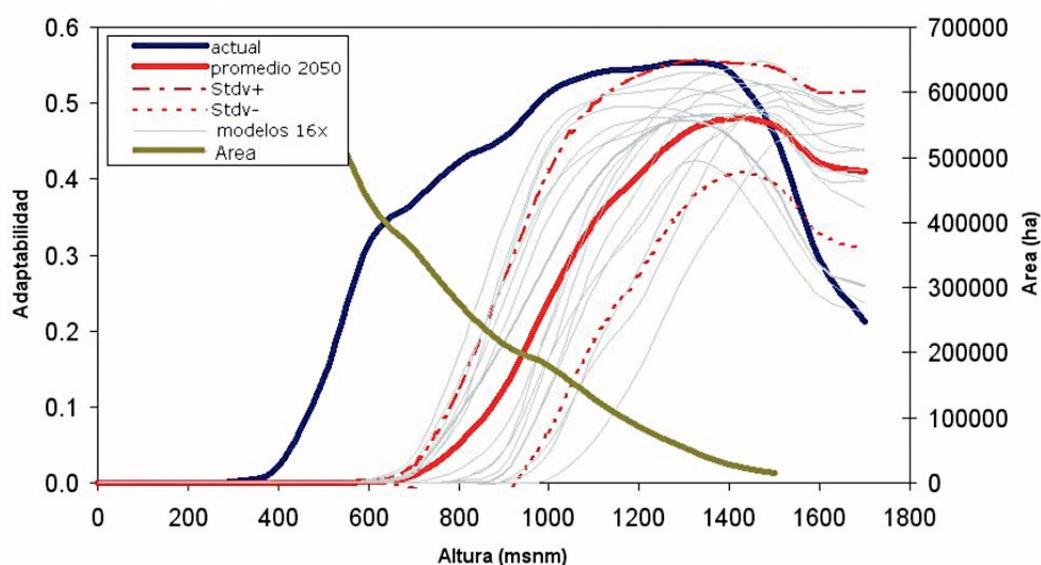


Figura 3. Relación entre la adaptabilidad del cultivo de café y su altura actualmente en el año 2050.

### Factores decisivos en el cambio

Para desarrollar estrategias de adaptación es importante conocer los factores decisivos en el cambio. Aplicando la regresión *stepwise-forward* se identificó la contribución de cada una de las variables bioclimáticas en el cambio en la adaptabilidad del café. Se analizaron por separado los sitios con aumento y disminución de adaptabilidad y sus variables correspondientes (Tabla 1). Dada la cantidad estadísticamente limitada de sitios de evidencia con aumento en adaptabilidad no fue posible determinar las variables bioclimáticas que favorecen la adaptabilidad en dichos sitios. Los resultados muestran que el factor bioclimático más decisivo para la disminución en adaptabilidad es la precipitación del mes más húmedo con 42,8% de contribución, seguido por la temperatura media del trimestre más caliente con una contribución del 22%, la precipitación anual con una contribución del 8,8% y la precipitación del trimestre más frío con una contribución del 6%.

Alrededor del 70% de la disminución de la adaptabilidad se debe a factores de precipitación. Según los pronósticos, la zona cafetera de Nicaragua sufrirá una disminución de precipitación hasta el año 2050, lo que causará, en total, la disminución en adaptabilidad. La precipitación de los trimestres más fríos y más calientes (eventos extremos en términos de temperatura) no muestra una disminución absoluta; lo que indica que muy probablemente se trata de una disminución relativa dado el aumento de la temperatura. En el caso de la temperatura media del trimestre más caliente esta relación está claramente indicada por tener el 22% de contribución.

El restante 30% de la contribución a la disminución de la adaptabilidad es debido al aumento de la temperatura. La variable de temperatura con mayor contribución es la temperatura media del trimestre más caliente (para Nicaragua, los meses de febrero, marzo y abril), lo que coincide con la maduración y cosecha del café. Los resultados indican que por el esfuerzo fisiológico en la temporada de maduración del café, la planta no soporta estrés adicional causado por temperaturas elevadas y escasez de agua.

Tabla 1. Contribución de diferentes variables bioclimáticas al cambio pronosticado en adaptabilidad de *Coffea arabica* en la zona cafetera de Nicaragua.

Variable	R2 ajusta- do	R2 debido a variable	% de variabilidad total	Promedio actual	Cambio hasta 2050
<b>Sitios con disminución en adaptabilidad (n = 4911, 99.9% de todas las observaciones)</b>					
BIO13 – Precipitación del mes más lluvioso	0,2591	0,2591	42,8%	279 mm	- 10 mm
BIO10 – Temperatura media del trimestre más cálido	0,3924	0,1333	22,%	22.6 °C	+ 2.3 °C
BIO12 – Precipitación anual	0,5862	0,0532	8,8%	1742 mm	- 132 mm
BIO19 – Precipitación del trimestre más frío	0,4287	0,0363	6,%	192 mm	+ 23 mm
BIO4 - Estacionalidad de temperatura	0,5123	0,0326	5,4%	935	+ 111
BIO16 – Precipitación del trimestre más lluvioso	0,4797	0,0192	3,2%	759 mm	- 55 mm
BIO18 – Precipitación del trimestre más cálido	0,4605	0,0184	3,%	428 mm	+ 21 mm
BIO6 – Temperatura mínima del mes más frío	0,4421	0,0134	2,2%	14.4 °C	+ 1.9 °C
BIO17 – Precipitación del trimestre más seco	0,5330	0,0119	2,0%	88 mm	- 7 mm
BIO5 – Temperatura máxima del mes más cálido	0,5971	0,0109	1,8%	28,8 °C	+ 2.2 °C
BIO8 – Temperatura media del trimestre más lluvioso	0,5211	0,0088	1,5%	21,9 °C	+ 2.4 °C
BIO9 – Temperatura media del trimestre más seco	0,6001	0,0030	0,5%	21,4 °C	+ 2,1 °C
Otras	0,6054	0,0002	0,8%		
Variabilidad total explicada		0,6054	100,0%		

## Estrategias de adaptación

Según las predicciones de MAXENT existen áreas que hasta el año 2050 pierden entre el 40%-60% de su adaptabilidad: áreas en los departamentos de Nueva Segovia, Jinotega, Matagalpa, Boaco y áreas en la frontera de Carazo, Masaya y Managua. Entre las áreas que pierden adaptabilidad entre el 20%-40% están ciertas zonas en Estelí y Madriz. Finalmente, áreas con un aumento de adaptabilidad del 20%-30% se encuentran en el Atlántico Norte, Jinotega y Madriz. Las estrategias para estos tres tipos de áreas deben ser muy distintas y específicas dado el cambio pronosticado. Para áreas con alta pérdida de adaptabilidad se recomienda la identificación de cultivos alternativos. Para áreas de pérdida media de adaptabilidad la identificación de manejos agronómicos adecuados tales como sombra para la disminución de la temperatura, riego donde sea factible o la siembra de variedades más resistentes a estrés hídrico y altas temperaturas. Para áreas con aumento de adaptabilidad se recomienda la siembra de café donde sea factible ambientalmente y desde el punto de vista de la planificación territorial.

## 4. Conclusiones

De acuerdo a los GCM se pronostica disminución en la precipitación y aumento en la temperatura para la zona cafetera de Nicaragua. La precipitación total anual disminuye de 1.740 mm a 1.610 mm hasta el año 2050, pasando por 1.630 mm en el año 2020. La temperatura media anual aumenta en promedio 2,2 °C en 2050 y 1,1 °C en 2020. La zona altitudinal más apta para producir café en Nicaragua aumentará del rango actual de entre los 800 msnm y 1.400 msnm a entre los 1.200 msnm y 1.600 msnm en 2050. Alrededor del 70% de la contribución a la disminución de la adaptabilidad se debe a factores más relacionados con precipitación y el 30% más relacionados al aumento de temperatura. Según las predicciones de MAXENT, existen áreas que hasta el año 2050 pierden entre 40%-60% de su adaptabilidad, otras que pierden entre 20%-40% de su adaptabilidad y pocas zonas donde la adaptabilidad aumenta de 20%-30%. Se recomiendan estrategias de adaptación específicas a las condiciones pronosticadas. En el caso de alta pérdida en adaptabilidad se recomienda la identificación de cultivos alternativos. En el caso de pérdida media de adaptabilidad se recomienda la identificación de manejos agronómicos adaptados. Finalmente, para áreas con aumento de adaptabilidad se recomienda la siembra de café donde sea factible ambientalmente y desde el punto de vista de la planificación territorial.

## Bibliografía

- Brus, D.J., De Gruijter, J.J. 1997. Random sampling or geostatistical modelling? Choosing between design-based and model-based sampling strategies for soil (with discussion). *Geoderma* 80,1-44.
- Busby, J.R., 1991. BIOCLIM – a bioclimatic analysis and prediction system. *Plant Protection Quarterly* 6, 8-9.
- Dormann, C. F. 2006. Promising the future? Global change projections of species distributions. *Basic Applied Ecology* 8, 387-397.
- Elith, J., Graham, C.H., Anderson, R.P., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A., Hijmans, R.J., Huettmann, F., Leathwick, R., Lehmann, A., Li, J., Lohmann, L.G., Loiselle, B.A., Manion, G., Moritz, C., Nakamura, M., Nakazawa, Y., Overton, J.McC., Peterson, A.T., Phillips, J., Richardson, K., Scachetti-Pereira, R., Schapire, E., Soberon, J., Williams, S., Wisz, M., Zimmermann, E. 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography* 29, 129-151.
- Hijmans, R.J., Cameron, S.E., Parra, J.L., Jones, P.G., Jarvis, A. 2005a. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 25, 1965.
- Hijmans, R.J., Guarino, L., Jarvis, A., O'Brien, R., Mathur, P., Bussink, C., Cruz, M., Barrantes, I., Rojas, E. 2005b. DIVA-GIS Version 5.2, Manual.
- Hijmans, R. J., Graham, C. H. 2006. The ability of climate envelope models to predict the effect of climate change on species distributions. *Global Change Biology* 12, 2272-2281.
- Jarvis, A., Reuter, H.I., Nelson, A., Guevara, E. 2006. Hole-filled SRTM for the globe Version 3. CGIAR-CSI SRTM 90m Database: <http://srtm.csi.cgiar.org>.
- Jarvis, A., Rubiano, J., Nelson, A., Farrow, A., Mulligan, M. 2004. Practical use of SRTM data in the tropics - Comparisons with digital elevation models generated from cartographic data 198. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia.
- Jones, P.G., Thornton, P.K., Diaz, W., Wilkens, P.W., Jones, A.L. 2002. MarkSim : a computer tool that generates simulated weather data for crop modeling and risk assessment. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia.
- Laderach, P., Collet, L., Oberthür, T., Pohlen, J. 2005. Café especial y sus interacciones con factores de producción. , In J. Pohlen, ed. Memoria del 2° diplomado sobre cafecultura sustentable, Tuxtla Gutiérrez, México.
- Laderach, P., Oberthür, T., Niederhauser, N., Usma, H. Collet, L., Pohlen, J. 2006. Café Especial: Factores, dimensiones e interacciones p. 141-160., In: J. Pohlen, et al., eds. El cafetal del futuro: Realidades y Visiones. Shaker Verlag Aachen, Germany.
- Laderach, P., Vaast, P., Oberthür, T., O'Brien, R., Nelson, A., Estrada, L.D.L. 2006b. Geographical analyses to explore interactions between inherent coffee quality and production environment. 21st International Conference of Coffee Science ASIC 2006 Montpellier, September 2006.
- Phillips, S.J., Anderson, R.P., Schapire, R.E. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190:231-259.
- Phillips, S.J., Dudík, M. 2008. Modeling of Species Distributions with Maxent: New extensions and comprehensive evaluation. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 128: 12-20.

- Ramírez, J., Jarvis, A. 2008. High resolution downscaled climate change surfaces for global land areas. International Centre for Tropical Agriculture, CIAT.
- Tukey J.W. 1977. Exploratory data análisis. Addison-Wesley Publishing Co., Reading, MA
- Valerio Hernandez, L. 2002. Elaboracion del mapa del cultivo de café de Nicaragua. Informe Final. Direccion General de Estrategias Territoriales, Ministerio Agropecuario y Forestal, Managua, Nicaragua

---

## III. Sociedad, servicios ecosistémicos y cambio climático: estrategias de adaptación



# Defining ecosystem-based adaptation strategies for hydropower production: stakeholders' participation in developing and evaluating alternative land use scenarios and the strategies to achieve desired goals

*Definición de estrategias de adaptación basadas en los ecosistemas para la producción de energía hidroeléctrica: la participación de actores en el desarrollo y la evaluación de escenarios alternativos de uso de la tierra y estrategias para lograr los objetivos deseados*

Raffaele Vignola<sup>1</sup>, Marco Otárola<sup>1</sup>, Gustavo Calvo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Climate Change Program, CATIE, 7170 Turrialba, Costa Rica. E-mail: rvignola@catie.ac.cr

<sup>2</sup>National Electric Company (ICE), San José, Costa Rica.

## Abstract

Hydropower production is a development priority for Costa Rica. The life-span of hydropower dams depends on the provision of adequate Soil Regulation Services (SRS) from upstream areas. In this paper we consider the case of the Reventazon watershed, which has been prioritized by the National Communication to the United Nations Framework Convention on Climate Change for being an important development region highly vulnerable to climate change. Indeed, current degradation of SRS is determined by inadequate soil management in agricultural upstream areas such as the case of the Birris watershed. Moreover, the observed frequency and intensity of extreme precipitation events in the region have made it prone to more erosion. Climate change is expected to maintain or increase these trends calling for urgent action to protect SRS provision. Erosion affects two main sectors in the watershed. Upstream, it affects farmers by reducing soil productivity over time and, downstream, it affects hydropower dams by increasing the costs for companies to prolongue the life span of their dams. In such a context, there is a potential for joint gains for both actors although this might not have been highlighted so far. Scenario planning and discussion is a tool for promoting discussions among stakeholders on possible futures to outline strategies to protect SRS provision. Through an interdisciplinary approach, we combine methods from decision analysis and modelling to systematize value-based information from stakeholders and territorial data from modelling of erosion outcomes from different soil management options. We present some preliminary results from the stakeholders' discussions on scenarios.

Keywords: adaptation, ecosystem services, analysis of scenarios, soil management

## Resumen

La producción de energía hidroeléctrica es una prioridad de desarrollo para Costa Rica. La vida útil de las represas hidroeléctricas depende del suministro adecuado de los Servicios de Regulación del Suelo (SRS) de las zonas río arriba. En este artículo consideramos el caso de la cuenca del Río Reventazón, la cual fue catalogada como prioritaria por la Comunicación Nacional a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), por ser una región de desarrollo altamente vulnerable al cambio climático. De hecho, la degradación actual de los SRS está determinada por la gestión inadecuada del suelo agrícola en las zonas río arriba, como en el caso de la cuenca del Birris. Además, la frecuencia e intensidad observadas de eventos extremos de precipitación en la región la han hecho más propensa a la erosión. Se espera que el cambio climático mantenga o aumente estas tendencias, por lo que es necesario

tomar acciones urgentes para proteger la provisión de SRS. La erosión afecta a dos sectores principales de la cuenca. Río arriba, afecta a los agricultores mediante la reducción de la productividad del suelo con el tiempo. Río abajo, afecta a las represas hidroeléctricas al aumentar los costos en los que incurren las empresas para prolongar la vida útil de sus represas. En este contexto, existen beneficios comunes potenciales para ambos actores, aunque esto no se ha puesto en evidencia todavía. La planificación y discusión de escenarios es una herramienta para promover conversaciones entre los actores acerca de posibles futuros para delinear estrategias que protejan la provisión de SRS. Mediante un enfoque interdisciplinario, combinamos métodos de análisis de la toma de decisiones y de modelaje, para sistematizar la información basada en el valor de los actores, y datos territoriales resultados del modelaje de la erosión producto de diferentes opciones de manejo del suelo. Se presentan algunos resultados preliminares de las discusiones de los actores acerca de los escenarios.

Palabras clave: adaptación, análisis de escenarios, manejo de suelos, servicios ecosistémicos

---

## 1. Introduction

The Reventazon watershed of Costa Rica is the most important for national hydroelectricity production (ICE 1999). The life-span of hydropower dams depends on the quality of water reaching them, which is determined by sediment loads flowing down the watershed. Each year, up to one and a half million tons of sediments are removed from the dams to ensure largest possible life-span. More than two million US dollars are spent to partially remove these sediments and to produce energy by alternative sources during this operation (Rodríguez 2001).

The quantity of sediments reaching the dams is influenced by four factors: the distribution, frequency and intensity of extreme precipitation events and the upstream soil management. Indeed, the Reventazon watershed was established as a priority area in the first National Communication to the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) (IMN 2000) due to its vulnerability to precipitation extremes and its relevance for national development. Furthermore, the watershed management plan has outlined that erosion in upstream areas is an important factor in siltation of dams and three sub-watersheds were identified as priority areas for targeting soil conservation efforts. One of these is the Birris sub-watershed. The presence of a small hydropower dam and of high rate of land use conflicts makes this sub-watershed an interesting learning case for the National Electricity Company (ICE). For the establishment of efficient soil conservation programs in this watershed, we need to consider the potential changes that may affect two important stakeholder groups, farmers and hydropower generators. These actors are affected by the degradation of Soil Regulation Services (MEA 2005) and are, therefore, interested in the identification of adequate responses. Neither of these two stakeholders have experience with possible outcomes of available responses although activities to foster soil conservation actions are being undertaken in the Birris watershed.

The aim of this paper is to illustrate how the use of multiple tools like modeling, decision analysis and negotiations can support decisions on adaptation of both upstream farmers and downstream hydropower actors. The underlying idea of our approach is that improving understanding of i) how erosion is affected by both land management and climate extremes, ii) what are possible outcomes to be expected and iii) what aspects matter in the implementation of such responses, can start the definition of ecosystem-based adaptation strategies. We achieved our objectives through a process of scenarios-construction and structured consultations with these actors. We strove for identifying both the existing potential for joint gains in a soil conservation program and the unwanted outcomes of implementing alternative responses to SRS degradation.

## 2. Description of the case study

The Birris is a sub-watershed of the Reventazon River (Figure 1). It has an extension of 4800 ha and is under the influence of the Atlantic climate, with 2325 mm average rainfall, 82.8% of which is concentrated in the May-December period. Extreme rainfall events have increased in number in the last forty years (Aguilar et al. 2005) thus increasing erosivity of precipitation. Topography is characterized by slopes reaching 70% especially in the upper part of the watershed. The population, the majority locally-born, has a density of 161 inhabitants per square kilometer, above the national average (INEC 2002). Most of it (61%) is dedicated to market-oriented agriculture and has been conducting its current productive activity for the last forty years (ICE 1999).

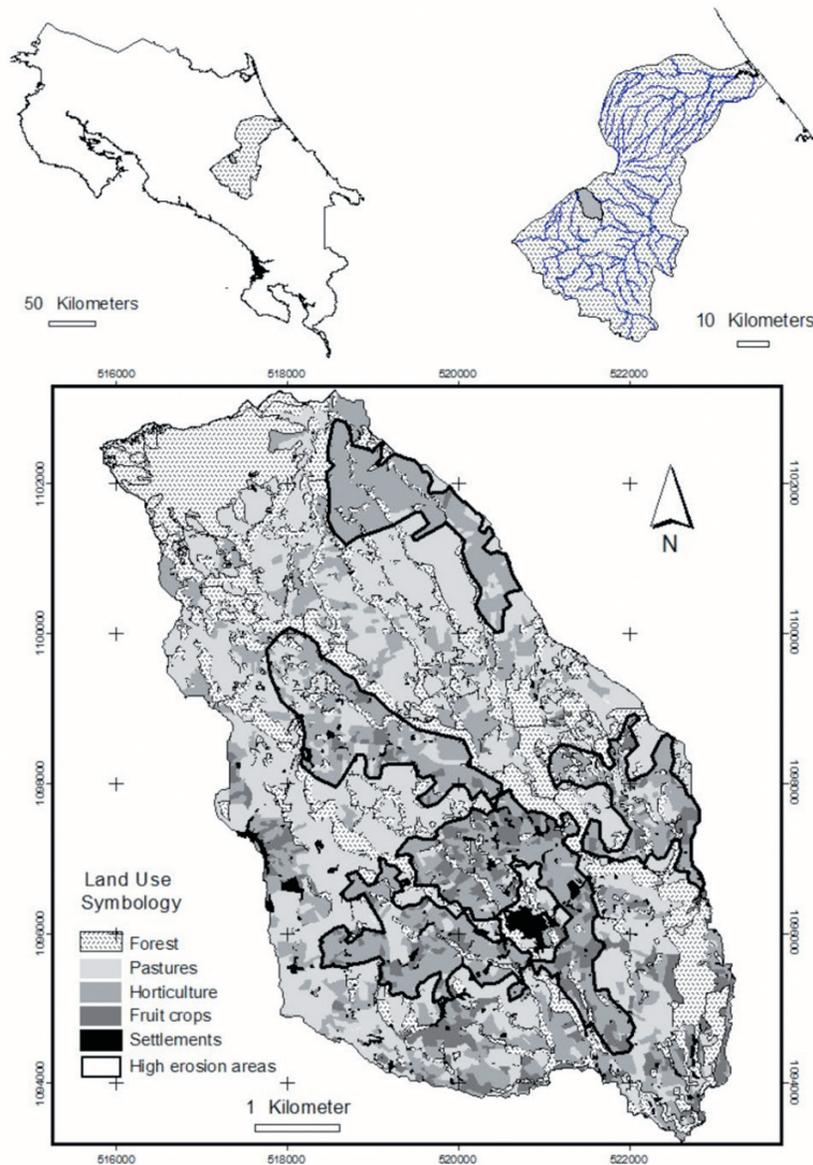


Figure 1: Birris sub-watershed location, land uses and the delineation of high erosion areas.

The resulting intense process of forest fragmentation and intensive agricultural production<sup>1</sup> makes this sub-watershed one of the largest sediment-producers of the country (Sanchez-Azofeifa et al. 2002). Average erosion rates increased from 12 ton/ha/yr prior to 1978, when only 15% of the watershed was under horticulture, to 42 ton/ha/yr in the 90's when crops occupied more than 30% of total watershed area (Abreu 1994; Marchamalo 2004). However, the effect of such high level of erosion is only visible in some areas because the majority of the watershed is sloping down from the Turrialba volcano where deep *andosols* are largely common (Lutz et al. 1994; Rodriguez 2001).

## 2.1 Rational and strategy for mainstreaming Ecosystem Services into adaptation decisions: use of scenarios in the Birris sub-watershed

The Reventazon watershed management plan identified the Birris sub-watershed as an important producer of sediment reaching ICE's dams. In this sub-watershed, ICE and JASEC (both local power companies) have implemented soil conservation activities in conjunction with the agricultural extension office, targeting individual producers or their associations.

However, questions like what are the effects at watershed level of the promoted practices, what alternative investments are possible to change the way soil is managed, and finally what is the perspective of different actors on these alternatives have not been explored. By using an inter-disciplinary approach, we first look at what factors matter to each of these two stakeholders in the provision and use of SRS. Then, we use GIS modeling to simulate different soil cover and management options following stakeholders' perspectives. Finally, we use the scenarios as inputs for stakeholders' consultations to assess their concerns over potential landscape management options. Scenarios consist of the description of equally possible futures that play a provocative role in the design of possible actions to counter an undesirable existing trend of environmental degradation (Selin 2006). We build on existing methods for developing scenarios (Patel et al. 2007) where selected stakeholders take part in the process of identifying relevant variables. This has the potential to make scenarios relevant to stakeholders and useful for informed discussion of possible futures (i.e. as consequences of alternative pathways of soil management in the watershed). An ecosystem services approach is used to explore the potential for joint gains in contexts where producers and users of SRS have little knowledge of possible alternative soil management options and of their outcomes. This provides opportunity for mainstreaming ecosystems in adaptation responses at the landscape level.

## 2.2 Selecting the participants

Under the ecosystem-based approach, the identification of relevant actors is guided by the dynamics of supply and provision of ecosystem services and by the decision context in which stakeholders influence their provision and use (Fisher et al. 2009).

The selection of actors to be involved in this research is thus influenced by the specific decision context in which direct supply and use of soil regulation services (SRS) takes place. Upstream, farmers are direct beneficiaries of soil conservation efforts but also contribute to the provision of this service to downstream hydropower plants. These facilities are interested in keeping low sediment loads in the water they use for producing hydropower. Besides those directly involved in the supply and use of SRS, especially those concerned with the design of responses to SRS degradation and in the promotion of soil conservation responses, watershed management committees are also important when alternative soil management scenarios are to be considered as possible responses. We, thus,

---

<sup>1</sup> Agricultural technologies that are applied in few plots in the area include some soil conservation practices such as contour lines and water conservation channels for horticulture. In the case of livestock we find stabled breeding and manure management. Most agricultural systems do not use trees in the productive plot and do not use terracing although slopes are very steep.

included the Watershed Planning Committee for the Reventazon watershed, given its intended supportive role in fostering watershed conservation in the region.

### 3. Scenario building

We used inter-disciplinary methods in developing scenarios and in structuring consultations with stakeholders to evaluate alternatives. The methods used to develop stakeholders' consultations include value-focused thinking interviews and focus groups (Keeney 1992), and negotiation analysis following the method of Raiffa et al. (2007). Additionally, we used GIS modeling (see text frame) to develop land use scenarios and a sediment-management-cost model for the small hydropower dam. We built our understanding of possible alternatives for soil management<sup>2</sup> using different sources of information (Scholz and Tietje 2002). Thus, alternative soil conservation measures to be represented in the scenarios (reforestation, agroforestry, silvopastoral systems, and soil management practices) were based on stakeholders' consultation, review of previous analysis of soil conservation adoption by farmers, and soil conservation studies developed in the area. The overall methodology then included a sequential approach of structured consultations with stakeholders and modeling (Vignola et al. 2008).

The key aspects to be included in the GIS modeling phase of the alternative scenarios were identified during focus group discussions where farmers indicated desirable and possible practices that conservation programs could be and, partially, are already promoting. On the other side, key criteria for hydropower companies concern the identification of priority areas and the costs and outcomes of supporting soil conservation efforts in these areas. GIS land use models were thus based on information derived from stakeholders (see text box).

Before constructing the final scenarios for consultations we ran focus groups and interviews to identify additional qualitative indicators to measure the performance of implementing alternative soil management responses in the Birris sub-watershed. We used a value-focused thinking approach (Keeney 1992), to discuss information on soil degradation in the watershed, land uses associated to erosion, socioeconomic impacts, as well as alternatives (mechanisms) to face those problems. Through this step, we could i) evaluate the understanding of the GIS-based scenario information, ii) validate the indicators identified in the previous process of consultation, and iii) complement scenarios description with the identification of new indicators.

Finally, evaluation workshops were held with each of the stakeholders. Alternative scenarios were presented to stakeholders through a set of posters that described (using maps, graphics, and photos) general characteristics of each one of the six possible landscape futures (two reference scenarios and four achievable scenarios) and all the quantitative (i.e. GIS-modelled) and qualitative (stakeholders-based) indicators associated to each of them. Then, a plenary discussion on “what are the good and what the bad things in the way the landscape is managed now” was developed. Every participant declared his ideas in a brainstorming session. In these final workshops, stakeholders evaluated four alternative scenarios. Here, we excluded, from the evaluation, the two extreme scenarios “completely covered by forest” and “completely deforested” since these two scenarios were merely representing the extreme limits of the effects of possible extreme vegetation-cover changes in the provision of SRS. For example, while erosion produced under the “complete forest” scenario represents the “natural” base line of erosion production, the extreme “completely deforested” scenario shows the highest possible erosion in the landscape when the last remaining spots of forests are cleaned. Thus, while these two extremes

---

<sup>2</sup> Soil management practices to be simulated in the scenarios were identified using information from the agricultural extension office and other existing programs for soil conservation. These included: use of trees in agricultural plots (i.e. agroforestry and silvopastoral systems); soil and water channels, contour lines cultivation, and terracing.

are deemed “improbable”, the other four scenarios include changes in vegetation cover in directions that are considered possible and/or desirable (i.e. based on stakeholders’ consultations) and are thus used for evaluation of stakeholder’s preferences. Details of these scenarios are shown in Table 1 and, for stakeholders’ consultation, are named as follows: 1) current soil use; 2) reforestation of high priority areas for erosion control; 3) adoption of soil conservation practices only in high priority areas for erosion control y; 4) adoption of soil conservation practices in the whole basin.

### GIS modeling for quantitative analysis of scenario SRS performance

As two extreme scenarios we take the full forest cover (scenario 1, as a “natural baseline” production of sediment) and full deforestation (scenario 3) as boundary of the actual scenario (2). Land use changes could be achieved by soil conservation programs. Potential implementation of soil management activities and the change in erosion-control-relevant areas were identified based on existing practices (Marchamalo, 2004). CALSITE platform (Bradbury, 1995) was used to estimate total laminar erosion in the watershed using the RUSLE model (Wischmeier and Smith, 1978):

$$A=(R,C,K,LS,CP)$$

Where A is the resulting field sediment calculation (ton/ha/yr), R is the erosivity of precipitation based on data from 32 meteorological station in the Reventazón watershed, C is vegetation cover factor, K is the soil erosivity, SL is the slope length and CP is a factor accounting for soil management practices. Most of these factors were estimated in previous studies in the area (Elizondo 1979; Bermudez, 1980; Gutierrez, 1987; Mora, 1987; Forsythe, 1991; Cervantes and Vharson, 1992; Arroyo and Madriz, 1994; Portilla, 1994; MAG-FAO, 1996; Gomez, 2002; CATIE, 2003; Gomez, 2004; Arroyo *et al.*, 2006).

In the model, each of the conservation practices induces changes in parameters that are relevant for erosion control as promoted or already used by local farmers (Cubero, 1996). For factor C and K in the model additional field data were collected in the watershed (Lianes *et al.*, Submitted). Moreover, to account for possible increases in frequency and intensity of precipitation extremes as the increasing trend observed for the region (Aguilar *et al.*, 2005), we simulated an increase in R considering 4 hypothetical projections of increase in erosivity of precipitation (i.e. current, +1%, +5% and +10%) as a proxy of increase in frequency of extreme precipitation. LS was accounted for by estimating how some conservation practices might reduce the length of slope (LS) run by water along the slope. CP was included using existing literature data.

The CALSITE simulation allows the identification of erosion risk areas where to focus actual and potential future conservation efforts. Priority areas (i.e. where erosion is higher) were identified based on criteria that were identified in consultations with hydropower actors. According to this criterion, in different scenarios risk class is calculated weighting pixels also by their connection to the hydrographic network in the watershed. Pixels that were closer to a water stream, other variables being constant, were weighted higher. Erosion produced by different watershed areas and finally the annual total sediment output of the watershed were calculated with CALSITE. Since the scenarios were referring to a temporal horizon of 15 years, we did not include effects of climate change on factors such as vegetation under the assumption that in this time horizon, the effect of increasing temperature is not so relevant for currently cultivated crops. Similarly the reduction of soil organic matter as a result of surface erosion was not included.

### 3.1 Description of scenarios

Indicators to describe scenarios included both quantitative and qualitative indicators (Table 1). Many qualitative indicators reflected expected trends as suggested by literature, experts and stakeholders. Together with this information we used photos, maps and easy-to-understand graphs to complement scenarios presentation to stakeholders. Thus, photos of typical soil conservation practices in the watershed were visually representing the main characteristics of the correspondent scenario. For example, in the scenario “soil conservation practices in

high priority areas for erosion control” the picture captured soil and water conservation contour-line cultivation in Birris areas where slope is high and closeness to the river is small.

The average education level of farmers required efforts to ensure adequate understanding of map graphics and other information presented. We started by training individuals on the identification of key points of their territory inside the map (i.e., infrastructure, rivers, their own production plots) and of the legend used. A compendium of graphic material used in scenario analysis complemented this information (Figure 2).

Table 1: Details of indicators (relative magnitude and direction) used in scenarios of land use management for Birris river sub-watershed.

Indicators	Scenarios *			
	1	2	3	4
Water quality	Low	High	High	High
Forest cover	Low (35%)	High (60%)	Low (35%)	Medium (35%)
Presence of plant and animal species	Low	High	Medium	Medium
Quantity of top-soil lost (mm/year) <sup>3</sup>	Medium (5)	Very low (0.14)	Very low (0.17)	Very low (0.06)
Cost of promoting agreements between stakeholders to foster community actions	Low	Very low	High	Very high
Dependence of agricultural inputs	High	-	Low	Low
Available area for agriculture	Medium (32%)	Very low (<5%)	Medium (32%)	Medium (32%)
Electric energy cost	Medium	Very low	Low	Low
Diversification of income opportunities	Low	Low	Medium	Medium
Cost of implementation of soil conservation practices	Low	Medium	High	Very high
Cost of soil nutrients reposition lost by erosion (colonos/ha/year)	Medium (11,000)	Very low (312)	Very low (316)	Very low (121)
Risk level of infrastructure damage	Very high	Very low	Medium	Very low
Extension of high risk areas in the watershed	Medium	Low	Low	Low

\* **Scenarios:** 1. current soil use; 2. reforestation in high priority areas for erosion control; 3. adoption of soil conservation practices only in high priority areas for erosion control; 4. adoption of soil conservation practices in the whole basin

<sup>3</sup> We translated the value of RUSLE (i.e. in ton/ha/yr) to quantity of top-soil lost per year to facilitate understanding of this measure to farmers. Indeed, we found that visualizing this phenomenon in terms of top-soil lost (i.e. the most important productive part of the soil) is closer to farmers' perspective as an indicator.

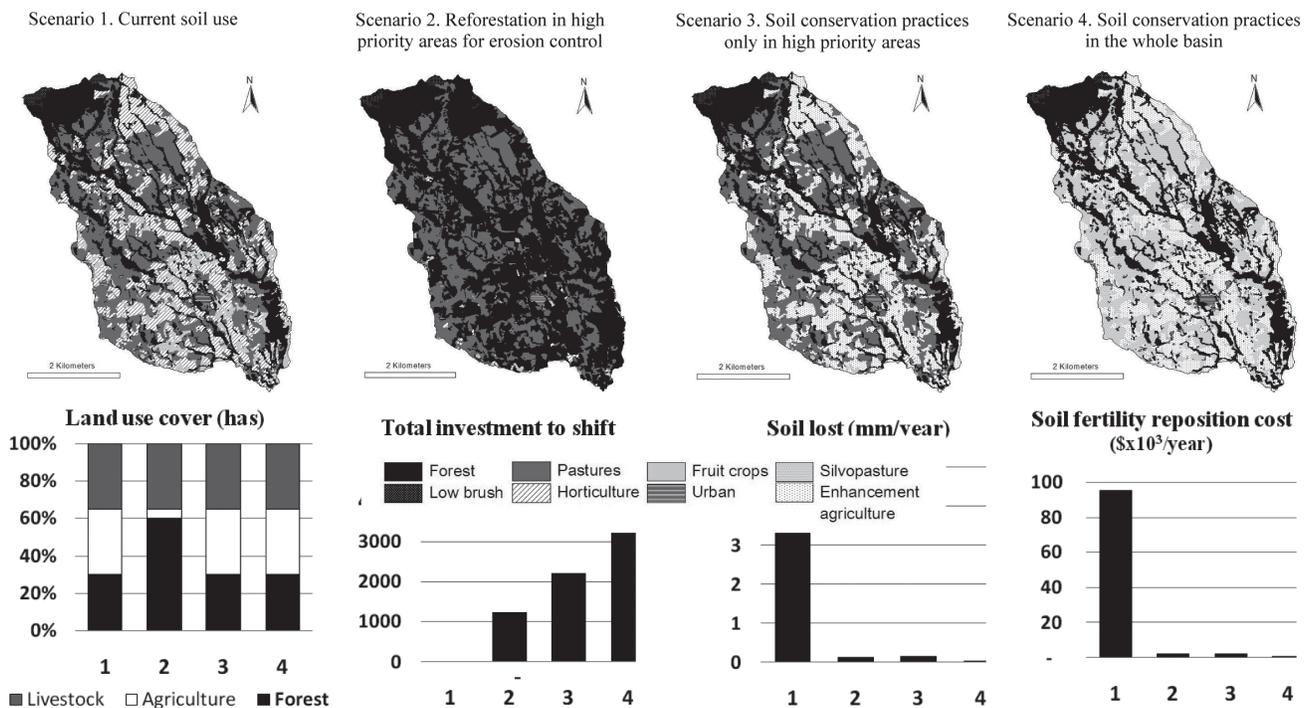


Figure 2. Land use scenarios of the Birris River sub-watershed: Maps picturing the respective land use management and graphics with values of quantitative indicators for each scenario (1 to 4).

#### 4. Stakeholders' perspectives

As we discussed in Section 3.1, evaluation of stakeholders' preferences was focused on three groups of actors: farmers, hydropower companies, and the watershed committee. Differences in stakeholders' preferences were consistent with how their group is interested in specific aspects of the SRS provision (Table 3). A strong point resulting from this evaluation exercise is a general rejection of status-quo degradation of SRS and willingness to change for more environmentally friendly landscape management. Reasons declared to justify the non preference for status quo (scenario 1) were different for each group of stakeholders; however, there were agreements on some issues.

Hydropower companies expressed concerns with erosion reduction for its long-term impacts on dams. Watershed committee's representatives agreed with those reasons, and added concerns over biodiversity loss and impacts on water quality and pollution by agrochemicals. Farmers, in addition to the previous reasons, referred to the negative impact of soil erosion on agriculture and livestock production in the future.

For scenario 2 (i.e. "reforestation in high priority areas"), participants showed concern over potential social conflicts from conversion of agricultural activities to forest cover in these areas. Indeed, here farmers are smallholders highly dependent on market-oriented agricultural production for whom "losing" farm soil to forest cover represents a very high opportunity cost. JASEC did not prefer this scenario.

From the perspective of stakeholders, scenario 3 and 4 represented a balance between agricultural activity and conservation of soils and water, income generation, and the reduction of vulnerability to extreme precipitation

(mentioned by farmers as positive externalities of these soil use scenarios). The main difference in concerns among stakeholders was related to the higher cost of achieving scenario 4 (i.e. soil conservation promoted all over the sub-watershed) compared to scenario 3 (only in priority areas).

Table 2: Reasons attached to most and least preferred land use scenarios expressed by farmers and hydropower company.

	Non preferred		Preferred		
	Scenario 1	Scenario 2*	Scenario 2*	Scenario 3	Scenario 4
Electric Company	More erosion, risk and vulnerability Higher maintenance costs More expensive in long term Harmful for all the actors, because affects everybody's welfare			Viable and sustainable in the future Cost is manageable	Lower erosion Risk and vulnerability reduction Benefits area spread to more actors in the watershed Sustainable production Costs are reduced in a long term
FARMERS	Deforestation Erosion Impacts in water quality Impacts in future production Higher costs of health, services, infrastructure	Lack of employment Migration	Soil and services enhancement Employment is available More achievable	Agriculture is allowed Lower erosion Water quality is maintained Opportunities for higher incomes All sectors are involved	Lower erosion Higher income Harmony with nature
Watershed Committee	High erosion Poor water quality Pollution by agrochemicals Biodiversity lost Incapable to resolve socioeconomic problems Higher costs of energy production	Productive land is needed. Otherwise, social conflict may arise	Erosion and high risk areas are reduced Foster of a "conservation of nature" culture Less pollution Lower costs of energy production	Balance situation between production and environment Soil conservation Possibility of experience's replication	Agriculture is allowed Lower erosion and pollution Improvement of water quality and quantity

\*In the case of the hydropower company, scenario 2 was neither the most nor the least preferred scenario.

## 5. On the use of scenarios

Scenarios are a tool for informing policies on consequences of current behaviors and fostering discussion of potential preventive solutions. Complex systems, such as the case of provision of SRS in vulnerable watersheds, are characterized by large uncertainties and are hard to model, especially in data-scarce regions. In this respect three main aspects need to be considered. First, elaborating highly complex models to build history of the future would require huge data sets with long time series capturing trends from the past. Second, even if data was

not a limitant factor, the outcomes of models would still hide the huge uncertainties that characterize the provision of ES under climate change and future land use change and management (Hulme 2005). Third, when modelling scenarios with stakeholders to inform policy-making processes, there are important issues to be considered such as trust in scenario building, clear understanding of the scenario building process and of the uncertainties attached to it (Selin 2006). This aspect is particularly important given the preformed judgments that stakeholders might have towards a given problem. Indeed, the final aim of scenario building is achieving change in the behaviour of actors so that accepted solutions to an unwanted status-quo situation can be envisaged (Berkhout et al. 2001).

In previous research on the preferences of stakeholders for the Birris (Marchamalo and Romero 2007), participants were asked to rate alternative land use planning priorities presented as general concepts such as “farmers’ income”, “water quantity and availability”, “erosion control” and “water quality”. Results from this exercise do not differ substantially from our findings. However, using scenarios in open discussions with stakeholders has the potential to broaden their perspective on a variety of objectives and issues to be considered under the design of a land use plan. It can, additionally, leverage new perspectives on joint gains among actors that were unthought-of before.

In the experience presented in this paper, stakeholders were involved from the very start of the scenario building process. This has helped building trust between model facilitators and stakeholders. Moreover, in the trade-off between precision and stakeholder involvement, we were driven by simplicity of modelling and putting efforts in stakeholders’ involvement. Farmers’ associations participating in the final scenario evaluation workshop asked for more of these exercises on the basis of their “utility in stimulating creative knowledge”. They found the exercise very useful especially for younger generations of farmers who might embrace more soil conservation behaviour in the face of changing climate conditions.

## Acknowledgements

This paper was completed as part of the Tropical Forests and Climate Change Adaptation (TroFCCA) project, administered by CATIE and CIFOR and funded by the European Commission under contract EuropeAid/ENV/2004-81719. The contents of this document are the sole responsibility of the authors and can under no circumstances be regarded as reflecting the position of the European Union. We would like to acknowledge the support for elaboration of scenarios by Miguel Marchamalo. We also acknowledge professor Tim McDaniels from University of British Columbia and Claudia Borouncle for the contribution in the discussions to identify qualitative indicators of scenarios.

## Bibliography

- Abreu, H.M. 1994. Adoption of soil conservation in Tierra Blanca, Costa Rica. In Lutz E, Pagiola S, Reiche C. 1994. Economic and institutional analysis of the soil conservation projects in Central America and the Caribbean. World Bank Development paper No. 8, Washington DC, USA. 207 pp.
- Aguilar, E.T., Peterson C., Ramirez, P., Frutos, R., Retana, J. A., Solera, M., Soley, J., Gonzalez Garcia, I., Araujo, R. M., Rosa Santos, A., Valle, V. E., Brunet, M., Aguilar, L., Alvarez, L., Bautista, M., Castañon, C., Herrera, L., Ruano, E., Sinay, J. J., Sanchez, E., Hernandez Oviedo, G. I., Obed, F., Salgado, J. E., Vazquez, J. L., Baca, M., Gutierrez, M., Centella, C., Espinosa, J., Martinez, D., Olmedo, B., Ojeda Espinoza, C. E., Nuñez, R., Haylock, M., Benavides, H., Mayorga, R., 2005. Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and northern South America, 1961-2003. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 110, D23107.

- Arroyo, E., Guillermo, M. 1994. Modelo del transporte de sedimentos para la cuenca del río Navarro. Informe de proyecto de graduación. Escuela de Ingeniería Civil. Universidad de Costa Rica.
- Arroyo, L., Ugalde, A. 2006. Línea Base Biofísica y Técnico Productiva Para la Intervención y Desarrollo de la Actividad Productiva Microcuenca: Plantón Pacayas. Documento Técnico N°1 Área de Evaluación de Tierras. INTA. San José Costa Rica.
- Berkhout, F., Hertin, J., Jordan, A., 2001. Socioeconomic futures in climate change impact assessment: using scenarios as “learning machines”. Tyndall Centre, UK. 30pp.
- Bermúdez, M.M. 1980. Erosión hídrica y escorrentía superficial del sistema café (*Coffea arabica*), poró (*Erythrina poeppigiana*) y laurel (*Cordia alliodora*) en Turrialba Costa Rica. Tesis MSc CATIE. Turrialba Costa Rica. 74 pp.
- Bradbury, P. 1995. CALSITE versión 3.1. User manual. HR Wallingford Limited. UK.
- CATIE. 2003. Plan de acción 2004-2013 para el manejo de las subcuencas tributarias del sistema hidroeléctrico Birris. Turrialba. Costa Rica.
- Cervantes, C., Vharson, W.G. 1992. Características físicas y pérdida de nutrimentos de las parcelas de erosión de Cerbatana de Puriscal, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 16 (1), 99-106.
- Cubero, D. 1996. Manual de manejo y conservación de suelos. Editorial de la Universidad Estatal a Distancia, San José, Costa Rica, pp. 28-49.
- Elizondo, J.A. 1979. Estudio hidrogeológico preliminar de la cuenca del río Navarro, provincia de Cartago. Tesis de Licenciatura. Escuela Centroamericana de Geología. Universidad de Costa Rica. 89 pp.
- Fisher, B., Turner, R.K., Morling, P. 2009. Defining and classifying ecosystem services for decision making. *Ecological Economics* 68, 643-653.
- Forsythe, W. 1991. Algunas prácticas culturales y la erosión en Costa Rica. In. W.G. Vahrson, M. Alfaro y G. Palacios. Memoria del Taller de Erosión de Suelos. Universidad Nacional., Heredia, Costa Rica. 236 pp
- Gómez, F. 2002. Evaluación de la erosión potencial y producción de sedimentos en tres cuencas de Costa Rica Trabajo de Graduación para obtener el grado de Licenciado en Ingeniería Civil. UCR. San José, Costa Rica. 191 pp.
- Gómez, O. 2004. Estudio Detallado de Suelos de La Microcuenca Plantón-Pacayas, Pacayas de Alvarado, Cartago. INTA. San José Costa Rica.
- Gutiérrez, M.A. 1987. Determinación del índice de erosividad de las lluvias y su relación con la cobertura vegetal, suelos y pendientes, para la cuenca del río Grande de Térraba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Universidad de Costa Rica–CATIE, Turrialba.
- Hulme, P.E. 2005. Adapting to climate change: is there scope for ecological management in the face of a global threat?. *Journal of Applied Ecology* 42, 784-794. Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), 1999. Plan de Manejo de la Cuenca del Río Reventazón. San José. Costa Rica. 550 pp.
- Instituto Nacional De Estadística y Censo Centroamericano de Población (INEC). 2002. Estimaciones y proyecciones de población 1970-2050. San José, Costa Rica, 112p. Instituto Nacional de Meteorología (IMN), 2000. First National Communication to the United Convention for Climate Change. Instituto Nacional de Meteorología, San José, Costa Rica. 177; available at: <http://unfccc.int/resource/docs/natc/corncl.pdf> Keeney, R.L., 1992. Value-focused thinking: a path to creative decision-making. Harvard University Press, 432 pp.
- Keeney, R.L., Value-focused thinking: a path to creative decision making. Harvard University Press, Cambridge, MA, USA, 416pp.
- Lutz, E., Pagiola, S., Reiche, C. 1994. Economic and institutional analysis of the soil conservation projects in Central America and the Caribbean. World Bank Development paper No. 8, Washington DC, USA. 207 pp.
- Ministerio Agricultura y Ganadería (MAG), Food and Agriculture Organization (FAO), 1996. Agricultura conservacionista: un enfoque para producir y conservar. Ministerio de Agricultura y Ganadería. San José. Costa Rica. 89 pp.
- Marchamalo, M., Romero, C. 2007. Participatory decision-making in land use planning: an application in Costa Rica. *Ecological Economics* 63 (4), 740-748.
- Marchamalo, M. 2004. Ordenación del territorio para la producción de servicios ambientales hídricos: aplicación a la cuenca del río Birris (Costa Rica). Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.
- Millennium Ecosystem Assessment (MEA). 2005. Ecosystems and human well-being: hydrological ecosystem services report. Island Press, Washington D.C., USA.
- Mora, I. 1987. Evaluación de la pérdida de suelo mediante la ecuación universal (EUPS): Aplicación para definir acciones de manejo en la cuenca del río Pejibaye, Vertiente Atlántica, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Universidad de Costa Rica – C.A.T.I.E. Turrialba.
- Patel, M., Kok, K., Rothman, D.S. 2007. Participatory scenario construction in land use analysis: an insight into the experiences created by stakeholder involvement in the Northern Mediterranean. *Land Use Policy* 24, 546-561.
- Portilla, R. 1994. Simulación hidrológica y de erosión de suelos utilizando el modelo distribuido ANSWERS: aplicación en la cuenca del río Pejibaye, Cartago, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. C.A.T.I.E. Turrialba, Costa Rica.
- Raiffa, H., Richardson, J., Metcalfe, D. 2007. Negotiation analysis: the science and art of collaborative decision making. Harvard University Press, Cambridge, MA, USA, 548pp.
- Rodríguez, C. 2001. Informe sobre sedimentos. Proyecto Hidroeléctrico Reventazón. Área de Hidrología. Instituto Costarricense de Electricidad (ICE). San José. Costa Rica. 31 pp.

- Sanchez-Azofeifa G.A., Harriss R.C., Storrier A.L., DeCamino-Beck T. 2002. Water resources and regional land cover change in Costa Rica: impacts and economics. *Water Resources Development*, 18 (3), 409-424.
- Scholz, R.W., Tietje, O. 2002. *Embedded case study methods: Integrating quantitative and qualitative knowledge*. Sage publication, Thousand Oaks, California, USA.
- Selin, C. 2006. Trust and the illusive force of scenarios. *Futures* 38, 1-14.
- Vignola, R., Marchamalo, M., Gomez, F., Koellner, T. 2008. Modeling erosion in alternative land use scenarios under current and future climate change: inputs for soil conservation management programs in the Birris watershed, Costa Rica. *Proceedings of the International Workshop on Modeling in Agroforestry Systems, CIRAD-CATIE, Turrialba, Costa Rica*
- Wischmeier, W.H., Smith, D.D. 1978. *Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning*. U.S. Dep. Agric., Agric. Handb. No. 537. 58 pp.

# Managing the uncertainty of tropical ecosystems vulnerability to climate change

## *Gestión de la incertidumbre de la vulnerabilidad de los ecosistemas tropicales ante el cambio climático*

Benjamin Poulter<sup>1</sup>, Fred Hattermann<sup>2</sup>, Ed Hawkins<sup>3</sup>, Sönke Zaehle<sup>4</sup>, Stephen Sitch<sup>5</sup>, Ursula Heyder<sup>2</sup>, Wolfgang Cramer<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Land Use Dynamics, Swiss Federal Research Institute (WSL), Zurcherstrasse 111, 8903 Birmensdorf, Switzerland. E-mail: benjamin.poulter@wsl.ch/ben.poulter@pik-potsdam.de

<sup>2</sup>Potsdam Institute for Climate Impact Research, Telegraphenberg A26, D14412 Potsdam, Germany.

<sup>3</sup>Department of Meteorology, University of Reading, Reading, RG6 6BB, United Kingdom

<sup>4</sup>Max Planck Institute for Biogeochemistry, PO Box 100164, 07701 Jena, Germany

<sup>5</sup>School of Geography, University of Leeds, Leeds, LS2 9JT, United Kingdom

### Abstract

Climate impact science requires the integration of future socioeconomic storylines, multiple data sources, and various modeling assumptions and approaches. Inherent in this scientific discipline is the presence of model uncertainty, which is necessary to quantify to know when and where ecosystem adaptation and mitigation may be required and implemented successfully. Recent climate policy negotiations promote the inclusion of natural ecosystem services as a mechanism for reducing or avoiding the emissions of greenhouse gases, for example REDD or the Reduced Emissions from Deforestation and Degradation. The implementation of such mechanisms occurs in the context of scarce financial resources that must be allocated to a variety of projects over large regions under various time scales.

In this chapter, we present a methodology for integrating sources of uncertainty for climate impact assessments using a terrestrial ecosystem model and various climate change projections. We focus on the uncertainty in changes in forest cover and carbon stocks in the Amazon Basin, presenting spatial patterns of a signal to noise ratio at various points in time. Our analysis shows strong spatial and temporal variation in the signal to noise ratio, indicating that it can be a useful index for assessing the magnitude of sources of uncertainty relative to the change in various ecosystem variables. The application of large-scale ecosystem models to regional adaptation and mitigation problems has yet to be fully investigated, but combined with probabilistic approaches shows promising use for prioritizing adaptation and mitigation schemes related to greenhouse gas reduction policies.

Keywords: dynamic global vegetation model (DGVM); climate ensemble; latin hypercube; Amazon Basin; forest dieback

### Resumen

La ciencia del impacto climático requiere la integración de líneas evolutivas socioeconómicas futuras, múltiples fuentes de datos y diferentes supuestos y enfoques de modelación. La presencia de incertidumbre en los modelos es inherente a esta disciplina científica. Por lo tanto, se hace necesario su cuantificación para saber cuándo y dónde la adaptación y la mitigación de los ecosistemas pueden ser necesarias e implementadas con éxito. Recientes negociaciones acerca de las políticas climáticas promueven la inclusión de los servicios de los ecosistemas naturales como un mecanismo para reducir o evitar las emisiones de gases de efecto invernadero, por ejemplo, la Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación (REDD). La aplicación de tales mecanismos se produce en el contexto de escasos recursos financieros que deben asignarse a una variedad de proyectos dispersos en regiones de gran extensión y en escalas de tiempo diferentes.

En este capítulo, se presenta una metodología para integrar las fuentes de incertidumbre en las evaluaciones de impacto climático, utilizando un modelo de ecosistema terrestre y diferentes proyecciones de cambio climático. Asimismo, se enfoca en la incertidumbre de los cambios de la cubierta forestal y las reservas de carbono en la cuenca amazónica, presentando patrones espaciales de la razón señal a ruido en varios momentos en el tiempo. El análisis muestra una fuerte variación espacial y temporal en la razón señal a ruido, lo que indica que puede ser un indicador útil para evaluar la magnitud de las fuentes de incertidumbre con relación al cambio en distintas variables de los ecosistemas. La aplicación de modelos de ecosistemas a gran escala a problemas de adaptación y mitigación aún no se han investigado a fondo. Sin embargo, su uso combinado con métodos probabilísticos muestra un potencial prometedor para priorizar planes de adaptación y mitigación relacionados con las políticas de reducción de gases de efecto invernadero.

Palabras clave: conjunto climático, cuenca amazónica, hipercubo latino, modelo dinámico de la vegetación mundial (MDVM), mortalidad de bosques

---

## 1. Introduction

Understanding the impacts of global change on tropical ecosystems is important for designing appropriate adaptation strategies necessary to protect and manage ecosystem services into the future (Nepstad et al. 2008). Ecosystem models combine field and experimental observations to quantify and assess climate impacts over large spatial and temporal scales for carbon, energy and water budgets, biogeography, and ecosystem productivity. The various scientific approaches used in ecosystem modelling include multiple sources of uncertainty that are inherent to climate change science, such as variability between climate model projections, ecosystem models, and uncertainty in fossil fuel scenarios. This chapter discusses the primary sources of uncertainty that influence the outcomes of climate impact assessments. A case study outlining one such approach for managing uncertainty to be informative for adaptation is presented for the Amazon Basin. The Amazon is a region of global environmental significance where there is much debate over the degree of its vulnerability to projected climate change (Malhi et al. 2008).

### Ecosystem models and ecosystem services

The underlying terrestrial components included in current state of the art earth system models are either dynamic global vegetation models (DGVM) or land surface models. In this chapter, we focus on DGVM models; these are process based and are oriented towards representing the key processes of terrestrial biosphere dynamics in a mechanistic manner. This mechanistic approach means that the models are not parameterized for a particular location or time point, making process-based models more flexible than equilibrium models to evaluate biogeochemical and biogeographical patterns for either past or future time periods. For example, photosynthesis is modelled at the scale of the individual leaf, relating external environmental conditions (radiation, temperature, CO<sub>2</sub>, plant available water) to biochemical processes. Under future, and unique, environmental conditions, these basic biochemical relationships account for the changing environmental drivers. DGVM frameworks apply this same process-based principle for modelling all ecosystem processes, such as transpiration, carbon allocation, decomposition and vegetation dynamics.

In the context of climate change, DGVM models are one of several approaches that are able to evaluate and quantify the vulnerability of ecosystem services (Prentice et al. 2007). In tropical ecosystems, these services are relevant across multiple spatial scales, ranging from local to global importance. For example, tropical ecosystems are highly productive, providing food, fibre, and water resources to local communities. Yet they also provide important functions as regional carbon sinks and have a large influence in the interannual variability of global atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations (Rödenbeck et al. 2003). These ecosystem services are vulnerable to climate change, with the tropical forests of Amazonia identified as one of the world's tipping point regions, where gradual changes in global air temperature may result in abrupt and catastrophic losses of forest cover and

carbon stocks (also known as forest ‘dieback’). Current international climate negotiations aim to minimize the probability of a 2-degree increase in global air temperature to prevent such ‘dangerous’ climate change in the tropics, but ecosystem and climate models vary widely in their evaluation of the response of tropical forests to temperature and drought; the level of risk for Amazon dieback remains unclear (Kriegler et al. 2009).

### **Sources of uncertainty**

The broad differences in climate projections between general circulation models (GCM) and subsequent ecosystem responses from DGVM models can be attributed to three primary sources of uncertainty. These sources include (1) model structure, (2) parameter values, and (3) model driver variables. These are typically independent of one another and can propagate through an analysis in an additive manner. Within this chapter, we consider uncertainty as different to model error. The latter can be known and quantified, then used to correct model outcomes while the former is always prevalent, resulting from normative assumptions regarding future outcomes or model structure (described in more detail below). However, analytical methods exist to make uncertainty informative, and in some cases, reduced.

The reductionist approach used for developing earth system models tends to break down ecosystems into multiple, small-scale processes, such as photosynthesis or transpiration, or root water uptake and competition for light (Prentice et al., 2007). Because of the many outcomes of a reductionist approach, model structure and parameters can vary from model to model (Cramer et al., 2001); different assumptions for nutrient use or light availability and their effects on photosynthesis commonly change between models (representing structural differences) and specific parameters are often imprecisely known or contain large inherent variability (for example, rooting depths).

DGVM models also require “drivers” that are simply external inputs; these include climate inputs (i.e., temperature, precipitation, and radiation) and socioeconomic scenarios that can influence the rate of land-use change and deforestation. Climate change projections from general circulation models are typically run for various socioeconomic storylines that reflect different intensities of fossil fuel economies. While these produce a wide range of temperature and precipitation projections, they are, strictly speaking, not uncertainties, but storylines that are prescribed by policy futures (see Nakicenovic 2000). However, the multiple GCM models, >20 used in the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Fourth Assessment Report (AR4), result in a wide range of uncertainty, which can be reduced by evaluating and weighting model performance against historic climatic patterns (see Reichler and Kim, 2008, for example).

### **Issues specific to the tropics**

Because of the large extent of tropical forests and their remoteness, conducting fieldwork to evaluate global change impacts on ecosystem processes has lagged progress in temperate ecosystems. Recent results from tropical drought experiments in wet-tropical forests appear to confirm the sensitivity of various functional types to water limitations (Nepstad et al., 2007). However, to date, no experiments manipulating CO<sub>2</sub> concentrations have been performed in the tropics, and the response of water-use efficiency and possibly compensation for drought effects is poorly understood. Complex relationships also exist between land-use, fire, and climate that result in positive fire feedbacks in some cases and negative in others (Cochrane, 2003) dry fuels. Remote sensing has been used successfully for evaluating inter-annual dynamics of land-cover and land use (Morton et al., 2006), but challenges remain for investigating seasonal processes, limiting the extent of model-data assimilation procedures that might improve DGVM models in the tropics (Stöckli et al., 2008). As a result, for tropical regions many of the fixed parameters used in a DGVM are better represented as distributions, or even as variables, especially important for belowground processes involved with water uptake (Poulter et al., In press).

## Managing uncertainty

Uncertainty and the challenges to reduce it in tropical regions should not prevent efforts to implement strategic adaptation plans. In this context, the UNFCCC stated that uncertainty should not be a reason for delaying action:

“The Parties should take precautionary measures to anticipate, prevent or minimize the causes of climate change and mitigate its adverse effects. Where there are threats of serious or irreversible damage, *lack of full scientific certainty* should not be used as a reason for postponing such measures...” (UNFCCC Article 3.3)

Uncertainty analyses are often used to inform decisions through the use of probabilities, signal to noise ratios, sensitivities, and many other approaches that exist within a risk assessment framework. Uncertainty indices can be further broken down into temporal and spatial domains, identifying when and where impacts are more likely or where more information is required to reduce uncertainty. This information, along with additional sources from expert opinion and cost-benefit analysis, can be integrated to prioritize the allocation of scarce economic resources available for implementing adaptation and mitigation plans to reduce the negative impacts of climate change on local communities and global processes. Here, we provide such an example.

## 2. Case study

The Hadley Centre earth system model identified high vulnerability of the Amazon to climate change from a 65% decrease in daily precipitation and a 9.2°C increase in annual air temperature (Cox et al., 2004). The authors found that Amazon dieback under these climate conditions resulted in a loss of 35 Pg C from vegetation and a 60% decrease in forest cover. Subsequent modelling studies have found less sensitivity of tropical Amazon to climate change (Salazar et al., 2007; Sitch et al., 2008) and have also identified the future drying trend in the Hadley climate projection as extreme compared to other GCM models (Li et al., 2006; Malhi et al., 2009). However, the Hadley climate model appears to represent 20<sup>th</sup> century climate dynamics in comparison to observations, especially drought, rather well, suggesting that future climate projections may be reliable (Cox et al., 2008).

In our analysis, we investigated the magnitude of the tropical Amazon response to climate change while simultaneously accounting for vegetation model parameter uncertainty, using the LPJmL DGVM (Sitch et al., 2003; Bondeau et al., 2007). We use these simulations to calculate a signal to noise ratio where the signal represents changes in aboveground live biomass or changes in tropical evergreen forest cover, and the noise represents the uncertainty from the GCM ensemble and DGVM parameters. We present our results as maps of the signal to noise ratios for three time periods during the 21<sup>st</sup> century. Using this approach, specific locations for high and low uncertainty are revealed integrated over multiple sources of uncertainty that can be used to guide adaptation and mitigation planning.

## 3. Methods for modeling uncertainty

The LPJ-DGVM models ecosystem carbon and water cycles on a daily timestep for several plant functional types (PFT) that are divided among trees and grasses physiognomic groups. Recent applications of the model in the tropics show that LPJmL does relatively well for representing carbon stocks and annual carbon uptake (Poulter et al. In press, Poulter et al. in review-b). In tropical regions, three PFTs are predominant: a C4 photosynthetic pathway grass, a tropical evergreen, and a tropical drought deciduous tree. The model requires monthly air temperature, precipitation, cloud cover, annual CO<sub>2</sub>, and soil type as input. LPJmL also includes a fire module,

which reduces aboveground biomass according to PFT-specific sensitivities according to climate dependent annual area burned metric (Thonicke et al., 2001). The results presented here are for natural vegetation dynamics only and do not include deforestation or agriculture dynamics (see Poulter et al., In review-a).

We selected 8 GCM simulations from the 23 GCM models used in the AR4 of the IPCC. The subset of models were selected based on 20<sup>th</sup> Century performance metrics (Li et al., 2008; Reichler and Kim, 2008). The climate simulations were conducted for the fossil fuel intensive socioeconomic storyline, SRES A2, where CO<sub>2</sub> concentrations reach ~850 ppm in the year 2100. The climate projections were interpolated to a common 1-degree resolution grid, and normalized to a common reference period (1961-1990) so that each model followed a relatively similar twentieth century climate and baseline conditions. The normalization procedure tended to reduce the magnitude of the precipitation decrease, especially for the Hadley CM3 projection (30% compared to 65%), whereas temperature was less affected (Table 1).

Table 1. Summary of Amazon Basin climate projections for each of the eight GCM models considered in this analysis. The climate projections are normalized to twentieth century Climatic Research Unit (CRU) data (see Poulter in review-b for details). Units are changes from 1990 baseline, in percent (%) for delta precipitation and °C for temperature.

Model	2025-2035		2055-2065		2095-2100	
	Delta precipitation	Delta temperature	Delta precipitation	Delta temperature	Delta precipitation	Delta temperature
CSIRO MK 3.0	14,22	0,68	10,72	1,62	-4,42	3,90
GFDL CM 2.1	-4,87	1,46	5,03	2,39	-0,08	4,59
GISS Model E-R	2,68	1,09	8,17	2,08	15,27	3,62
IPSL CM4	21,36	0,76	35,57	2,05	44,64	4,09
MPI ECHAM 5.0	0,41	1,08	-0,87	2,65	-0,16	5,45
NCAR PCM1	0,26	0,68	15,98	1,23	14,6	2,29
UKMO HadCM3	-9,63	1,81	-18,56	4,09	-28,94	7,15
UKMO HadGEM	0,59	0,85	-9,83	2,38	-11,89	5,44

For the parameter sensitivity of LPJ-DGVM, we selected 21 parameters influencing carbon, water, and vegetation dynamics. Two hundred parameter sets were generated using a Latin Hypercube approach (see Poulter et al., (in review-b) for more details). Each simulation was benchmarked against field observations for biomass to remove parameter set combinations that resulted in extreme, and unlikely, simulations for aboveground biomass. LPJmL was run with a 1000 year spin-up from “bare soil” conditions, repeating the first 30 years of climate data for each parameter set to equilibrate vegetation dynamics and carbon pools before beginning the transient climate simulation (1900-2098). A schematic presentation of the data preparation to output analysis can be seen in Figure 1.

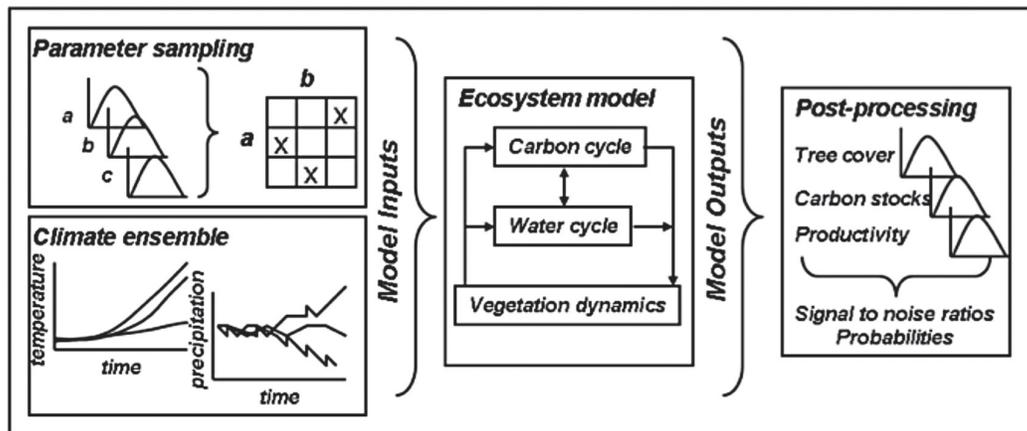


Figure 1. Schematic presentation of input preparation to output analysis for the model simulations. Climate data from 8 GCM models were used as drivers of LPJmL, 200 parameter sets were generated using Latin Hypercube approach. Eight by 200 simulations were conducted for the Amazon Basin at 1-degree spatial resolution. This study presents results for changes in basin wide aboveground live biomass and tropical evergreen PFT coverage.

The sources of variance were calculated for the decadal averaged change in aboveground live biomass and tropical evergreen tree cover (both annual outputs) following methods described by Hawkins and Sutton (2009). For each individual grid cell, three sources of uncertainty were considered: (1) natural internal variability, the natural fluctuations of model responses to short-term climate variability (IV), (2) global climate model uncertainty (GCM), and (3) vegetation model uncertainty (LPJmL). Further details on this approach can be found in Poulter et al. (in review-b). The mean change in aboveground live biomass or forest cover for all parameter set and GCM combinations was calculated as the signal, and the sources of variability were summed to a total variance variable which was used in the denominator of the signal to noise ratio calculation.

#### 4. Results and discussion

The differences between climate models and their projections for the SRES A2 scenario was a large source of uncertainty, confirming results from previous studies (Li et al., 2006; Malhi et al., 2009). By mid-21<sup>st</sup> century, precipitation changes ranged from a 19% decrease to a 35% increase, while temperature consistently increased between 1-4°C (Table 1). By late 21<sup>st</sup> century, the range of precipitation changes increased from a 30% decrease to a 45% increase, while temperature increased from 2-7°C.

The uncertainty in the LPJ variables to the ensemble of climate projections was expectedly large (Table 2). The wetter GCM projections in combination with elevated CO<sub>2</sub> tended to increase carbon stocks up to 12 Pg C, whereas the drier simulations decreased carbon stocks by 16 Pg C. Tropical evergreen forest cover tended to decrease regardless of the trend in precipitation. In these cases, the tropical evergreen PFT was replaced by the tropical drought deciduous PFT. This shift in PFT combination was likely due to the additional respiratory costs under warmer temperatures that make an evergreen phenology less advantageous. At the basin scale, the large forest dieback, in terms of both losses in forest cover (13%) and carbon stocks (16 Pg C), were less than those observed with the Hadley CM3 climate model (Cox et al., 2004).

The temporal and spatial pattern for the signal to noise ratio revealed trends for both variables that were mostly related to differences in GCM climate projections. Both aboveground live biomass (Figure 2) and forest cover (Figure 3) generally had low signal to noise ratios in 2030 because there had been little change in the signal by this time period. By 2060 and 2090, the changes in these variables had increased enough for the spatial pattern in signal to noise to diverge by eastern and western Amazonia. For aboveground live biomass, the western Amazon had the highest signal to noise ratios ( $>1$ ), meaning that in spite of LPJmL parameter uncertainty and GCM uncertainty, the changes in carbon stocks (increasing) were consistent. In the northeastern Amazon, the changes in carbon stocks were more dependent on climate scenarios, in some cases the carbon stocks increased and in others, they decreased. This resulted in signal to noise ratios less than 1, meaning that the uncertainty is greater than the trend in the variable. Changes in tropical evergreen cover (Figure 2) followed a similar pattern to aboveground live biomass, with the main differences split between the eastern and western Amazon.

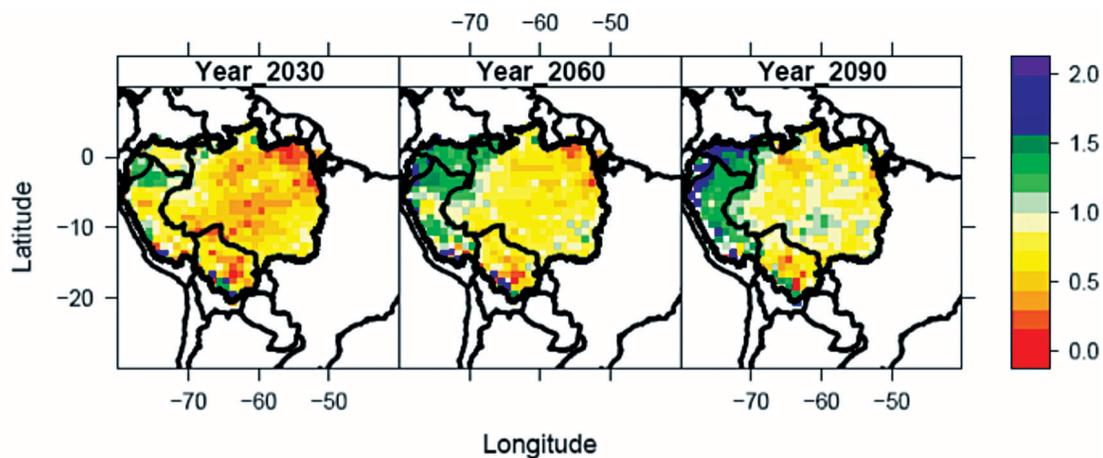


Figure 2. Spatial pattern of signal to noise ratio for change in aboveground live biomass for three time periods (2030, 2060 and 2090). Numbers greater than 1 indicate that the signal (change) is greater than the noise and that these regions show relatively robust changes over all GCM and parameter set combinations.

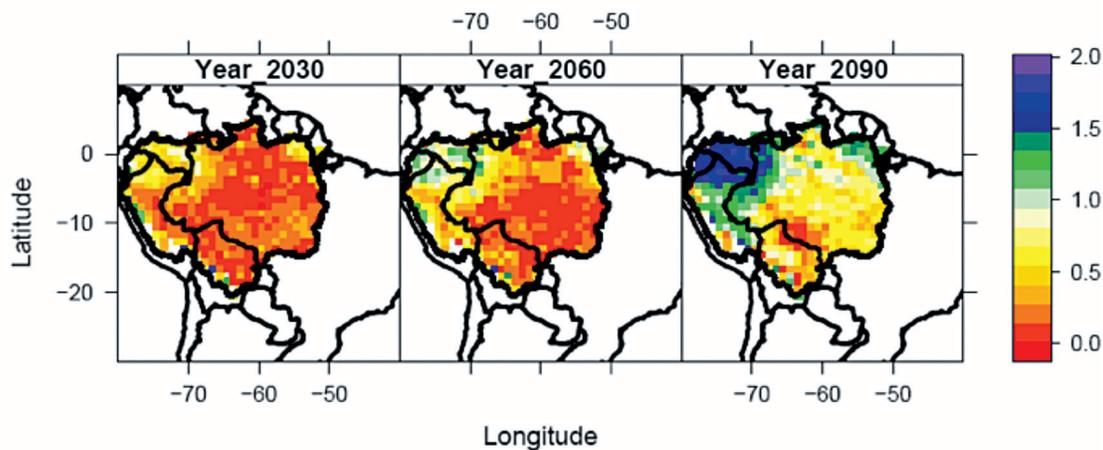


Figure 3. Spatial pattern of signal to noise ratio for change in evergreen plant functional type cover for three time periods (2030, 2060 and 2090). Numbers greater than 1 indicate that the signal (change) is greater than the noise and that these regions show relatively robust changes over all GCM and parameter set combinations.

LPJmL appears to produce a relatively moderate dieback of the Amazon compared to other models. A recent model inter-comparison suggests that LPJ-DGVM is less sensitive to temperature than the Triffid DGVM (used in the Hadley model) and Hylands (Galbraith et al., In prep.). The parameter uncertainty was not a large source of the noise. The change in forest cover and carbon stocks was also most sensitive to climate projections. A similar study using the CPTEC DGVM also showed that changes in biogeographic distributions were strongly correlated with climate projections, with 75% of the models agreeing with an 18% decrease in tropical forest area (Salazar et al., 2007).

## 5. Concluding remarks

The possible inclusion of tropical forests as a mechanism for carbon sequestration under the Kyoto Protocol highlights the importance of understanding tropical forest carbon dynamics (Gullison et al., 2007). A better understanding will help quantify the permanence of these carbon stocks under a changing climate, as well as help guide strategic implementation of adaptation and mitigation proposals depending on risk of biome shifts and carbon losses from drought, increasing temperature, or both. These strategies include new conservation planning, fire management, and shifts in species management (Nepstad et al., 2008).

Earth system models provide a unique perspective on management issues, but they have generally been developed for large spatial scales, while frequently management decisions take place locally. The uncertainty in the model structure, parameters and input drivers has been known for a long time, but a new perspective on managing this uncertainty to be informative for policy is critical (Cox and Stephenson, 2007). In conjunction with other science and policy tools, the integration of DGVM and managing uncertainty through climate ensembles and parameter distributions may be promising for decisions related to the allocation of scarce resources for adaptation and mitigation projects.

## Acknowledgements

We appreciate funding from the Marie Curie Research Training Network “Greencycles” (MRTN-CT-2004-512464). We acknowledge the modeling groups, the Program for Climate Model Diagnosis and Intercomparison (PCMDI) and the WCRP’s Working Group on Coupled Modelling (WGCM) for their roles in making available the WCRP CMIP3 multi-model dataset. Support of this dataset is provided by the Office of Science, U.S. Department of Energy.

## Bibliography

- Bondeau, A., Smith, P.C., Zaehle, S., Schaphoff, S., Lucht, W., Cramer, W., Gerten, D., Lotze-Campen, H., Müller, C., Reichstein, M., Smith, B. 2007. Modelling the role of agriculture for the 20th century global carbon balance. *Global Change Biology* 13: 679-706.
- Cochrane, M.A. 2003. Fire science for rainforests. *Nature* 421: 913-919.
- Cox, P.M., Betts, R.A., Collins, M., Harris, P.P., Huntingford, C., Jones, C.D. 2004. Amazonian forest dieback under climate-carbon cycle projections for the 21st century. *Theoretical and Applied Climatology* 78:137-156.
- Cox, P.M., Harris, P.P., Huntingford, C., Betts, R.A., Collins, M., Jones, C.D., Jupp, T.E., Marengo, J.A., Nobre, C.A. 2008. Increasing risk of Amazonian drought due to decreasing aerosol pollution. *Nature* 453: 212-216.
- Cox, P.M., Stephenson, D. 2007. A changing climate for prediction. *Science* 317:207-208.
- Cramer, W., Bondeau, A., Woodward, F.I., Prentice, I.C., Betts, R.A., Brovkin, V., Cox, P.M., Fisher, V., Foley, J.A., Friend, A.D., Kucharik, C., Lomas, M.R., Ramankutty, N., Sitch, S., Smith, B., White, A., Young-Molling, C. 2001. Global response of terrestrial ecosystem structure and function to CO<sub>2</sub> and climate change: results from six dynamic global vegetation models. *Global Change Biology* 7:357-373.

- Galbraith, D., Levy, P.E., Sitch, S., Huntingford, C., Meir, P., Cox, P.M. In prep. Quantifying the contributions of different environmental factors to predictions of Amazonian rainforest dieback in three dynamic global vegetation models (DGVMs).
- Gullison, R.E., Fruhmhoff, P.C., Canadell, J.G., Field, C.B., Nepstad, D.C., Hayhoe, K., Avissar, R., Curran, L.M., Friedlingstein, P., Jones, C.D., Nobre, C.A. 2007. Tropical forests and climate policy. *Science*:10.1126/science.1136136.
- Hawkins, E., Sutton, R. 2009. The potential to narrow uncertainty in regional climate predictions. *Bulletin of the American Meteorological Society*:DOI:10.1175/2009BAMS2607.1171.
- Kriegler, E., Hall, J.W., Held, H., Dawson, R., Schellnhuber, H.J. 2009. Imprecise probability assessment of tipping points in the climate system. *Proceedings of the National Academy of Science*:doi:10.1073/pnas.0809117106.
- Li, W., Fu, R., Dickinson, R.E. 2006. Rainfall and its seasonality over the Amazon in the 21st century as assessed by the coupled models for the IPCC AR4. *Journal of Geophysical Research* 111:doi:10.1029/2005JD006355.
- Li, W., Fu, R., Juarez, R.I.N., Fernandes, K. 2008. Observed change of the standardized precipitation index, its potential cause and implications to future climate change in the Amazon region. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 363:1767-1772.
- Malhi, Y., Aragão, L.E.O.C., Galbraith, D., Huntingford, C., Fisher, J.B., Zelazowski, P., Sitch, S., McSweeney, C., Meir, P. 2009. Exploring the likelihood and mechanism of a climate-change-induced dieback of the Amazon rainforest. *Proceedings of the National Academy of Science*.
- Malhi, Y., Roberts, J.T., Betts, R.A., Killeen, T., Li, W., Nobre, C. 2008. Climate change, deforestation, and the fate of the Amazon. *Science* 319:DOI: 10.1126/science.1146961.
- Morton, D.C., DeFries, R.S., Shimabukuro, Y.E., Anderson, L.O., Arai, E., del Bon Espirito-Santo, F., Freitas, R., Morissette, J.T. 2006. Cropland expansion changes deforestation dynamics in the southern Brazilian Amazon. *Proceedings of the National Academy of Science* 103:doi:10.1073/pnas.0606377103.
- Nakicenovic, N, editor. 2000. Special Report on Emission Scenarios. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Geneva, Switzerland.
- Nepstad, D., Stickler, C.M., Soares-Filho, B. 2008. Interactions among Amazon land use, forests, and climate: prospects for a near-term forest tipping point. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 363:1737-1746.
- Nepstad, D., Tohver, I.M., Ray, D., Moutinho, P., Cardinot, G. 2007. Mortality of large trees and lianas following experimental drought in an Amazon forest. *Ecology* 88:2259-2269.
- Poulter, B., Aragao, L., Heinke, J., Gumpenberger, M., Heyder, U., Rammig, A., Thonicke, K., Cramer, W. In review-a. Net biome production of the Amazon Basin in the 21st Century.
- Poulter, B., Hattermann, F., Hawkins, E., Zaehle, S., Sitch, S., Coupe, N.R., Heyder, U., Cramer, W. in review-b. Robust dynamics of tropical ecosystems to vegetation model parameter uncertainty: Implications for assessing the likelihood of 'Amazon dieback'. *Global Change Biology*.
- Poulter, B., Heyder, U., Cramer, W. In press. Modelling the sensitivity of the seasonal cycle of GPP to dynamic LAI and soil depths in tropical rainforests. *Ecosystems*:doi: 10.1007/s10021-10009-19238-10024.
- Prentice, I.C., Bondeau, A., Cramer, W., Harrison, S.P., Hickler, T., Lucht, W., Sitch, S., Smith, B., Sykes, M.T. 2007. Dynamic global vegetation modeling: Quantifying terrestrial ecosystem responses to large-scale environmental change. Pages 175-192 in P. Canadell, D. E. Pataki, and L. F. Pitelka, editors. *Terrestrial Ecosystems in a Changing World*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, DE.
- Reichler, T, Kim, I. 2008. How well do coupled models simulate today's climate? *American Meteorological Society*:doi:10.1175/BAMS-1189-1173-1303.
- Rödenbeck, C., Houweling, S., Gloor, M., Heimann, M. 2003. CO<sub>2</sub> flux history 1982-2001 inferred from atmospheric data using a global inversion of atmospheric transport. *Atmospheric Chemistry and Physics* 3:1919-1964.
- Salazar, L.F., Nobre, C.A., Oyama, M.D. 2007. Climate change consequences on the biome distribution in tropical South America. *Geophysical Research Letters* 34:doi:10.1029/2007GL029695.
- Sitch, S., Huntingford, C., Gedney, N., Levy, P.E., Lomas, M.R., Piao, S., Betts, R.A., Ciais, P., Cox, P.M., Friedlingstein, P., Jones, C.D., Prentice, I.C., Woodward, F.I. 2008. Evaluation of the terrestrial carbon cycle, future plant geography and climate-carbon cycle feedbacks using five Dynamic Global Vegetation Models (DGVMs). *Global Change Biology* 14:2015-2039.
- Sitch, S., Smith, B., Prentice, I.C., Arneth, A., Bondeau, A., Cramer, W., Kaplan, J.O., Levis, S., Lucht, W., Sykes, M.T., Thonicke, K., Venevsky, S. 2003. Evaluation of ecosystem dynamics, plant geography and terrestrial carbon cycling in the LPJ dynamic global vegetation model. *Global Change Biology* 9:161-185.
- Stöckli, R., Rutishauser, T., Dragoni, D., O'Keefe, J., Thornton, P.E., Jolly, M., Lu, L., Denning, A.S. 2008. Remote sensing data assimilation for a prognostic phenology model. *Journal of Geophysical Research* 113:doi:10.1029/2008JG000781.
- Thonicke, K., Venevsky, S., Sitch, S., Cramer, W. 2001. The role of fire disturbance for global vegetation dynamics: coupling fire into a Dynamic Global Vegetation Model. *Global Ecology and Biogeography* 10:661-677.

# Gestión de riesgos climáticos en el sector agropecuario para la adaptación al cambio climático

## *Climate Risk Management in the Agricultural Sector Geared Towards Adaptation to Climate Change*

Walter E. Baethgen

Director, Programa Regional para América Latina y el Caribe, International Research Institute for Climate and Society (IRI), The Earth Institute at Columbia University 61 Route 9W Palisades, NY 10964. E-mail: baethgen@iri.columbia.edu

### Resumen

Aun considerando los escenarios más optimistas de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, la ciencia que estudia el comportamiento del clima confirma que en las próximas décadas el calentamiento global es inevitable. Esto hace necesario que los diferentes sectores socioeconómicos establezcan estrategias para la adaptación a los cambios climáticos ya existentes y futuros. Por otro lado, ya no se trata de situar el cambio climático como un problema que va a afectar a la sociedad en 50 o más años, un plazo de tiempo muy posterior al que compete a las agendas de los políticos y tomadores de decisiones. El cambio climático es un problema actual.

Existen variaciones del clima en diferentes escalas de tiempo: días, estaciones, años, décadas, etc., y la información de cada una de estas escalas es importante para diferentes usos. Una manera de fomentar la inclusión del cambio climático en la elaboración de políticas y en la toma de decisiones consiste en considerar a los cambios del clima de largo plazo (cambio climático) dentro de todo el rango de variaciones climáticas: desde meses y estaciones hasta décadas o siglos, en contraposición a considerar los cambios climáticos en forma exclusiva y aislada.

El presente artículo describe el enfoque de “Gestión de Riesgos Climáticos” del Instituto Internacional para el Clima y la Sociedad (IRI, International Research Institute for Climate and Society), el cual se basa en cuatro pilares fundamentales: i) identificar vulnerabilidades y oportunidades relacionadas con la variabilidad y el cambio climático; ii) reducir incertidumbres mejorando el conocimiento climático en el sector agropecuario; iii) identificar intervenciones tecnológicas que reducen la vulnerabilidad a la variabilidad climática; iv) identificar intervenciones de políticas y arreglos institucionales que permitan reducir las vulnerabilidades y/o transferir riesgos asociados al clima.

Palabras clave: adaptación al cambio climático, gestión de riesgos climáticos, variabilidad climática

### Abstract

Even taking into account the most optimistic scenarios for reducing emissions of greenhouse gases, climate science confirms that in the coming decades global warming is unavoidable. This requires that different socioeconomic sectors develop adaptation strategies for ongoing and future climate change. On the other hand, we can no longer phrase climate change as a problem affecting society in 50 years or more—a time period that is too long for the agendas of politicians and decision makers. Climate change is a problem we face today.

Climate variations occur at different time scales: days, seasons, years, decades, etc. The information about each of these scales is important for different uses. A way to encourage the inclusion of climate change in policy development and decision making is to consider long term climate changes (climate change) within the full range of climate variations, from months and seasons to decades or centuries, as opposed to considering climate changes in an exclusive and isolated way.

This paper describes the IRI’s (International Research Institute for Climate and Society) approach to “Climate Risk Management”, which is grounded on four foundations: i) identify vulnerabilities and opportunities related to climate variability

and change; ii) reduce uncertainties and improve upon climate knowledge in the agriculture sector; iii) identify technological interventions that reduce vulnerability to climate variability; iv) identify policy interventions and institutional arrangements that reduce vulnerabilities and/or transfer risks associated with climate.

Keywords: adaptation to climate change, climate risk management, climate variability

---

## 1. Introducción

### **El sistema climático global se está calentando**

La utilización de combustible fósiles y los cambios en el uso de la tierra (incluyendo la deforestación) han resultado en un aumento en la concentración de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en la atmósfera. La concentración atmosférica de CO<sub>2</sub> ha incrementado de unas 280 ppm en la etapa preindustrial a casi 380 ppm en 2005. Gracias a las mediciones de burbujas atrapadas en el hielo de las zonas polares, actualmente se sabe que la concentración de CO<sub>2</sub> en el aire actual excede el rango natural (180ppm a 300ppm) medido en los últimos 650.000 años (IPCC 2007).

El Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC), que recibió el premio Nóbel de la Paz en el 2007 y que congrega a la comunidad científica internacional, ha venido publicando informes desde principios de la década del 1990. El cuarto informe del IPCC (2007) concluye que la temperatura global ha aumentado entre 0,57°C y 0,95°C en los últimos 100 a 150 años (IPCC 2007a). Los resultados del informe también indican que el calentamiento del sistema climático es inequívoco y se ha evidenciado a través de mediciones en los aumentos de las temperaturas del aire y los océanos, así como en el derretimiento de glaciales y aumentos en el nivel del mar (IPCC 2007a; IPCC 2007b). El informe del IPCC también incluye ejemplos de impactos que el calentamiento global está teniendo en la agricultura, los bosques y la salud humana.

El informe finalmente incluye escenarios posibles del clima futuro que podría afectar la producción agropecuaria alrededor del mundo. Muchos estudios conducidos en los últimos 20 años (citados en los informes del IPCC) sugieren que los rendimientos de los cultivos podrían ser severamente reducidos en condiciones de temperaturas más altas como consecuencia del acortamiento de la estación de crecimiento y por aumentos en la presión de enfermedades (por ejemplo, Parry et al. 2004; Parry y Rosenzweig 1994; Rosenzweig y Iglesias 1994; Baethgen y Magrin 1995; Schneider et al. 2001). Más aún, los sistemas agropecuarios que ya son frágiles en las condiciones actuales (tales como el noreste de Brasil, el Sahel de África) podrían volverse insostenibles bajo las condiciones esperadas por algunos escenarios climáticos del IPCC (Baethgen 1997). La mayoría de los estudios sugieren que las regiones más severamente afectadas desde el punto de vista socioeconómico serían las regiones tropicales y subtropicales que es donde se encuentra la mayoría de los países en vías de desarrollo.

### *Adaptación del sector agropecuario al cambio climático*

Aun y considerando los escenarios más optimistas de acciones que se coordinan a nivel global para reducir drásticamente las emisiones de GEI, la ciencia atmosférica confirma que en las próximas décadas el calentamiento global es inevitable. Tal y como se indica en el cuarto informe del IPCC, suponiendo que la concentración de GEI en la atmósfera permaneciera constante en los niveles del año 2000, la inercia causada por las emisiones pasadas causaría un calentamiento global inevitable con los consecuentes cambios en el clima. En consecuencia, incluso bajo este escenario irrealísticamente optimista, es necesario desarrollar estrategias de adaptación para responder al calentamiento. Por otro lado, los escenarios más realistas de emisiones de GEI y las concentraciones de los mismos esperados en la atmósfera hacen más necesario que los diferentes sectores socioeconómicos—incluyendo el agropecuario—establezcan estrategias para la adaptación a los cambios climáticos ya existentes.

### *Adaptación al cambio climático y toma de decisiones: incertidumbres y conflictos de escala*

Los tomadores de decisión que actúan en los sectores privados y públicos—incluyendo los responsables de diseñar políticas nacionales y regionales—enfrentan la continua presión de tener que responder a problemas que requieren acciones inmediatas. Más aún, en general los efectos de sus acciones deben ser evidentes dentro de los plazos relativamente cortos con los cuales operan (típicamente de 2 a 5 años, hasta 10). Esto hace que frecuentemente se asigne a los problemas de plazos largos (30 años o más) una prioridad relativamente menor.

Por otro lado, la comunidad científica internacional que trabaja en cambio climático y sus impactos esperados sobre las sociedades, se ha enfocado frecuentemente en la elaboración de escenarios climáticos que pueden ocurrir en las próximas décadas (por ejemplo, en los años 2070 o 2100). Este enfoque ha sido extremadamente efectivo para aumentar la toma de consciencia del público en general sobre los riesgos asociados a los cambios climáticos y han resultado en esfuerzos importantes para promover el uso de fuentes de energía más limpias, estimular prácticas de secuestro de carbono y otras acciones tendientes a disminuir las emisiones netas de GEI.

El enfoque científico en escenarios climáticos posibles para los próximos 70 o 100 años ha situado el cambio climático como un problema que va a afectar a la sociedad en un plazo de tiempo muy posterior al que compete a las agendas de los políticos y tomadores de decisión en general. Más aún, los escenarios posibles de clima futuro que se pueden producir con los mejores métodos científicos disponibles, presentan un nivel de incertidumbre que causa desafíos aún mayores para ser considerados en forma práctica en las actividades de planificación y toma de decisiones. Los altos niveles de incertidumbre de los escenarios climáticos futuros se deben en parte a las limitaciones en el conocimiento científico en el que se basan los modelos utilizados para generar los escenarios. Las incertidumbres también se deben a los supuestos que deben hacerse en relación a los escenarios socioeconómicos futuros y las emisiones de GEI asociados que alimentan a los modelos climáticos. Por ejemplo, los escenarios socioeconómicos incluyen un amplio rango de supuestos relacionados con tasas de intercambio, fuentes de energía, transferencia de tecnologías, etc. para los próximos 50 a 100 años que inevitablemente contienen incertidumbres (ver, por ejemplo, el rango de proyecciones de temperaturas compiladas por el IPCC en 2007, Figura 1).

Los escenarios futuros posibles de lluvias contienen incertidumbres aún mayores que los correspondientes a los de temperaturas, y las incertidumbres se vuelven todavía mayores para los escenarios de clima a nivel regional (por ejemplo, para la región del Mercado Común del Sur (Mercosur o para Uruguay) cuando se comparan con los escenarios de nivel global. En relación a este último aspecto, cabe señalar que existen métodos (estadísticos y dinámicos) que permiten reducir la escala, es decir, aumentar el nivel de detalle de las salidas de los modelos climáticos globales y llevarlos a niveles regionales o aun locales. Sin embargo, es importante recalcar que estos métodos no reducen las incertidumbres asociadas a los escenarios globales que se mencionaron previamente. Es decir, los escenarios de cambio climático regionales son escenarios climáticos que presentan un nivel de detalle mayor de las mismas incertidumbres (y a veces las incertidumbres son aun mayores que a nivel global).

En conclusión, existen dos desafíos importantes para incorporar la información de la investigación en cambio climático en la toma de decisiones: los **niveles de incertidumbre** discutidos previamente y el **doble conflicto de escalas**. Por un lado, los escenarios climáticos se establecen a una escala de tiempo que corresponde a un plazo en el futuro bastante más lejano que el que generalmente se necesita para la toma de decisiones, la planificación y la elaboración de políticas. Por otro lado, los mejores escenarios climáticos disponibles aun presentan un nivel de detalle en el territorio que es mucho menor que el que generalmente requiere un tomador de decisión. Estos desafíos constituyen una de las razones por las cuales el tema de adaptación al cambio climático generalmente no se ha introducido efectivamente en las agendas de los tomadores de decisión o en la elaboración de políticas públicas.

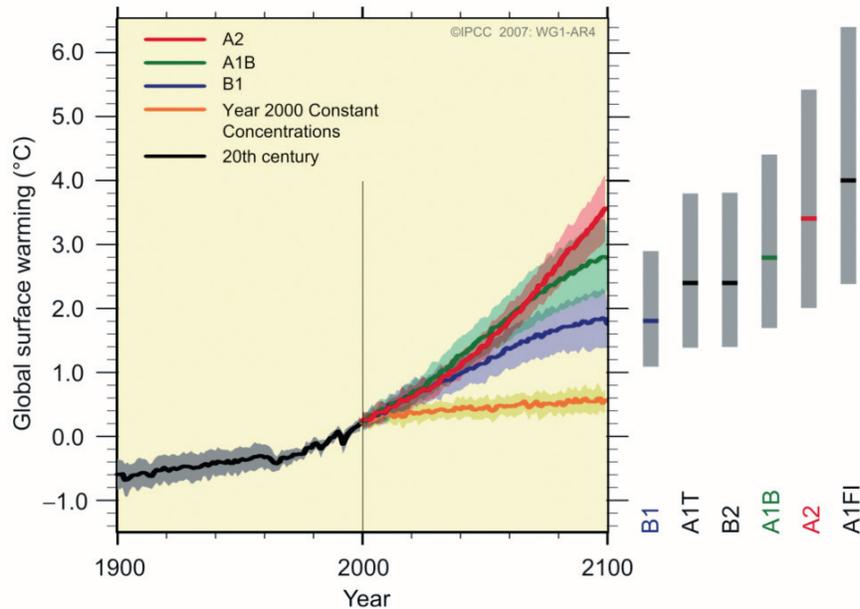


Figura 1. Proyecciones de temperatura global del IPCC. Las líneas sólidas son promedios de calentamiento global de la superficie (en relación a 1980–1999) generados con varios modelos climáticos para los escenarios A2, A1B y B1. Las áreas sombreadas son los desvíos estándar de los valores anuales de los modelos. La línea anaranjada es para el caso en que las emisiones permanecieran constantes a valores del año 2000. Las barras grises a la derecha indican los “mejores estimadores” (la línea sólida en cada barra) y los rangos esperados para seis escenarios socioeconómicos (extraído del cuarto informe del IPCC, 2007).

## Un enfoque complementario: consideración del rango total de variabilidad climática

El sistema climático de la Tierra incluye factores y procesos que causan variaciones en el clima en diferentes escalas de tiempo y de espacio. Algunos procesos son locales y actúan en el corto plazo o inmediato (unos pocos días) y causan la variabilidad en el estado del tiempo (lluvias de hoy, helada de la próxima madrugada, etc.). Otros procesos se ven afectados por la interacción entre la atmósfera, los océanos y la superficie de la tierra y resultan en variaciones del clima a escalas de meses. El caso más conocido de este tipo es el fenómeno de “El Niño” que afecta las lluvias de varias regiones del mundo. Existen también fenómenos que dependen de factores naturales y antropogénicos (causados por la acción del hombre) que afectan la composición química de la atmósfera y causan variaciones del clima a escalas de varias décadas o siglos. Este último tipo de fenómenos incluye la variabilidad climática de muy largo plazo (varias décadas a siglos) que comúnmente se conoce como cambio climático.

Todos estos procesos actúan simultáneamente y resultan en la variabilidad climática total de nuestro planeta. La magnitud de la variabilidad climática a estas diferentes escalas de tiempo es diferente tal como se ejemplifica en la Figura 2. Esta figura fue elaborada considerando la variabilidad total observada en la lluvia anual en la región del Sahel de África. La figura muestra los cambios observados a diferentes escalas temporales en las lluvias del Sahel. La línea de puntos finos muestra los cambios en el largo plazo (tendencia lineal en los últimos 100 años) que podría considerarse la escala de cambio climático e indica que las lluvias del Sahel han disminuido unos 100 mm–120 mm en los últimos 100 años. La línea de puntos gruesos corresponde a la variación de la lluvia en

escala de décadas (“variabilidad decádica”) y muestra que a lo largo del siglo XX han existido periodos de 10 a 20 años en los que la lluvia tendió a estar por encima del promedio y otros periodos en los que tendió a estar por debajo. La diferencia entre los promedios de la lluvia en esos grupos de años más secos y más lluviosos fue de aproximadamente 150 mm a 200 mm. Finalmente la línea entera es la lluvia medida año tras año (“variabilidad interanual”). Claramente ésta es la línea con mayor variación y muestra que las diferencias en la lluvia entre los años más lluviosos y los más secos en el Sahel llegaron a unos 450mm.

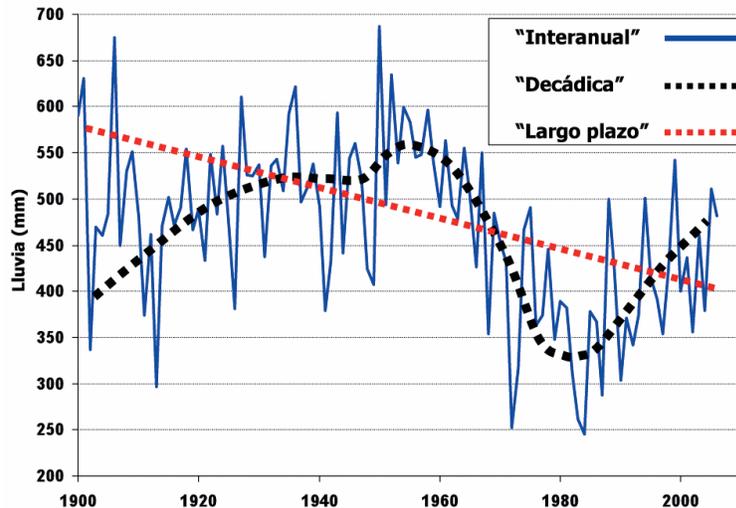


Figura 2. Precipitaciones observadas en la región del Sahel (África) en el periodo 1900-2000. La línea roja es la tendencia lineal para los 100 años (largo plazo o cambio climático), la línea negra corresponde a las variaciones de escala multidecádica, y la línea azul presenta las variaciones de año a año (variabilidad interanual).

Estas diferencias en la magnitud de los cambios en las lluvias (y temperaturas) para las distintas escalas temporales (interanual, multidecádica o de largo plazo) varían en las diferentes regiones del mundo. En algunos casos las variaciones de largo plazo parecen ser más claras que las decádicas (por ejemplo, en el Sur-Este de América del Sur). Pero en general, las variaciones observadas año a año (es decir la variación interanual) son las de magnitudes más grandes.

#### *Adaptación al cambio climático a través de la gestión de los riesgos climáticos*

Las variaciones del clima en todas estas escalas diferentes son importantes para diferentes usos. Por ejemplo, para el cálculo de obras de infraestructura (carreteras, represas de agua) es importante conocer la variabilidad en las escalas de décadas y pueden ser importantes también las variaciones de más largo plazo. Por otro lado, para la planificación y la toma de decisiones de más corto plazo es fundamental conocer la variabilidad de un año a otro. Asimismo, es importante destacar que es esta variabilidad interanual la que hace que existan años de sequías y años de inundaciones. Sin embargo, las otras dos escalas son importantes para determinar si existen periodos en los que dichas sequías o inundaciones son más o menos frecuentes.

En algunas regiones del mundo las variaciones a largo plazo son fundamentales. Por ejemplo, existen casos en que el suministro de agua para consumo y/o para riego depende del derretimiento de glaciales en primavera y verano (por ejemplo, en la región Andina de América del Sur). En esos casos el calentamiento global de las últimas décadas

ha resultado en una reducción del tamaño de los glaciales por lo que en pocos años el suministro de agua puede verse seriamente amenazado. Sin embargo, en la mayoría de los casos los eventos climáticos que más preocupan en el sector agropecuario son aquellos relacionados con las variaciones de un año a otro (variabilidad interanual), es decir, los años con lluvias sensiblemente menores que lo normal o con heladas tempranas/tardías, temperaturas más altas que lo esperado, etc., que a su vez resultan en impactos importantes sobre la producción agropecuaria.

Los impactos son especialmente grandes cuando se presentan eventos climáticos extremos tales como las sequías o las inundaciones. Las investigaciones en cambio climático (incluidas en los informes del IPCC) indican que en el futuro puede esperarse que la variabilidad interanual aumente, y que existan eventos climáticos extremos más frecuentes y más severos. Por estas razones, una buena forma de contribuir a mejorar la adaptación a los cambios climáticos futuros consiste en disminuir las vulnerabilidades de los sectores socioeconómicos a las variaciones del clima de hoy (incluyendo los eventos extremos), es decir, mejorar su capacidad de adaptación a la variabilidad climática actual.

En términos más generales, una manera de fomentar la inclusión del cambio climático en la elaboración de políticas y en la toma de decisiones consiste en considerar a los cambios del clima de largo plazo dentro de todo el rango de variaciones climáticas: desde meses y estaciones, hasta décadas o siglos, en contraposición a considerar los cambios climáticos en forma exclusiva y aislada. Utilizando este enfoque es posible generar información con diferentes escalas de tiempo que serán relevantes y utilizables para decisiones con diferentes horizontes (Baethgen et al. 2004).

Este enfoque introduce el cambio climático como un problema actual (en contraposición a un problema del futuro) y apunta a informar y asistir a los procesos de toma de decisiones, planificación y elaboración de políticas para reducir la vulnerabilidad socioeconómica a la variabilidad y el cambio climático. El International Research Institute for Climate and Society de la Universidad de Columbia (IRI) y varias instituciones colaboradoras han venido utilizando este enfoque y lo denominan Gestión del Riesgo Climático.

## **Cuatro pilares para la gestión de riesgos climáticos**

El impacto de la variabilidad climática sobre las actividades productivas en diferentes sectores socioeconómicos (por ejemplo, agricultura o gestión del agua) puede ser representado por la curva de probabilidades típica con “forma de campana” (Figura 3).

De esta manera es como en unos pocos años existen eventos que son tan extremos que generan situaciones catastróficas como, por ejemplo, el huracán Mitch (representadas en la Figura 3 con el área en el extremo izquierdo). En otros casos la producción se ve afectada por eventos menos catastróficos—pero también extremos y muy perjudiciales—tales como sequías, inundaciones, tormentas (segunda área a la izquierda en la Figura 3). Si bien dichos eventos climáticos son relativamente poco frecuentes (áreas a la izquierda en la Figura 3), pueden perjudicar mucho la productividad agropecuaria (muchas veces los impactos perduran por varias zafas) y frecuentemente la planificación de la producción se diseña con la prioridad de evitar o minimizar dichos perjuicios. Por ejemplo, los agricultores frecuentemente prefieren usar tecnologías “precautorias” que no tienen expectativas de alta productividad pero que reducen la posibilidad de grandes pérdidas en los años desfavorables. Este tipo de situación muchas veces resulta en bajas tasas de adopción de tecnologías mejoradas por parte de muchos agricultores, especialmente cuando dichas tecnologías implican gastos (por ejemplo, la compra de semillas mejoradas, fertilizantes, etc.). Esto es consecuencia de la conocida aversión al riesgo de los agricultores, pero también de las enormes pérdidas que ellos pueden sufrir en años desfavorables—especialmente cuando

no existen instituciones dispuestas a proveerles seguros por considerar que las condiciones son de alto riesgo. Más aun, en algunos casos, el no utilizar tecnologías adecuadas resulta en impactos negativos sobre los recursos naturales (por ejemplo, pérdida de fertilidad y degradación de suelos por falta de uso de fertilizantes, erosión, etc.). Estas situaciones a su vez pueden generar las conocidas “trampas de pobreza”: se utilizan tecnologías inadecuadas, la productividad es baja, se degradan los suelos y la productividad es cada vez más baja.

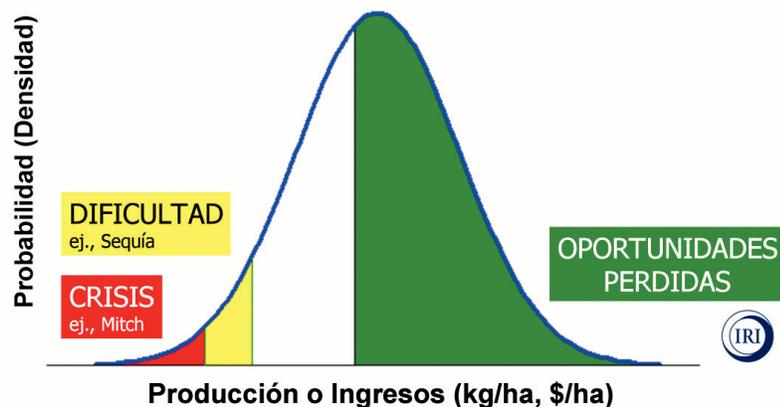


Figura 3. Variación esperada en la producción o los ingresos en un sistema agropecuario y rangos de riesgos asociados a la variabilidad climática: crisis (área del extremo izquierdo, causadas por eventos catastróficos como el huracán Mitch), dificultades (la segunda área de la izquierda, causadas por eventos extremos como las sequías o las inundaciones), y “oportunidades perdidas” (área de la derecha, que incluyen las “pérdidas” por no aprovechar condiciones normales o favorables con tecnologías adecuadas).

Al mismo tiempo el utilizar tecnologías precautorias hace que los agricultores pierdan la oportunidad de aprovechar las condiciones climáticas normales o favorables que son las que existen la mayoría de los años (área a la derecha en la Figura 3). Posiblemente la suma de oportunidades perdidas a lo largo de los años tenga un impacto mayor sobre la sostenibilidad de la producción agropecuaria (y por lo tanto sobre el desarrollo del sector agropecuario) que los eventos extremos, que por definición, son poco frecuentes. Por ejemplo, en Uruguay (Baethgen 2001) se ha estimado que al analizar durante un periodo de 30 años los ingresos económicos de un agricultor que produce maíz de secano con tecnologías mejoradas, el 60% del total de ingresos acumulados en los 30 años se habían obtenido en solamente 6 años favorables (de “buen” clima y de “buenos” precios). Si ese mismo agricultor no hubiera utilizado tecnologías mejoradas no hubiera aprovechado esos años tan favorables y los ingresos en los 30 años hubieran sido sensiblemente menores.

El enfoque de **Gestión de Riesgos Climáticos** tal y como lo define el IRI y sus colaboradores, propone considerar un amplio rango de escalas temporales de variabilidad climática y manejar la totalidad del rango de riesgos climáticos— desde los asociados con años o décadas desfavorables hasta el riesgo de perder oportunidades en los años o décadas normales y favorables. La gestión de todo ese rango de riesgos se apoya en cuatro pilares fundamentales:

**1. Identificar vulnerabilidades y oportunidades** relacionadas con la variabilidad y el cambio climático. Este proceso comienza con el análisis de los sistemas de producción en estrecha colaboración con los miembros de la comunidad agropecuaria (pública y privada). Asimismo, identifica los principales desafíos relacionados con el clima y modelizando los sistemas en estudio para identificar vulnerabilidades y/o oportunidades que los miembros de la comunidad pueden no haber identificado.

**2. Reducir incertidumbres mejorando el conocimiento climático** en el sector agropecuario. Ese conocimiento climático mejorado se basa en: (a) entender el **pasado**, es decir, estudiar la variabilidad climática y los factores que la causan, cuantificar los impactos de dicha variabilidad sobre los sistemas agropecuarios, identificar las medidas de manejo que reducen los impactos negativos y optimizan los positivos, etc.; (b) monitorear las condiciones de factores ambientales relevantes del **presente** (clima, vegetación, agua en el suelo, presión de enfermedades, etc.); y (c) suministrar la mejor información posible y relevante sobre el **futuro** de días, estaciones, a décadas dependiendo de la relevancia para las diferentes actividades y decisiones<sup>1</sup>. El conocimiento climático también incluye la identificación de métodos y el desarrollo de herramientas para optimizar el uso de la información climática<sup>2</sup>.

**3. Identificar intervenciones tecnológicas** que reducen la vulnerabilidad a la variabilidad climática (por ejemplo, mediante la diversificación de cultivos, el aumento de la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo, la mejora en la eficiencia de uso del agua, el uso de cultivares resistentes a la sequía).

**4. Identificar intervenciones de políticas y arreglos institucionales** que permiten reducir las vulnerabilidades relacionadas con el clima y que permiten aprovechar las oportunidades en condiciones favorables. La reducción de la vulnerabilidad se puede lograr, por ejemplo, con: (a) sistemas de alerta y respuesta temprana a las crisis, y (b) transfiriendo parte de los riesgos existentes con diferentes modalidades de seguros agropecuarios, créditos supervisados/dirigidos, etc. Los instrumentos de transferencia de riesgos requieren un gran esfuerzo para la caracterización y cuantificación de diferentes niveles de riesgo (“desastres”, “dificultades”) que varían mucho entre sistemas de producción y en diferentes regiones del mundo. Dicha caracterización y cuantificación es a su vez, un insumo fundamental para las instituciones que diseñan políticas de seguros y reaseguros.

En resumen, el enfoque de Gestión de Riesgos Climáticos utilizado por el IRI y sus colaboradores se basa en la premisa de que la planificación y las decisiones en el sector agropecuario pueden ser mejoradas al ajustarse con información sobre la probabilidad de confrontar zafra (o décadas) favorables o desfavorables. Las decisiones estarán mejor informadas cuando esos escenarios climáticos probables se complementan con un buen entendimiento de la variabilidad climática de la región (desde estacional a multidecádica) y con un buen monitoreo de la situación actual (pilar número 2). Un buen conocimiento sobre las prácticas y tecnologías que reducen pérdidas y aprovechan oportunidades también contribuyen a mejorar las decisiones y la planificación (pilar número 3). Sin embargo, incluso cuando se accede a la mejor información climática (del pasado, del presente y del futuro), y cuando se utilizan las mejores tecnologías, van a existir años en los que van a ocurrir pérdidas. Por esta razón, solamente cuando los agricultores estén cubiertos frente a las pérdidas causadas por “desastres” y “dificultades”, podrán adoptar efectivamente tecnologías y prácticas que les permiten aprovechar las condiciones de años normales y favorables.

Una ventaja del enfoque de Gestión de Riesgos Climáticos es que es pertinente para mejorar la adaptación de los diferentes sectores socioeconómicos a la variabilidad climática actual y también a los cambios climáticos de largo plazo. Este enfoque asiste a los usuarios a confrontar posibles escenarios climáticos del futuro pero al mismo tiempo identifica acciones inmediatas para enfrentar la variabilidad climática que en la actualidad afecta a las sociedades. Más aun, los impactos de dichas acciones e intervenciones son visibles y verificables en el corto plazo haciendo que este enfoque sea aún más atractivo para los tomadores de decisión.

<sup>1</sup> La relevancia de escala temporal (días, estaciones, décadas) la define la necesidad del usuario que la demanda. Los agricultores generalmente demandan información a escala estacional o interanual. Los bancos de desarrollo, el sector forestal y otros pueden estar interesados en la información sobre décadas (por ejemplo, la probabilidad de que décadas presenten sequías más frecuentes). Los representantes de gobiernos que participan en las negociaciones de la UNFCCC pueden requerir información sobre escenarios para los próximos 30 o 50 años.

<sup>2</sup> Por ejemplo, los Sistemas de Información y Soporte para la Toma de Decisiones (SISTD) como el que INIA-Uruguay ha desarrollado en colaboración con IRI ([www.inia.org.uy/GRAS](http://www.inia.org.uy/GRAS)).

En la actualidad las agencias internacionales y los bancos de desarrollo han comenzado a adoptar este enfoque para incorporar efectivamente medidas adaptativas en las políticas y planes de desarrollo. Por ejemplo, Warren Evans, Director de Medio Ambiente del Banco Mundial, en su discurso a la Asamblea del Fondo Global para el Medio Ambiente (GEF) en Ciudad del Cabo (Sudáfrica) del 2006<sup>3</sup> expresó que: “la adaptación a los riesgos climáticos debe ser considerada como un riesgo económico y social fundamental para las economías de las naciones, no solamente como un problema ambiental de largo plazo. *Al mejorar la gestión de riesgos climáticos, las instituciones de desarrollo y sus países miembros podrán enfrentar mejor los riesgos crecientes asociados al cambio climático y, al mismo tiempo, aumentar la resiliencia de las inversiones en desarrollo actuales a la variabilidad climática y a los eventos extremos*”.

## Agradecimientos

El autor agradece la importante contribución que recibió a través de comentarios y sugerencias de sus colegas del IRI: James W. Hansen, Casey Brown, Lisa Goddard, Haresh Bhojwani y Stephen Zebiak

## Bibliografía

- Baethgen, W.E. 2001. The Experience of Southeastern South America (Mercosur Region). IN: *Coping with the Climate: A Way Forward*. International workshop, October 16-20, 2000, Pretoria, South Africa. IRI Publication IRI-CW/01/1. Palisades, NY.
- Baethgen, W.E. 1997. Vulnerability of the agricultural sector of Latin America to climate change. *Climate Res.* 9:1-7
- Baethgen, W.E., Martino, D.L. 2004. Mainstreaming climate change responses in economic development of Uruguay. In: OECD Global Forum on Sustainable Development. Environment Directorate. Environment Policy Committee. ENV/EPOC/GF/SD/RD(2004)2.
- Baethgen, W.E., Magrin, G.O. 1995. Assessing the impacts of climate change on winter crop production in Uruguay and Argentina using crop simulation models. IN: C. Rosenzweig et al. (eds.), *Climate Change and Agriculture: Analysis of Potential International Impacts*. American Society of Agronomy Special Publication 59, Madison WI, pp. 207-228.
- Baethgen, W.E., Meinke, H., Gimenez, A. 2004. Adaptation of agricultural production systems to climate variability and climate change: lessons learned and proposed research approach IN: *Insights and Tools for Adaptation: Learning from Climate Variability*, NOAA-OGP, Washington, D.C. ENV/EPOC/GF/SD/RD, Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris.
- Hansen, J.W., Baethgen, W., Osgood, D., Ceccato, P. Ngugi, R.K. 2007. Innovations in climate risk management: protecting and building rural livelihoods in a variable and changing climate. *Journal of Semi-Arid Tropical Agricultural Research* 4 (1).
- IPCC. 1992. *Climate Change: The IPCC Response Strategies*. WMO/UNEP, Island Press, Covelo, USA, 273 pp.
- IPCC. 2007a. Intergovernmental Panel on Climate Change, Working Group I Contribution of to the Fourth Assessment Report, *Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Summary for Policymakers*. <http://www.ipcc.ch/SPM2feb07.pdf>
- IPCC. 2007b. Intergovernmental Panel on Climate Change, Working Group II Contribution to the Fourth Assessment Report, *Climate Change 2007: Climate Change Impacts, Adaptation and Vulnerability, Summary for Policymakers* <http://www.ipcc.ch/SPM6avr07.pdf>
- Parry, M.L., Rosenzweig, C. 1994. Potential impact of climate change on world food supply. *Nature* 367, 133-138.
- Parry, M.L., Rosenzweig, C., Iglesias, A., Livermore, M., Fischer, G. 2004. Climate Change Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socioeconomic scenarios. *Global Environmental Change* 14, 53-67
- Rosenzweig, C., Iglesias, A. (eds.). 1994. *Implications of Climate Change for International Agriculture: Crop Modeling Study*. USEPA 230-B-94-003, Washington, D.C.
- Schneider, S., Sarukhan, J., Adejuwon, J., Azar, C., Baethgen, W.E., Hope, C., Moss, R., Leary, N., Richels, R., van Ypersele, J.P. 2001. Overview of Impacts, Adaptation, and Vulnerability to Climate Change pp 75-103. In: *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, (McCarthy, J. J., Canziani, O., Leary, N. A., Dokken, D. J. and White, K. S. eds.) Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press.

3 <http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/NEWS/0,,contentMDK:21035991~pagePK:34370~piPK:34424~theSitePK:4607,00.html>

# Desarrollo de capacidad institucional adaptativa, lucha contra la sequía y servicios ecosistémicos en el norte del Uruguay

## *Development of adaptive institutional capacity, fight against drought and ecosystem services in Northern Uruguay*

Walter Oyhançabal

Ingeniero Agrónomo. Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca e Instituto Plan Agropecuario de Uruguay. E-mail: woyha352@yahoo.com

### Resumen

La adaptación de los ecosistemas a la variabilidad y los eventos climáticos extremos puede verse como acciones a tomar para preservar la resiliencia, disminuir la vulnerabilidad y aumentar la capacidad adaptativa. El papel de las instituciones es clave en el proceso adaptativo dado que define la manera en que se relaciona la sociedad con la naturaleza. La institucionalidad debe, a su vez, también adaptarse para cumplir ese papel eficazmente. Asimismo, debe reconocerse que la capacidad adaptativa no es estática; se construye o deteriora, puede ser reactiva o anticipatoria y espontánea o planeada. El cambio climático incrementa la variabilidad y por ello aumenta los riesgos de las actividades ganaderas y hace necesario introducir nuevas estrategias de manejo relacionadas con el forraje, el agua, el suelo y la sombra, así como también, avanzar en nuevos arreglos institucionales. El flujo de información, conocimiento y tecnología es clave para manejar adecuadamente los ecosistemas y sus servicios en un marco de creciente variabilidad. De ahí la importancia de contar con un marco de políticas públicas de largo plazo—explícitamente formuladas para promover decisiones colectivas inteligentes.

El carácter local de la adaptación exige modelos de gobernanza basados en la descentralización, la participación en la toma de decisiones y la construcción de redes con nodos fuertes. Las propuestas se deben incluir en las estructuras de decisión actuales de los responsables del manejo de los ecosistemas y el riesgo, con un enfoque de “**mainstreaming**” de la adaptación. El presente artículo desarrolla elementos de marco conceptual sobre la capacidad adaptativa y refiere elementos de procesos que se desenvuelven al norte del Uruguay, en territorios ocupados por pastizales del bioma “Pampa”. Allí, el crecimiento del pasto es el servicio ecosistémico fundamental sobre el que se basa la actividad ganadera dominante. Las frecuentes sequías afectan marcadamente la producción de forraje y el desempeño animal, y tienen, por lo tanto, consecuencias socioeconómicas muy fuertes para las familias que se dedican a la actividad ganadera en estos territorios.

Palabras clave: adaptación, cambio climático, servicios ecosistémicos

### Abstract

Ecosystem adaptation to climate variability and extreme events can be seen as the actions taken to preserve resilience, reduce vulnerability and enhance adaptive capacity. The role of institutions is important to the adaptation process because it defines how society relates to nature. Institutions must, in turn, also adapt to fulfill this role effectively. We should recognize that adaptive capacity is not static; it is constructed or degraded, it can be reactive or anticipatory, spontaneous or planned. Climate change increases variability, thus increasing the risks associated with livestock activities. It makes it necessary to introduce new management strategies related to forage, water, soil, and shade, as well as to advance new institutional arrangements. The flow of information, knowledge and technology is key to adequately manage ecosystems and their services in a context of increasing variability. Hence the importance of having a long-term framework for public policies explicitly formulated to promote smart collective decisions.

Adaptation's local character requires governance models based on decentralization, participatory decision-making and building networks with strong nodes. Proposals must be included in current decision-making structures of those responsible

for managing ecosystems and risk, with a focus on “mainstreaming” adaptation. This paper develops conceptual framework elements related to adaptive capacity, and makes reference to elements of processes unfolding in Northern Uruguay, within the “Pampa” grasslands biome. There, grass yield is the essential ecosystem service that supports the dominant cattle farming activities. Frequent droughts sharply affect forage production and animal performance and, therefore, have strong socioeconomic consequences for families engaged in cattle farming in these areas.

Keywords: adaptation, climate change, ecosystem services

---

## 1. Introducción

Muchas veces se subestima el grado de dependencia que tiene la sociedad del mantenimiento de los servicios ecosistémicos. Al aumentar la variabilidad y la intensidad y frecuencia de los eventos extremos, el cambio climático puede afectar negativamente los ecosistemas y sus servicios (por ejemplo, cantidad y calidad del agua, fertilidad de suelos, biodiversidad, captura de carbono y crecimiento vegetal). La adaptación de los ecosistemas frente a la exposición a la variabilidad, y los eventos extremos, pueden verse como acciones a tomar para que no pierdan resiliencia y para que disminuyan su vulnerabilidad, aumentando la capacidad adaptativa. El papel de las instituciones es clave en el proceso adaptativo, ya que orienta las relaciones entre la sociedad y la naturaleza. Por esta razón la institucionalidad debe a su vez también adaptarse para cumplir ese papel eficazmente.

Se entiende por instituciones, según definición del Banco Mundial, “las reglas, organizaciones y normas sociales que facilitan la coordinación de la acción humana”. Adaptarse al cambio climático no es solo cuestión de adoptar mejores prácticas sino que también implica cambios en las organizaciones y en las normas.

La adaptación está asociada a la vulnerabilidad de los ecosistemas y a la capacidad adaptativa tanto de los propios ecosistemas (componente ambiental) como de las instituciones (componente humano) y de las interacciones entre ambos. Siguiendo la definición del Grupo de Trabajo II del cuarto Assessment Report del IPCC, la vulnerabilidad de un ecosistema es el grado en el cual es susceptible a, e incapaz de, dar cuenta de los efectos adversos del cambio climático. La capacidad adaptativa es la habilidad de un sistema de ajustarse al cambio climático para moderar sus daños potenciales, tomar ventaja de sus oportunidades y dar cuenta de sus consecuencias.

La capacidad adaptativa de un sistema específico es su capacidad para generar respuestas de adaptación a estímulos (positivos o negativos) del ambiente. En el caso de las instituciones, la capacidad de adaptarse a nuevos desafíos puede depender de diversos factores, como: a) dotación de recursos humanos y financieros, b) fortaleza de las organizaciones y sus relaciones, c) tecnología, d) calidad de gestión, e) capacidad de aprendizaje, y e) flujo de información y conocimiento.

La capacidad adaptativa no es estática ya que la sensibilidad de un ecosistema varía en el tiempo, en función de su estado y propiedades. O sea que la capacidad adaptativa se construye o deteriora; puede ser reactiva o anticipatoria; espontánea o planeada. Tiene además determinantes locales y otros de mayor escala.

## 2. Ecosistemas de pradera y sequías en el norte uruguayo

El Uruguay es un país de muy alta variabilidad climática—por estar situado en una región geográfica de transición, entre ambientes subtropicales y templados. La vegetación nativa dominante es el pastizal, con una rica biodiversidad que alcanza alrededor de 400 especies de gramíneas (Del Puerto 1969). La alta variabilidad de la precipitación se traduce en sucesiones de periodos desfavorables y favorables en términos de disponibilidad del recurso hídrico. Una

manera de cuantificar esta variabilidad climática es mediante el coeficiente de variación (la razón entre el desvío típico y el promedio). Estudios disponibles muestran que el punto con mayor variabilidad se ubica precisamente en el norte del Uruguay (departamento de Salto), con siete meses de alto coeficiente de variación (Caffera 2006).

El cambio climático puede impactar al Uruguay de distintas maneras. Una de las principales formas es el aumento de la ya elevada variabilidad de las precipitaciones— incluyendo una posible mayor frecuencia de eventos extremos de déficit o excesos hídricos. Existen estudios sobre tendencias históricas, como el realizado por el proyecto Evaluaciones de Impacto y Adaptación al Cambio climático (AIACC) para la región pampeana. Sin embargo los estudios sobre variabilidad histórica y futura en Uruguay deben ser profundizados.

De esta manera, el cambio climático puede representar complejos desafíos para la producción agropecuaria, debido a que las respuestas tecnológicas que se mostraron hábiles para lidiar con la variabilidad histórica (por ejemplo, en términos de reservas de forraje, reservas de agua y provisión de sombra) ya no parecen ser suficientes. Es necesario mejorar la oportunidad y confiabilidad de la información meteorológica y climática, y desarrollar estrategias de respuesta de largo plazo para asegurar un desarrollo sostenible.

En los últimos años, varios eventos de sequías severas, más o menos extendidos, han afectado al sector agropecuario, y en particular a la producción vacuna para carne y leche—en Uruguay es fuertemente dependiente de la oferta forrajera natural. En el norte del Uruguay, el 90% de las tierras ganaderas están cubiertas por pastizales naturales (DICOSE-MGAP 2008). Estos eventos y la magnitud de los daños experimentados han puesto de manifiesto la importancia estratégica de la adaptación con base en una caracterización de la variabilidad de las precipitaciones. En épocas de déficit hídrico la capacidad de carga de los pastizales puede caer dramáticamente; más del 50% según información del monitoreo sistemático de crecimiento de las pasturas que realiza el Instituto Plan Agropecuario de Uruguay. El manejo afinado de la carga animal es entonces clave para evitar la degradación de los pastizales y para la sustentabilidad socioeconómica de las explotaciones ganaderas.

Un estudio reciente (Caffera y Oyhantçabal 2009) muestra que en Uruguay la variabilidad de la lluvia mensual resulta muy importante en todos los departamentos, con valores de coeficiente de variación entre 60% y 80%. Los meses de mayor variabilidad de la lluvia durante el periodo 1948–2008 son diciembre, enero y febrero (los tres meses del verano) y abril (Figura 1). Al analizar la precipitación estacional, es importante tener presente la evapotranspiración (ETP), por cuanto las sequías, resultan normalmente de la combinación de una sostenida reducción de la lluvia y altas tasas de ETP. La mayor variabilidad de la lluvia ocurre en el verano, cuando la ETP es máxima, lo que potencia notablemente los riesgos de sequía. Esto introduce fuerte incertidumbre en la producción ganadera y aumenta su vulnerabilidad. En el Uruguay en los últimos 20 años, y más allá de episodios de sequías de corta duración, habituales en el verano, se registraron sequías particularmente fuertes y prolongadas en 1988/89, 1999/00, 2005/06 y 2008/09 (INIA-GRAS).

Asimismo, debe considerarse que en la zona norte de Uruguay predominan los suelos superficiales sobre basalto, de baja capacidad de almacenaje de agua y alta sensibilidad al déficit de precipitaciones.

Una segunda dimensión relevante es conocer la tendencia histórica del clima. El estudio de Caffera y Oyhantçabal (2009) muestra que la variabilidad no ha permanecido constante: al comparar los periodos 1954–1981 y 1981–2008, se observan aumentos importantes de la variabilidad en amplias zonas y en la mayoría de los meses. Esto implica que ha aumentado la incertidumbre para la producción ganadera. En verano (diciembre, enero y febrero) la estación de mayor temperatura y ETP (Figura 2) permite observar un fuerte aumento de la variabilidad en diciembre y enero en el norte.

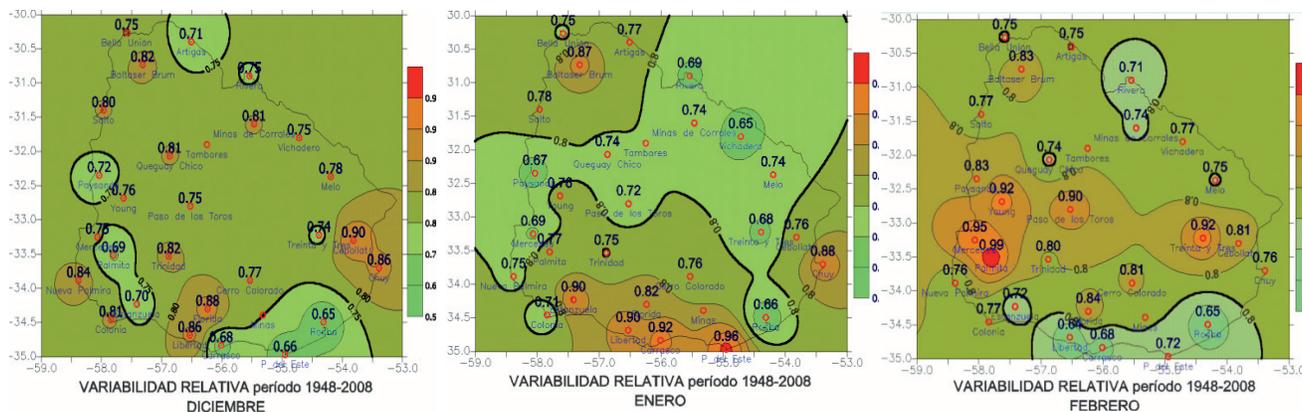


Figura 1. Coeficiente de variación de la lluvia mensual en Uruguay. Período 1948-2008 (Fuente: Caffera y Oyhançabal 2009).

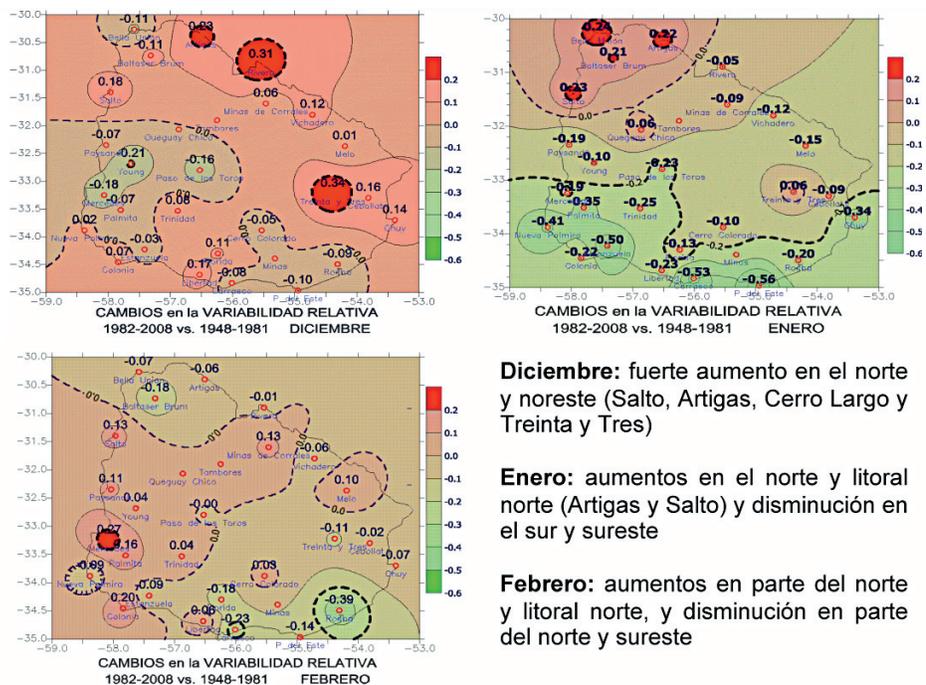


Figura 2. Cambio en la variabilidad relativa de la lluvia en Uruguay. Período 1982-2008 vs. 1948-1981.

El crecimiento del pasto es el servicio ecosistémico fundamental del bioma “Pampa” para su utilización ganadera. Las sequías afectan marcadamente la producción de forraje y el desempeño animal, y tienen, por lo tanto, consecuencias socioeconómicas muy fuertes para las familias que se dedican a la actividad ganadera. La sequía del 2008 significó pérdidas alrededor de los de 400 millones de dólares para el sector agropecuario. La mayoría de estas se experimentaron en la producción ganadera de carne y leche—según la Oficina de Programación y Política Agropecuaria (OPYPA) del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (MGAP). La suma del cambio climático a la variabilidad ya existente, aumenta los riesgos de producir en suelos superficiales y hace necesario introducir nuevas estrategias de manejo relacionadas con la carga animal, el forraje, el agua y la sombra, así como nuevos acuerdos institucionales.

Según muestran diversos estudios del Instituto Plan Agropecuario y el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, el aumento de frecuencia/intensidad del déficit hídrico produce degradación de la composición botánica del tapiz natural, aumento del porcentaje de suelo descubierto y erosión, con efectos que se extienden más allá de la reversión de la sequía. Sin un manejo adecuado de la carga animal (kilogramos de peso vivo por hectárea), la degradación del tapiz natural por sobrepastoreo puede llevar a un estado irreversible. De todas maneras, como lo muestra la experiencia del Instituto Plan Agropecuario (Marcelo Pereira, en “Familias y Campo” 2009), el campo natural sobre basalto en el norte uruguayo, por su alta biodiversidad, posee una resiliencia que las pasturas sembradas con una o pocas especies están lejos de alcanzar.

Sin embargo, guiados por los precios del ganado y la reserva de valor que representa los animales, es común que los productores del norte del Uruguay, y en particular los más jóvenes, tiendan a utilizar los campos con un exceso de carga animal, deteriorando el recurso en el largo plazo. La invasión de malezas de géneros como *Baccharis*, *Eupatorium*, *Eringium Senesio* y *Cynodon*, entre otras, es síntoma visible de procesos del tapiz natural que cuando se hace notorio ya tiene décadas de instalado (Marcelo Pereira, Instituto Plan Agropecuario, comunicación personal).

### 3. Respuestas institucionales y capacidad adaptativa

En la década de los 80 y 90 en Uruguay, como en otros países de América Latina, las políticas públicas llevaron a los productores agropecuarios a un retiro del Estado de funciones de extensión, asistencia técnica y apoyo directo y diferenciado. De esta manera, a las fallas de mercado para atender temas que tienen que ver con la sustentabilidad ambiental, se agregaron las fallas del Estado. Se puede decir que las principales limitaciones institucionales de los últimos 20 años son de cuatro tipos: (a) pobre desempeño (baja coordinación, énfasis reactivo y no proactivo, ineficiencia e ineficacia), (b) baja prioridad en la agenda pública de asignación de recursos, (c) insuficientes canales de participación local y (d) escasa investigación y difusión.

Esta situación comienza a revertirse con diversas acciones y políticas públicas. De esta manera, por ejemplo, desde 2007 el Ministerio de Agricultura impulsa un proceso de largo plazo de descentralización de la institucionalidad agropecuaria. A través de este proceso se crearon los Consejos Agropecuarios Departamentales. Estos consejos están integrados por un representante del MGAP, dos integrantes de los gobiernos departamentales (intendencias), un delegado del Instituto Nacional de Colonización y un representante de la institucionalidad de ciencia y tecnología. Adicionalmente se crearon las Mesas de Desarrollo Rural, a las que se incorporan las organizaciones de productores rurales de cada departamento. Esta institucionalidad permite la identificación más temprana de los problemas, la identificación de medidas de respuesta y facilita su instrumentación en el terreno. A continuación se presentan las respuestas institucionales a eventos extremos recientes.

#### 3.1. Las respuestas a las sequías de 2005/06 y 2008/09

La severa sequía (1988/89) generó cuantiosas pérdidas socioeconómicas en el norte de Uruguay, sin que se produjeran respuestas institucionales (OPYPA del MGAP). Sin embargo, cuando se insinuó una nueva sequía en 2005, se desarrollaron respuestas institucionales exitosas a nivel local. En el norte de Uruguay, el Instituto Plan Agropecuario, el MGAP, los gobiernos locales y unas 12 organizaciones de productores profundizaron en 2005/06, la articulación y el trabajo conjunto para instrumentar estrategias prácticas de adaptación a las sequías, beneficiando a cientos de ganaderos.

El Instituto Plan Agropecuario es la institución especializada en la extensión y la capacitación para la ganadería. Hace monitoreo regular del estado de las pasturas, las aguadas y los ganados. Este monitoreo fue clave ya que

permitió generar una alerta temprana y realizar campañas de sensibilización y recomendación de medidas prediales con base en consideraciones microeconómicas. En el nivel público se implementó en 2006 el “**Plan Ración**” para apoyar las categorías más sensibles (vacas de cría), con aportes del MGAP, pero con la particularidad de que la instrumentación de los apoyos estuvo bajo la responsabilidad de las organizaciones locales de productores para definir la distribución y el repago.

Esta sequía, adicionalmente, provocó en el MGAP, el inicio de estudios sobre variabilidad de lluvias y diseño de sistemas de seguros contra riesgos climáticos de nuevo tipo, basados en índices (OPYPA, Anuario 2007). Por su parte, el Instituto de Plan Agropecuario continuó realizando el monitoreo sistemático de pasturas y desarrolló sistemas expertos para apoyar la toma de decisión de los productores rurales en el manejo de sus ecosistemas.

En 2008/09 sobrevino una nueva sequía—la más importante de los últimos 50 años. De acuerdo con la experiencia de la sequía anterior y aprovechando la institucionalidad fortalecida por la creación de los consejos departamentales y las Mesas de Desarrollo Rural, se implementó ahora un conjunto más variado y mejor articulado de medidas: i) compra de raciones, forraje y semilla para distribuir entre pequeños productores familiares ganaderos y lecheros; ii) subsidio para apoyar la baja de la carga animal en pequeños productores ganaderos; iii) autorización de pastoreo en calles y rutas; iv) refinanciación de microcréditos y prórrogas de tributos y v) créditos para la producción de forraje.

Adicionalmente, un componente central de la estrategia, fue la realización de un vasto programa de jornadas de difusión de buenas prácticas para enfrentar la crisis forrajera en coordinación entre el Instituto Plan Agropecuario, el Ministerio de Agricultura y las organizaciones locales de productores. Los resultados e impactos de estos programas no han sido aún evaluados sistemáticamente ya que no han concluido las acciones de respuesta a la sequía cuando se finalizó este artículo.

### 3.2. Percepciones y comportamientos de los ganaderos sobre el cambio climático y las sequías

En enero de 2009 se realizó en Uruguay un estudio exploratorio, mediante una encuesta a una muestra aleatoria de productores ganaderos, con el fin de conocer sus percepciones y conductas acerca del cambio climático y la sequía (Oyhantçabal 2009, en prensa). Entre los resultados de este estudio sobre si perciben que el clima esta cambiando, el 87% de los ganaderos del norte fueron positivas y evaluaron el cambio como “mucho” (Figura 3). Por otra parte, 64% evaluó que la sequía del 2008/09 lo había afectado en forma “severa” o “muy severa”.

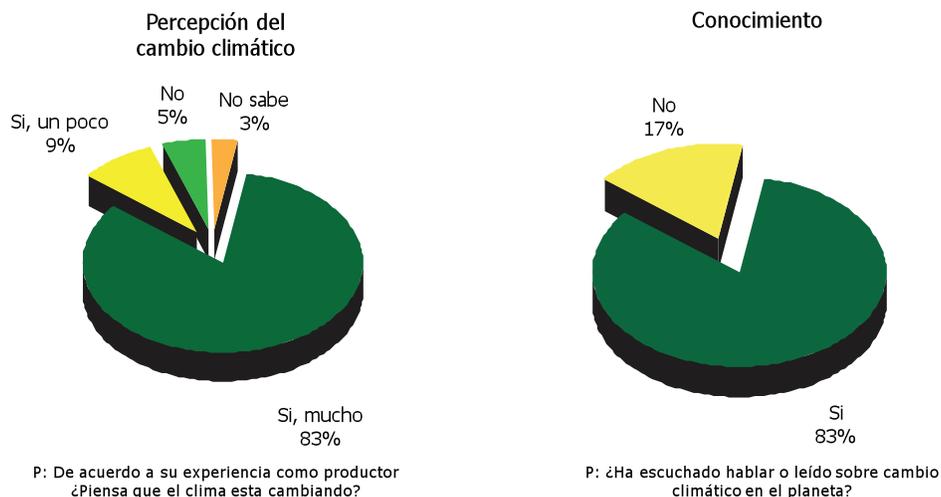


Figura 3. Percepción y conocimiento sobre el cambio climático.

En cuanto a las estrategias adoptadas por los ganaderos para enfrentar la sequía, la misma investigación reveló (Figura 4) que la reducción de la carga animal es la principal medida (adoptada por el 41%), seguida por medidas para aumentar la disponibilidad de agua (37%), suministro de forraje conservado (fardos) y ración (28% en ambos casos).

Medidas	% Afirmativo
Bajar la carga vendiendo	64
Suplementar con fardos	53
Hacer pozos o tajamares	49
Suplementar con ración o afrechillo	46
Sacar a pastoreo en otros campos	20
Sacar a pastoreo en rutas	15
Otras	16

P: ¿Cuáles de las siguientes medidas tomó?

Base: Total de entrevistados

Figura 4. Medidas para enfrentar la sequía en la ganadería uruguaya.

Por su parte, según información recogida por el Instituto Plan Agropecuario en talleres con productores ganaderos, los indicadores en que se pone atención para monitorear y declararse en situación de sequía, son el estado de las pasturas, el estado corporal del ganado, los registros de lluvia y las aguadas (Bartaburu et al. 2008).

Los datos de la encuesta muestran que se adoptaron diversas medidas a nivel de predio. Sin embargo, los datos sugieren que las medidas no estuvieron suficientemente generalizadas ya que menos de la mitad de los ganaderos declara haber tomado la decisión de ajustar la carga en función de la disponibilidad forrajera mínima esperada.

## 4. Conclusiones

El flujo de información, conocimiento y tecnología es clave para manejar adecuadamente los ecosistemas y sus servicios en un marco de creciente variabilidad.

Debe haber un marco de políticas públicas explícitamente formuladas para promover decisiones colectivas inteligentes por los interesados. En ese sentido, el Estado debería continuar fortaleciendo su rol, promoviendo el desarrollo de la capacidad institucional nacional y local para responder a los desafíos del cambio climático.

Existe entre los productores ganaderos del norte del Uruguay un conocimiento local de adaptación frente a la sequía que debe ser considerado y valorado para mejorar la intervención a todo nivel, integrándolo con el que produce la ciencia. Las encuestas y los talleres realizados verifican que existe también una alta sensibilidad en la población rural respecto a los eventos de sequía y también una clara percepción de que están ocurriendo cambios en el clima que tienen alto potencial de daño.

Asimismo, es necesario seguir profundizando la comprensión por todos los actores de cómo cambiar los procesos de toma de decisión para minimizar la vulnerabilidad al riesgo climático. Para ello es imprescindible fortalecer las actividades de capacitación y desarrollar soportes de información a escala nacional y local (información meteorológica, sistemas de alerta temprana, monitoreo de crecimiento de pasturas, menú de respuestas con base en sistemas de simulación multiagente, etc.). Se entiende que las respuestas de adaptación serán más eficaces si se estructuran de acuerdo con un enfoque que las integra en las estrategias globales de desarrollo del sector. El carácter local de la adaptación exige modelos de gobernanza basados en la descentralización, la participación de los interesados en la toma de decisiones y la construcción de redes con nodos fuertes.

En los ecosistemas de pastizales de la región norte del Uruguay, tomando en cuenta la información disponible sobre variabilidad presente, sus tendencias históricas y las conclusiones del cuarto reporte del IPCC, lo más recomendable será profundizar las estrategias de adaptación a escenarios de incremento en la variabilidad y en la frecuencia e intensidad de eventos extremos, concentrándose en mejorar la capacidad de anticipación, la prevención y la capacidad institucional de actuar ante emergencias.

## Agradecimientos

El autor agradece la información aportada por Danilo Bartaburu, Hermes Morales, Marcelo Pereira, Mario Caffera y Raffaele Vignola. También agradece a Celia Martínez Alonso y al proyecto Tropical Forests and Climate Change Adaptation (TroFCCA).

## Bibliografía

- Bartaburu, D., Duarte, E., Montes, E., Pereira, M., Morales, H. 2008. La adaptación de los productores ganaderos a los cambios climáticos en el norte uruguayo: Aplicación de una metodología participativa para mejorar la adaptación a las sequías de productores lecheros. 10º Congreso Panamericano de la Leche.
- Bartaburu, D., Duarte, E., Montes, E. 2008. Proyecto Integrando Conocimientos: Aprendiendo de la sequía, estrategias diferentes para enfrentar la sequía. Revista del Plan Agropecuario. Montevideo.
- Caffera, M., Oyhançabal, W. 2009. Cambios en la variabilidad de la precipitación sobre Uruguay: nuevas contribuciones. II Semana de Reflexión sobre el Cambio Climático. Facultad de Agronomía del Uruguay.
- Caffera, M. 2006. Variación de largo periodo en la disponibilidad potencial de agua para pasturas en Uruguay. Tesis doctoral. Universidad de Buenos Aires.
- Carámbula M. Pasturas naturales mejoradas. Hemisferio Sur.
- Corkal D., Diaz H., Gauthier D. 2005. Governance and adaptation to climate change: the cases of Chile and Canada. IACC.
- Del Puerto, O. 1969. Hierbas del Uruguay. Nuestra Tierra. V.19. Montevideo, Uruguay.
- DICOSE-MGAP. 2008. Uruguay. Declaración Jurada de semovientes y uso de la tierra. Instituto Plan Agropecuario. 2009. Familias y Campo. Montevideo, Uruguay.
- Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC). 2007. Cuarto Reporte de Evaluación.
- Locatelli B., Vignola R. 2009. Managing watershed services of tropical forests and plantations: Can meta-analyses help? *Forest Ecology and Management* 258 (9), 1864-1870. doi:10.1016/j.foreco.2009.01.015
- Morales H., Correa P., Noboa A., Salvarrey L. 2003. Knowing the strategies of the livestock farmers of the NW of Uruguay. In: Proceedings of the VIIth International Rangelands Congress. Editors: N. Allsopp, A.R. Palmer, S.J. Milton, K.P. Kirkman, G.I.H. Kerley, C.R. Hurt, C.J. Brown Durban, South Africa 26th July-1st August 2003. pp 1857-1859.
- OPYPA, 2006, 2007 y 2008. Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca del Uruguay. Anuarios.
- Oyhançabal, W. 2009. Estudio de percepciones y conductas de los productores ganaderos en relación al cambio climático (en prensa).
- Oyhançabal, W. 2007. La imprescindible adaptación del sector agropecuario uruguayo al cambio climático. Anuario de OPYPA.
- Wittrock, V. et al. 2006. Vulnerability of Prairie Communities' Water Supply During the 2001 & 2002 Droughts: A Case Study of Cabri and Stewart Valley, Saskatchewan". Saskatchewan Research Council.
- UNDP. 2005. Adaptation Policy Frameworks for Climate Change.

# Estrategias de comunicación para la adaptación al cambio climático

## *Communication strategies for adaptation to climate change*

Arturo Curiel Ballesteros<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Vicepresident for the Mesoamerican Region of the Committee for Education and Communication, the International Union for Conservation of Nature. Director, Institute for Environment and Human Communities, Universidad de Guadalajara, Km 15.5 carretera Guadalajara-Nogales, Las Agujas Zapopan Jalisco. CP 45110. Apartado Postal 52-29. E-mail: arturoc@redudg.udg.mx

### Resumen

Varios son los retos por considerar en la comunicación para la adaptación al cambio climático. Uno de ellos es el de las obvias limitaciones relacionadas con las percepciones sociales que marcan los desastres asociados al cambio climático como menores, pues sus consecuencias mayores se presentan en sitios alejados y no en el lugar donde se vive.

Ante los crecientes y diversos impactos derivados del aumento de la temperatura, la adaptación se vuelve una respuesta imposterable para reducir la vulnerabilidad y el daño a la salud humana y a los ecosistemas; para ello, la comunicación no resulta suficiente pero sí imprescindible.

Algunas alternativas para implementar estrategias de acción son: comunicación de riesgos, construcción de redes sociales, implementación de acciones institucionales dirigidas hacia las fuerzas impulsoras y presiones que originan el estado del cambio climático y reducción de la exposición y los efectos dañinos en el bienestar humano. De acuerdo con evaluaciones recientes, cuando se compara a la comunicación con otras medidas de adaptación, la comunicación es la mejor acción a emprender.

Palabras clave: adaptación al cambio climático, comunicación, comunicación de riesgo, redes, vulnerabilidad

### Abstract

There are several communication challenges to consider in the adaptation to climate change. One of these is circumventing limitations related to social perceptions that label disasters associated with climate change as being minor, and its major consequences occurring in faraway places and not where one lives.

Given the growing and diverse impacts resulting from increasing temperature, adaptation becomes an urgent response for reducing the vulnerability and damages to human health and ecosystems; in this context, communication is not enough, it is required.

Some alternatives from which to implement action strategies are: risk communication, building social networks, implementing institutional measures towards driving forces and pressures that cause the state of climate change, and reducing the exposure and effects of damage on human welfare. According to recent assessments, when compared to other adaptation measures, communication is the best course of action.

Keywords: adaptation to climate change, communication, risk communication, networks, vulnerability

### Introducción

La complejidad que representa abordar al cambio climático como tema de investigación y comunicación, no tiene un antecedente en la historia de la humanidad. Nunca antes los seres humanos se habían enfrentado al hecho

de una afectación al sistema global de la atmósfera, no solo en cobertura, sino en las múltiples consecuencias a futuro derivadas del uso de tecnologías que sólo habían mostrado presiones y deterioros locales, exposiciones y efectos a las que se requería pensar globalmente y actuar localmente. Ahora los problemas muestran un nuevo rostro del impacto del crecimiento poblacional, consumo y tecnologías, que ha originado la modificación de la atmósfera a nivel planetario la cual implica pensar y actuar globalmente.

Ya no está a discusión si el cambio climático es real y provocado por actividades humanas, ni tampoco sobre cuáles pueden ser los mejores criterios de mitigación de los gases de efecto de invernadero; lo que todavía está en construcción, es sobre cómo actuar para reducir los efectos de éste cambio, o cómo afrontar los riesgos del cambio climático y sus consecuencias en el bienestar de la población, su patrimonio y los servicios de los ecosistemas. En este contexto, la comunicación se vuelve un bastión estratégico para la humanidad.

## **El peor de los desastres**

Dentro de los desastres naturales, el que causó las mayores muertes de seres humanos en el siglo XX fue la falta de agua; lo que evidencia una alta vulnerabilidad a ésta amenaza. Las sequías mataron a millones de personas en China, Bangladesh, India y la antigua Unión Soviética. Donde fallecieron menos fue en el continente americano, seguramente por eso los mesoamericanos no han asumido que la sequía es la mayor catástrofe en el planeta. El segundo tipo de desastres hidrometeorológicos que ha cobrado vidas humanas es el exceso de agua. Las inundaciones durante el siglo XX han afectado principalmente al continente asiático. De los 10 sucesos más desastrosos, siete fueron en China y los otros tres en Guatemala, Venezuela y Bangladesh. Otro desastre son los huracanes—donde Asia también se ubica en los primeros lugares en muertes. En el caso de América, Honduras se encuentra en la lista de los más afectados.

Todas estas evidencias indican que la humanidad viene sufriendo los efectos de eventos extremos hidrometeorológicos a los que el cambio climático impone nuevos retos sobre los ya existentes. Un ejemplo de ello han sido las altas temperaturas al inicio del siglo XXI que abrieron un espacio más en la lista de los grandes desastres en el planeta. India, Italia, Francia, España, Bélgica, Alemania y Portugal mostraron ser sitios de alta vulnerabilidad a las olas de calor, sumando más de 80.000 muertes en un solo año (CRED, 2007).

El IPCC (2007) en su cuarta evaluación considera que a nivel global los huracanes serán más intensos, con mayor cantidad de lluvia y mayores velocidades de viento. Además, las ondas de calor serán más frecuentes. Más aún, se considera muy probable que los recursos hídricos disminuyan entre el 10% y 30% en latitudes medias y en el trópico húmedo. Los ecosistemas experimentarán reducciones en la biodiversidad. En la producción de alimentos se tendrán disminuciones al volverse los temporales más erráticos y secos, aumentando la salinización y desertificación de las tierras agrícolas. Es decir, todos los fenómenos hidrometeorológicos que ocasionaron desastres en los últimos cien años, posiblemente se verán intensificados en el siglo XXI como consecuencia del cambio climático.

## **La adaptación como forma de reducir el riesgo**

Cuando se analiza cómo intervenir para reducir un determinado riesgo, se reconoce que el nivel de daño resulta de la presencia de una amenaza, la exposición a ésta y la vulnerabilidad que tengan las personas, las poblaciones, la infraestructura o los ecosistemas. Al reducir alguno de ellos (amenaza, exposición o vulnerabilidad), se disminuye el riesgo y las pérdidas. Reducir la amenaza al cambio climático es actuar en la mitigación, aportando

menos gases de efecto invernadero a la atmósfera o capturando los que ya están en ella. Reducir la exposición puede tener diversas expresiones, dependiendo, por ejemplo, si es a altas temperaturas, a una prolongada sequía o a un intenso huracán. En los casos anteriores la comunicación es una estrategia insustituible para reducir la exposición y la vulnerabilidad.

La adaptación es la capacidad de ajuste para amortiguar posibles daños, aprovechar las oportunidades o afrontar las consecuencias, reducir la vulnerabilidad y aumentar la resiliencia de los sistemas naturales y humanos. La adaptación implica un ajuste de los sistemas humanos a cambios de las condiciones climáticas, con la meta de reducir la vulnerabilidad futura. En la adaptación se pueden involucrar transformaciones en tecnología, educación, comportamiento, política pública e infraestructura. Es un proceso que no se concentra en un único sector sino que es diversa y multisectorial, porque los impactos variarán de acuerdo a la capacidad de la sociedad para prepararse y responder al cambio climático (Altamirano 2008).

## Limitantes a considerar en la comunicación para la adaptación

Los objetivos de la comunicación para la adaptación se mencionan a continuación: generar conocimiento público; generar valores y motivaciones (comunicación para la sensibilización); generar aptitudes (comunicación para adopción de técnicas) y generar conductas y comportamientos (comunicación para la participación). Sin embargo, lo anterior no resulta ser una fácil tarea, pues hay que considerar varias limitantes que obstaculizan una comunicación efectiva.

### Limitante 1. La sociedad no percibe el cambio climático como un problema de importancia

La sociedad en Mesoamérica no tiene identificado como prioridad el cambio climático. En la Tabla 1 se presentan evaluaciones hechas con diversos actores sociales en México, donde se observa que problemas como la contaminación, la pérdida de superficie de bosques por cambio de uso de suelo, el crecimiento poblacional, la pobreza y la degradación de recursos naturales son problemas visibles para la mayoría de las personas. Otros problemas, tales como el cambio climático, sus causas y consecuencias, no son percibidos con la misma prioridad.

Tabla 1. Problemas percibidos como prioritarios y no prioritarios por la sociedad mexicana (Curiel y Garibay 2006).

Problemas percibidos como muy prioritarios	Problemas percibidos como de baja prioridad	Problemas percibidos como no prioritarios
Excesivo uso de agroquímicos	Aguas residuales industriales y urbanas	Alto consumo de energía
Alta tasa de crecimiento demográfico	Residuos contaminantes	Sobrepastoreo
Cambio de uso del suelo	Alta concentración de población en zonas urbanas	Amenazas naturales
Erosión	Marginación socioeconómica	Extracción de agua
Contaminación del agua subterránea y superficial	Monoproducción	Sequía
Falta de integración social	Inaccesibilidad terrestre	Cambio climático
Insuficiente cobertura educativa	Pérdida de la fertilidad del suelo	

Resultados semejantes obtuvo la Comisión de Educación y Comunicación de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza al realizar en 2005 una priorización de los problemas en la región de Mesoamérica (Tabla 2).

Tabla 2. Jerarquización realizada por expertos sobre problemas ambientales de la región Mesoamericana (García y Verduzco 2005).

PROBLEMAS	Prioridad*
Contaminación de agua superficial y subterránea	9
Falta de una gestión ambiental participativa y de largo plazo	8
Cambio de uso de suelo y pérdida de biodiversidad	8
Incremento de las condiciones de pobreza	3
Incremento insostenible de consumo de energía y recursos naturales	1
Incremento de residuos sólidos	1
Aumento del riesgo a las catástrofes y a los efectos del cambio climático	0

\* 10 valor máximo

Una explicación del por qué no se prioriza el cambio climático, la presenta Urbina en el libro *Más Allá del Cambio Climático* publicado en 2006, donde menciona cinco características de orden psicológico que complican el acercamiento al problema:

1. *La baja visibilidad del cambio global*: los umbrales no son fáciles de detectar y por lo tanto no pueden procesarse directamente en la percepción humana. La percepción no es entonces un asunto de psicofísica sino de comunicación apropiada del fenómeno.
2. *La extrema dilación en mostrar la relación causa-efecto*: es extremadamente largo el rango temporal para conectar las acciones humanas y sus consecuencias.
3. *La psicofísica de los eventos de baja probabilidad*: las personas tienden a subestimar la frecuencia relativa de eventos (extremos, raros), aún cuando la frecuencia absoluta se incremente.
4. *La distancia social entre actores y víctimas del cambio ambiental*: el aprendizaje social humano tiende a ser una función de la proximidad interpersonal de los participantes, mientras que el cambio ambiental opera en distancias espaciales y temporales muy grandes.
5. *El bajo índice subjetivo de costo/efectividad de la conducta protectora del ambiente*: los sujetos no perciben efectos inmediatos o importantes del cambio en su comportamiento.

## **Limitante 2. Las personas piensan que otros son los vulnerables al cambio climático**

La vulnerabilidad es definida como el nivel en el que un sistema es susceptible (incapaz de hacer frente) a los efectos adversos del cambio climático, incluida la variabilidad climática y los fenómenos extremos (IPCC 2001).

Urbina (2006) realizó una encuesta en México sobre la percepción que se tiene del nivel de vulnerabilidad ante el cambio ambiental global. Los resultados obtenidos muestran como las personas entrevistadas se perciben como las menos vulnerables y, cuanto más lejana y general es la referencia, mayor se considera la vulnerabilidad. A lo anterior se le conoce como el mito de la “invulnerabilidad personal”. Las personas tienden a creer que si llegan a darse consecuencias desastrosas, ellos estarán a salvo y otros serán los afectados. De esta forma, dejan de tomar previsiones y aumentan, sin saberlo, su propia vulnerabilidad, pues las personas más vulnerables son las que se consideran invulnerables (Urbina 2006).

Curiel y Fuentes (2008), a través de encuestas con estudiantes de universidades mexicanas, encontraron que hombres y mujeres perciben su vulnerabilidad de forma diferente. Las mujeres, a diferencia de los hombres, se perciben más vulnerables al incremento de enfermedades y al aumento de inundaciones por cambio climático.

Para enfrentar los efectos del cambio climático será necesario desarrollar nuevas capacidades preventivas y de respuesta ante los posibles impactos adversos. Éstas incluyen la generación de información y conocimiento sobre la vulnerabilidad de distintos grupos poblacionales en diversas regiones, así como de los impactos potenciales, el desarrollo de estrategias específicas y el trabajo coordinado de las distintas instancias del gobierno y la sociedad (PNUD/GEF 2005).

### **Limitante 3. La información no asegura la actuación**

No hay que confundir comunicación con información. Urbina (2006) señala que es conveniente sustituir el término “informar” por “comunicar”. Este último supone tanto un habla adecuada hacia el oyente como una escucha puntual de éste, así como el proceso inverso: que la gente común hable y los especialistas escuchen. Al ser comunicada, la información deja de ser una meta y se convierte en una herramienta. Si sólo se da información, ésta puede ayudar a percibir mejor el problema, pero no garantiza un comportamiento de actuación. En México, el 90% de la población ha tenido alguna información sobre el cambio climático, pero solo el 45% cambiaría su comportamiento para contribuir a un menor riesgo.

Kates (2006) afirma que para que una iniciativa de cambio en aspectos ambientales tenga éxito es necesario que se den cambios en los valores y las actitudes públicas, que exista una estructura de instituciones y organizaciones capaces de fomentar la acción, y que se ofrezcan soluciones prácticas a los problemas que requieren del cambio. Los valores que están ligados al cambio climático y que se deben fomentar, según describe Garibay (2001), desde la multiperspectiva del desarrollo sostenible son:

- diversidad
- compromiso con las futuras generaciones
- diálogo para establecer acuerdos y compromisos concertados
- ahorro de recursos
- amor a la naturaleza
- integración al medio
- prevención para evitar peligros y daños a la salud de las personas, su patrimonio y el medio ambiente
- limpieza en el entorno que habitamos
- solidaridad, ayuda, unión, apoyo hacia las causas o proyectos de otros
- honestidad para decir la verdad y no poner en peligro a los demás
- respeto a la vida
- conservación de ecosistemas y cooperación entre diferentes sectores de la sociedad

Por lo general, una mayor información no genera acciones en temas de importancia social (Dunwoody 2006; Rabkin y Gershon 2006) y es posible que la información y el entendimiento se conviertan en sustitutos de la acción, pues la gente considera que ha “hecho algo” simplemente al aprender sobre el problema (Urbina 2008). Frits Hesselink (1999) identifica 10 errores frecuentes que deben evitarse en la comunicación:

- comunicación sin un análisis adecuado del problema
- comunicación sin investigación adecuada sobre con quién se debe de trabajar

- sin objetivos definidos
- con metas poco realistas
- sin presupuestos realistas
- marcos temporales y de planificación inapropiados
- inadecuados indicadores de evaluación
- metas excesivamente ambiciosas
- medios de comunicación inapropiados
- la comunicación vista como información

Con base en lo anterior, el propio autor presenta los 10 pasos para planificar la comunicación con éxito:

- análisis de la problemática y del rol de la comunicación
- selección de los grupos meta/audiencias y de los actores clave
- definición de objetivos de la comunicación
- el desarrollo de estrategia y selección de socios
- definición de los mensajes
- selección de medios de comunicación
- organización de la comunicación e información para los socios
- planificación (en términos de hitos y actividades)
- hacer un presupuesto de las actividades
- monitoreo y evaluación

Para el paso 3, el autor considera que los objetivos en comunicación pueden ser:

- *Proporcionar conocimientos*: cuando los grupos meta no están lo suficientemente informados sobre la relación entre las causas y los efectos, o información sobre las posibles soluciones.
- *Cambiar actitudes*: cuando los grupos tienen la actitud equivocada sobre el problema o sobre las posibles soluciones, el objetivo de la comunicación es cambiar esta actitud.
- *Modificar el comportamiento*: cuando los grupos se comportan de una manera que pone en peligro a grupos vulnerables, entonces el objetivo de la comunicación es detener o cambiar ese comportamiento.

## La comunicación de riesgos como vía de adaptación al cambio climático

El cambio climático es un riesgo para la vida del planeta, y si bien se identifican algunos posibles beneficios, los daños esperados son mayores. De ahí que una estrategia de comunicación acerca del riesgo puede resultar fundamental para mejorar la capacidad de adaptación. Una estrategia de comunicación incluye dispositivos de diseño para interpelar la dinámica social, la prevención y la búsqueda de alternativas de atención con especial énfasis en el nivel individual, familiar y comunitario. (Massoni, 2008). De acuerdo con Covello, Slovic y von Winterfeld (1986), la comunicación de riesgo tiene cuatro objetivos principales:

1. **Informar y educar** a la gente acerca del riesgo y la evaluación de riesgo en general
2. Fomentar en las personas comportamientos para disminuir los riesgos
3. Proveer dirección y guías de comportamiento en desastres y emergencias
4. Incluir al público en la toma de decisiones sobre el manejo de riesgo y en la solución de controversias de salud, de seguridad y ambientales

Se reconocen al menos cinco enfoques para abordar la comunicación de riesgos y sus componentes:

1. *Los modelos mentales.* Las personas operan cognitivamente con modelos que les permiten entender, explicar y hacer previsiones sobre un sistema o fenómeno natural (Moreira y Rodríguez, 2002). Son modelos necesarios para explicar las maneras en las que las personas razonan, hacen inferencias, comprenden lo que otros hablan y entienden el mundo. Para comunicarse con la población debe entenderse cómo piensa ésta. De lo contrario, fallarán los mensajes que no se dirigen a las preocupaciones o creencias de una población clave.
2. *Comunicación de crisis.* Las primeras horas de una crisis se caracterizan por la escasez de información y la poca fiabilidad de los datos. Debe informarse sobre lo que se sabe y sobre lo que se está haciendo para responder a la situación. No se deben realizar hipótesis que no tengan respaldo de datos. Ante rumores o informaciones erróneas hay que responder rápida y ponderadamente (Burson-Marsteller, 2007).
3. *Comunicación para la convergencia.* Entre sus características más sobresalientes es que los procesos son interactivos, promueven la participación popular en todos los niveles. También son endógenos, es decir, la sociedad define sus valores, inquietudes y visiones de futuro. Se trata de un proceso de diálogo y debate basado en la tolerancia, el respeto, la equidad, la justicia social y la participación activa de todos. (Mattelart y Mattelart, 1997).
4. *El enfoque de los tres retos.* Consiste básicamente en atender: a) el reto del conocimiento: la población necesita poder entender la información técnica que rodea la evaluación de riesgo; b) el reto del proceso: la población necesita sentirse involucrada en el proceso de manejo del riesgo y c) el reto de las habilidades de comunicación: la población y aquellos que están comunicando el riesgo puedan hacerlo de forma efectiva (Gumucio, 2006).
5. *El enfoque de la amenaza + la indignación.* El riesgo es visto como la amenaza aunada a la indignación. Una presentación de hechos técnicos no necesariamente dará a la población la información que quiere. Se deben entender los sentimientos de la población y asegurarse que se incluya información dirigida a esos sentimientos en los mensajes de riesgo (Altamirano, 2008).

Finalmente, como cualquier programa de comunicación, éste tiene que ser evaluado. Al respecto, Covello y Allen (1988) consideran como indicadores de éxito: estar dirigido a la mayor parte de la población y/o dar especial atención a los grupos vulnerables, advertir sobre la existencia de los riesgos, crear una percepción adecuada de los riesgos y generar conductas que los eviten o reduzcan. También es importante reconocer las debilidades y fortalezas de la experiencia, considerando: calidad y comprensibilidad de la información, grado de distribución de la información, atención y respuesta del público, incremento en el conocimiento, el cambio positivo en la participación, modificación de la conducta, mejora en la condición de conflictos y reducción en las consecuencias de una conducta riesgosa (Moreno, 2003).

## **Adaptación al cambio climático con la formación de redes**

Las redes sociales reducen la vulnerabilidad de las comunidades humanas ante diversas amenazas y por lo tanto son consideradas de forma especial para la adaptación al cambio climático. La Comisión de Educación y Comunicación de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) ha diseñado un manual

para facilitar la formación de redes sociales (Hesselink et al., 2008). Estas redes se proponen como instrumentos diseñados hacia la intervención soci-ambiental en diversos escenarios. Asimismo, son consideradas como proveedoras de medios formales e informales para saber qué es lo que está ocurriendo, quién está haciendo qué y cuándo. De esta forma se ajustan las intervenciones al grupo destinatario incluyendo entre las variables a considerar sus propias expectativas. Waddell (2005), clasifica diversos tipos de redes que pueden resultar de utilidad para la actuación en materia de cambio climático:

- *Redes de conocimiento*: Aquellas cuyo objetivo es generar nuevos conocimientos, habilidades y herramientas en la red. Estas redestienen una agenda definida para la investigación.
- *Comunidades de práctica*: Integradas por personas participantes que comparten y desarrollan información, conocimientos, sabiduría y capacidades. Lo anterior requiere un diálogo profundo y un intercambio abierto; es autoorganizado y tiene una agenda común que especifica acciones conjuntas.
- *Redes de trabajo para el desarrollo de tareas*: Donde las personas pueden formar una red cuando quieren emprender una tarea específica que requiera de diversos recursos y de la coordinación de la acción.
- *Redes para el cambio social*: Un tipo de red que produce aprendizaje social y cambios entre los miembros de diferentes sectores. Los miembros son actores clave interesados en un tema. Ellos crean un diálogo profundo y formas de compartir abiertamente, llevan una coordinación colectiva y una acción sinérgica. Aquí el cambio requiere de competencias colectivas.
- *Redes de generación de cambios*: El aprendizaje social y el cambio también se producen en éste tipo de red, pero el objetivo principal es generar innovación, cambios o acciones más allá de las limitaciones de cada participante. El trabajo es realizado por los miembros de la red y otras personas, por lo que la participación es amplia. Esto también requiere de un diálogo profundo, intercambio abierto, coordinación colectiva y acción sinérgica.

## **Adaptación ante el cambio climático a nivel institucional a través de indicadores**

La estrategia de adaptación desde las instituciones, se puede evaluar siguiendo el modelo DPSEEA (por sus siglas en inglés) difundido por Corvalán et al. (2000). El modelo está diseccionado en Fuerzas Impulsoras (D), Presión (P), Estado (S), Exposición ( $E_1$ ), Efecto ( $E_2$ ) y Acción (A) para el desarrollo de indicadores, que actúan como una valiosa guía dentro de un amplio rango de situaciones (Figura 1).

Cuando se habla de comunicación ante el cambio climático se identifican acciones para cada uno de los niveles del modelo, aún cuando lo referido a la adaptación se centra en la exposición y efecto las cuales se detallan a continuación.

### **Exposición**

En la exposición, la adaptación se asocia a la necesidad de tener comunicación con cada uno de los sectores considerados como vulnerables. En Cuba, por ejemplo, se considera prioritario mejorar la capacitación a la población y otros actores del territorio sobre el plan de medidas derivado de la complejidad del fenómeno meteorológico. Se trata también de mejorar los niveles de participación de los diversos actores en los territorios para enfrentar al fenómeno de la sequía y fortalecer los sistemas locales de comunicación. En México, por su parte, se consideran como vulnerables a los agricultores (dependen exclusivamente del abasto de agua de lluvia), las personas que no están sujetos a crédito y los migrantes.

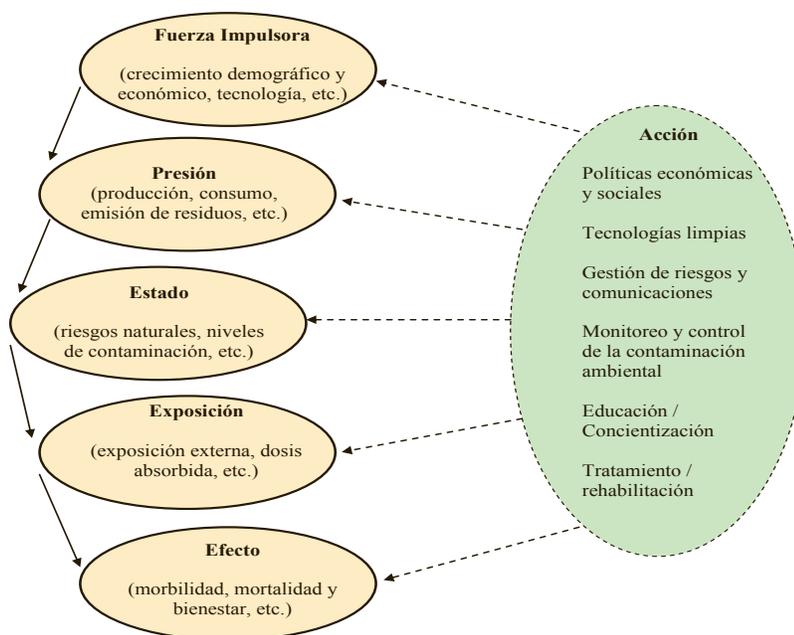


Figura 1. Modelo Fuerza Impulsora, Presión, Estado, Exposición, Efecto, Acción (Corvalán et al., 2000).

## Efecto

Se refiere a las consecuencias del cambio climático, cuya reducción es el propósito de la adaptación. A nivel de la región, la prioridad principal está relacionada al uso racional de las aguas. En Cuba, por ejemplo, se da prioridad a conocer el impacto, la vulnerabilidad y los niveles de adaptación alcanzados ante la sequía. También se considera importante realizar campañas periódicas de prevención de enfermedades vinculadas al cambio climático. En Costa Rica se presenta como acción relevante la planificación para mejorar la atención a usuarios afectados por el cambio climático. En México, se consideran como consecuencias además de las anteriores, la reducción del potencial agrícola, la creciente desertificación, inundaciones, mayor incidencia de incendios y **pérdida de** la biodiversidad.

En la actualidad, existen evaluaciones de acciones de adaptación a los impactos del cambio climático en el agua. El Instituto Nacional de Ecología de México, ha realizado evaluaciones aplicando criterios de:

- **eficacia:** ¿qué tanto la acción disminuye la vulnerabilidad futura?
- **plazo:** **¿en cuánto tiempo hay resultados?**
- **costo económico,** presente y futuro y beneficios inmediatos y futuros

Para el caso del agua se han evaluado acciones de adaptación en ciudades vulnerables a la sequía considerando como opciones: 1. Fomentar una cultura del agua a través del uso de tecnologías ahorrativas domésticas, 2. Facilitar la captura de aguas pluviales a través de pozos pequeños y 3. Promover la conservación de energía y agua a través de materiales de construcción. Los resultados se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Evaluación de acciones de adaptación en Hermosillo, Sonora, México (Altamirano 2008).

Adaptación	Eficacia	Plazo	Costo	Viabilidad
Cultura de agua	Alta	1–3 años	Bajo (recuperable por ahorros en el consumo)	Alta
Materiales de construcción	Media	20 años	Bajo (en comparación con otros materiales)	Media
Captura de agua	Alta	10 años	Bajo (depende de maquinaria disponible)	Alta o Media

En esta evaluación, la cultura del agua resulta como la mejor opción. Por ende, la comunicación aparece como la medida de adaptación prioritaria. Aún cuando en este caso se consideró una sola acción en el marco de la cultura del agua, este término es muy amplio. Ramón Vargas (2006) la considera como *el conjunto de modos y medios utilizados para la satisfacción de necesidades fundamentales relacionadas con el agua y con todo lo que dependa de ella. Incluye lo que se hace con el agua, en el agua y por el agua para ayudar a resolver la satisfacción de algunas de estas necesidades fundamentales. Se manifiesta en la lengua, en las creencias (cosmovisión, conocimientos), en los valores, en las normas y formas organizativas, en las prácticas tecnológicas y en la elaboración de objetos materiales, en las creaciones simbólicas (artísticas y no artísticas), en las relaciones de los hombres entre sí y de éstos con la naturaleza y en la forma de resolver los conflictos generados por el agua. La cultura del agua es por lo tanto, un aspecto específico de la cultura de un colectivo que comparte, entre otras cosas, una serie de creencias, de valores y de prácticas respecto de ella.*

## Conclusión

La comunicación dirigida a la adaptación al cambio climático, requiere cambios en el comportamiento humano, donde intervienen conocimientos, actitudes, valores, emociones, motivaciones y conductas. A diferencia de otros temas, el cambio climático presenta algunas dificultades a considerar al momento de elaborar un programa de comunicación. Entre otros, el cambio climático es un tema que no está percibido como de importancia, comparados con otros que son percibidos a través de los sentidos. Esta baja importancia otorgada es debida a la baja visibilidad de sus efectos, por lo que un programa de comunicación de cambio climático deberá considerar la concienciación del problema. Otra dificultad a considerar es que las personas se identifican con una baja vulnerabilidad al cambio climático. Se requiere entonces recabar evidencias locales de los riesgos ya presentes en el territorio, como los referidos a la producción de alimentos y las afectaciones a la salud.

Resulta importante no perder de vista que la concienciación o la información por sí sola, no es suficiente para garantizar un comportamiento. Por lo tanto, resulta necesario trabajar en una estrategia de comunicación que permita contribuir a mejorar la adaptación al cambio climático, considerando tres componentes: (a) la comunicación de riesgos, (b) la construcción de redes sociales y (c) la implementación de acciones institucionales hacia las fuerzas impulsoras y presiones como medidas de mitigación y, como medidas de adaptación, la reducción de exposición y efectos. Actualmente se cuentan con las primeras evaluaciones que demuestran que un programa de comunicación para la adaptación al cambio climático, puede ser la estrategia con más eficacia, de bajo costo y a plazos cortos.

## Bibliografía

- Altamirano del Carmen, M.A. 2008. Adaptación en México ante el Cambio Climático. Curso sobre Cambio Climático, Cátedra Enrique Beltrán en Conservación, Desarrollo Sustentable y Biodiversidad. Universidad de Guadalajara e INE, Guadalajara.
- Benayas J., Díaz M.J. 2009. Nuevos restos de las estrategias de Comunicación, Educación y Participación Ambiental (CEPA) para la Conservación de la Biodiversidad. Universidad Autónoma de Madrid, Madrid.
- Burson-Marsteller. 2007. Comunicación de Crisis. Burson-Marsteller, Madrid.
- Centro del Agua del Trópico Húmedo para América Latina y El Caribe. 2008. Síntesis Regional Fomento de las Capacidades para la Etapa II de Adaptación al Cambio Climático en Centroamérica, México y Cuba. CATHALAC, PNUD, GEF, Panamá.
- Corvalán C., Briggs D., Zielhuis, G. 2000. Decision Making in Environmental Health. WHO, Geneva.
- Covello, V.T., Allen, F.W. 1988. Seven Cardinal Rules of Risk Communication. OPA-87-020, U.S.EPAgency, Washington, D.C.
- Covello, V. T., von Winterfeldt, D., Slovic, P. 1986. Communicating risk information to the public. Risk Abstracts 3:1-14.
- CRED. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters. 2007. EM-DAT: the International Disaster Database. Université Catholique de Louvain, Brussels.
- Curiel, A., Garibay M.G. 2006. Limitantes al Desarrollo Sustentable en Jalisco; Marco para una agenda educativa participativa. Universidad de Guadalajara, Guadalajara.
- Curiel, A., Fuentes, A. 2008. Percepción de cambio climático con alumnos de la Universidad de Guadalajara. IMACH CUCBA, Guadalajara.
- Dunwoody, S. 2006. The challenge of trying to make a difference using media messages, in: S. Moser y L. Dilling. Creating a Climate for Change. Cambridge University Press, New York.
- García, M.L., Verduzco, B. 2005. Identificación de Ofertas y Necesidades de Formación a partir de los Problemas Reconocidos en Mesoamérica de Vinculación y Ciencia (6) 19. Universidad de Guadalajara, Guadalajara.
- Garibay, M.G. 2001. Valores y Percepción de una Comunidad Universitaria hacia el Riesgo Ambiental Local. Tesis para la obtención del grado de doctora en psicología de la Salud. Universidad de Guadalajara, Guadalajara.
- Gumucio A. 2006. Tiempo de milagros: Tres retos de la comunicación para el cambio social. Ponencia para el Seminario “Sin comunicación no hay desarrollo” Lima, 24 al 26 agosto de 2006.
- Hesselink, F. 1999. La comunicación sobre la conservación de la naturaleza. 10 errores frecuentes, en Heras, F. y González, M. (coords.) 30 Reflexiones sobre Educación Ambiental. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.
- Hesselink, F., Goldstain, W., Van Kempen M. P., Garnett T., Dala J. 2007. La Comunicación, Educación y Conciencia Pública (CEPA). Una caja de herramientas para personas que coordinan las Estrategias Nacionales de Biodiversidad y los Planes de Acción. UICN, Montreal.
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. 2001. Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, New York
- IPCC. 2007a. Summary for Policymakers, in: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, New York.
- IPCC. 2007b. Summary for Policymakers, in: Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, New York.
- IPCC. 2007c. Summary for Policymakers, in: Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Cambridge University Press, New York.
- Kates, R. 2006. Foreword, in: S. Moser y L. Dilling. Creating a Climate for Change. Cambridge University Press, New York.
- Massoni, S. 2008. Comunicación y desarrollo; Encuentros en la diversidad, en: Grises de la extensión, la comunicación y el desarrollo. Ricardo Thornton y Gustavo Cimadevilla ed. INTA-UNRC, Buenos Aires.
- Mattelart A., Mattelart, M. 1997. Historia de las teorías de la comunicación. Paidós, Barcelona.
- Moreira, M., Rodríguez M. 2002. Modelos mentales y modelos conceptuales en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias. Pesquisa em Educaçao em Ciências 2 (3), 36-56.
- Moreno, A. R. 2003. La comunicación de riesgos en salud y ambiente. RESPYN, OPS. México.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo-Global Environment Facility (PNUD/GEF). 2005. Marco de Políticas de Adaptación. Desarrollando Estrategias, Políticas y Medidas. PNUD, Nueva York.
- Rabkin, S., Gershon, D. 2006. Changing the world one household at a time: Portland's 30-day program to loose 5,000 pounds, in: S. Moser y L. Dilling. Creating a Climate for Change.: Cambridge University Press, New York.
- Urbina, J. 2006. Dimensiones psicológicas del cambio ambiental global, en: J. Urbina y J. Martínez. Más allá del cambio climático: las dimensiones psicológicas del cambio ambiental global. INE-SEMARNAT-Facultad de Psicología, UNAM. México.
- Urbina, J. 2008. Contribución de la psicología en el afrontamiento del cambio climático. Curso sobre Cambio Climático Cátedra Enrique Beltrán en Conservación, Desarrollo Sustentable y Biodiversidad. Universidad de Guadalajara e INE, Guadalajara.
- Vargas, R. 2006. La cultura del agua: lecciones de la América Indígena. UNESCO, Montevideo.
- Waddell, S. 2005. Aprendizaje social y cambio. Cómo los gobiernos, las empresas y la sociedad civil, crean soluciones para problemas complejos de multi-sectores. Greenleaf, Sheffield.

# Financiamiento de la adaptación: propuestas y retos éticos y metodológicos relevantes para la adaptación basada en los ecosistemas

## *Financing adaptation: proposals and ethical challenges relevant to ecosystem-based adaptation*

Pascal O. Girot<sup>1</sup>, Raffaele Vignola<sup>2</sup>

<sup>1</sup>UICN-Mesoamérica. E-mail: pascal.girot@iucn.org

<sup>2</sup>Programa Cambio Climático (CATIE)

“...a la vista de un futuro abierto e incierto el cálculo del riesgo permite al Estado institucionalizar una promesa de seguridad mediante la aplicación universal de estadísticas o del principio de intercambio “dinero por destrucción”. Ulrich Beck

## Resumen

La mayoría de los países en desarrollo, cuyas economías dependen fuertemente de sus recursos naturales, están muy expuestos a los efectos del cambio climático y ya están siendo afectados por fenómenos asociados a extremos climáticos como inundaciones y sequías. El creciente debate sobre la urgencia de tomar acciones para adaptarse ante los efectos adversos del cambio climático, plantea la problemática de cómo se van a financiar estas medidas de adaptación. En este artículo se investigan las opciones de financiamiento que existen para la adaptación, a través de la investigación de mecanismos institucionales necesarios. Dichos mecanismos deben ser legítimos y representativos de las acciones prioritarias que se identifiquen a diferentes escalas.

De esta primera aproximación, es evidente el desfase entre las estimaciones de daños y las pérdidas por efecto del cambio climático y los recursos actualmente disponibles para financiar la adaptación. En efecto, los daños calculados que se atribuyen al cambio climático representan decenas de billones de dólares (US\$) mientras que actualmente los fondos disponibles son centenares de millones de dólares (US\$).

En este artículo se describen los desafíos metodológicos que se presentan al momento de estimar el costo de la adaptación. Además, se introducen las estimaciones de costos para cubrir la adaptación. Estas estimaciones han sido elaboradas por diferentes entidades como evidencia de la gran incertidumbre que caracteriza estas proyecciones de daños y pérdidas potenciales. Finalmente, se presentan los mecanismos de recaudación y redistribución que han sido propuestos o que ya están en marcha, tales como el fondo de adaptación derivado del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) bajo el Protocolo de Kioto de la UNFCCC.

Asimismo, se refiere al debate ético que subyace el tema del financiamiento para la adaptación, ya que muchos países en desarrollo lo perciben como un impuesto adicional. Esto obliga a repensar la arquitectura del mecanismo de financiamiento para la adaptación, de manera que permita combinar y complementar Fondos de Ayuda Oficial al Desarrollo (FAD), con fondos multilaterales ambientales como los del *Global Environment Facility* (GEF), con recursos propios de los países. Siendo la adaptación ante todo un problema de desarrollo, es necesario centrar la discusión en torno a las prioridades de inversión pública y privada, y la capacidad de conjugar fuentes de financiamiento de origen doméstica con fuentes bilaterales y multilaterales.

En este artículo queda claro que el tema del financiamiento de la adaptación presenta todavía desafíos grandes a la comunidad internacional, no sólo debido a la incertidumbre de las estimaciones, sino también por la definición de legitimidad de los mecanismos (que definen prioridades de acción y distribución de fondos) y por la aplicación de los principios internacionales de solidaridad y responsabilidad histórica que están en el centro de las actuales negociaciones multilaterales bajo la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC).

Palabras clave: costo de adaptación, mecanismos financieros, negociaciones internacionales

## Abstract

The majority of developing countries, whose economies depend strongly on natural resources, are seriously exposed to the effects of climate change and are being affected by extreme climate phenomena as floodings and droughts. The growing debate over the urgency to take action and adapt to climate change also prompts a debate on how adaptation responses are to be financed. This article explores existing options to finance adaptation, presenting the institutional mechanisms required to be legitimate and representative of the priority actions identified at different scales.

It is clear from our review that there is a large gap between the estimated damages and losses and the resources currently available to finance adaptation. The calculated damages attributable to climate change sum tens of billions of dollars (US\$) while available funding is currently in the order of hundreds of millions of dollars (US\$).

In this article, we briefly present the methodological challenges in estimating adaptation costs. Moreover, we present cost estimates that different stakeholders have elaborated, thus showing the large methodology-related uncertainties of these estimations of projected damages and potential losses. Finally, we present the institutional funding mechanisms that have been proposed or are already approved, for instance, the adaptation fund originated in the Clean Development Mechanism (CDM) under the UNFCCC Kyoto Protocol.

At the same time, we report the ethical debate that adaptation funding poses to the international community since developing countries perceive damages from climate events as an additional tax. This forces to rethink the international funding architecture for adaptation. For example, this architecture could provide measures on how to combine Official Development Assistance, multilateral environmental funds as the GEF, and internal resources of the developing countries. Since adaptation is strictly linked to development issues, it is necessary to discuss the priorities of public and private investments, and the capacity to coordinate fundings from different sources (i.e. domestic, bilateral or multilateral).

The review of this article makes it clear that adaptation funding is challenging the international community not only for the uncertainties of estimations but also for the definition of a legitimate mechanism and for the application of principles such as international solidarity and historical responsibilities that are at the core of the current multilateral negotiations of the UNFCCC.

Keywords: adaptation cost, financial mechanisms, international negotiations.

---

## 1. Introducción

El actual discurso mediático sobre el cambio climático ha incidido en la concientización del público sobre los impactos futuros que pueden afectar la vida en la tierra. Con el Cuarto Informe del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático en 2007, se estableció la cuota de responsabilidad de la humanidad por el calentamiento global. Sin embargo, todavía se está dimensionando la magnitud de los impactos del cambio climático aunque ya, para finales del siglo XXI, se estiman importantes daños causados por escasez de agua, reducción de rendimientos agrícolas, salinización de acuíferos y el retroceso de glaciares. Se han estimado impactos enormes en las economías de todos los países del mundo, sin embargo, la movilización de fondos para financiar la adaptación sigue siendo muy baja.

La mayor parte de los daños provocados por el cambio climático se distribuirán entre los países en desarrollo con requerimiento de fondos—de acuerdo a las estimaciones del Banco Mundial son de alrededor de US\$40 mil millones por año. La mayor parte de las estimaciones pueden considerarse subestimaciones ya que no toman en cuenta el rol que el manejo de los ecosistemas y sus servicios juega, especialmente para los países fuertemente dependientes de sus recursos naturales (Ash et al. 2009; Vignola et al. 2009). Este vacío se debe a las enormes dificultades para obtener estimaciones robustas (Parry et al. 2009b) de costos. Por otro lado, los recursos financieros e institucionales actualmente disponibles para la adaptación son insuficientes, mientras que la comunidad internacional es presionada a tomar decisiones rápidamente.

Este ensayo busca esclarecer el debate ético, los aspectos metodológicos y su relevancia para la gestión de los ecosistemas y sus servicios en las negociaciones que la CMNUCC enfrenta hacia la Conferencia de las

Partes (COP15) de Copenhague. Para eso, se abordan preguntas sobre cómo se va financiar la adaptación, qué figuras institucionales podría fomentar una financiación adecuada para la adaptación y qué aspectos deberían considerarse para operativizar la inversión necesaria en adaptación.

## 1. El dilema ético de la adaptación al cambio climático

### 1.1 Qui n causa el cambio climático?

Si bien no se sabe con certeza cuán dañino es el cambio climático en términos económicos, se tiene la seguridad de que el modelo de desarrollo—caracterizado por una distribución inadecuada de los recursos y por las grandes emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) de los países más ricos y de los países emergentes como Brasil, India y China—es una causa importante. No obstante, la definición de las responsabilidades y, por ende, de las partes que deben financiar la adaptación, es parte de un debate fuertemente ético y político en la comunidad internacional. De hecho, como evidencia, el texto de la CMNUCC especifica que existen “*responsabilidades comunes pero diferenciadas*” entre los países del mundo que implican, como sugieren algunos autores, que la distribución de los costos de adaptación debería ser sustentada en los principios de *deontología* (por ejemplo, responsabilidad histórica), *solidaridad* (por ejemplo, relacionado a los derechos humanos) y *consecuencialismo* (por ejemplo, capacidad de contribución financiera) (Dellink et al. 2009).

### 1.2 Qui n sufre las consecuencias?

La contribución relativa en las emisiones muestra una marcada diferenciación entre grupos de países desarrollados. Por un lado, están las economías emergentes, entre las cuales figuran el grupo Brasil, India, China y Sudáfrica (BRICS) y, por otro lado, todos los demás países. Sin embargo, la gravedad de los impactos se distribuirá principalmente entre dos bloques diferenciados por capacidades financieras, tecnológicas e institucionales: los países del Anexo 1 (desarrollados) y los países No-anexo 1 (emergentes o en desarrollo).

Según el Banco Mundial el impacto económico del cambio climático en América Latina y el Caribe podría ascender entre el 0,2% y el 0,56% del producto interno bruto (PIB) regional para el 2010. Se estima que para el 2020 unas 77 millones de personas en Latinoamérica podrían enfrentar condiciones de estrés hídrico extremo. Las islas del Caribe—como Pequeños Países Insulares en Desarrollo (SIDS), —enfrentan retos entre los cuales se destacan la reducción en la disponibilidad de agua por sequías cíclicas y una mayor intensidad y frecuencia de huracanes. Muchas de las inversiones turísticas en el Caribe—un rubro económico de primera importancia—se verán también afectadas por un clima menos benigno (Banco Mundial, 2009). De hecho, las tendencias de la temperatura de la superficie del mar coinciden con la intensidad de la actividad ciclónica en el Atlántico Norte.

Los bosques lluviosos de la Amazonía se podrían reducir entre un 20%–80% si la temperatura promedio aumenta entre 2°C y 3°C. Este incremento de temperatura, reduciría las lluvias y podría iniciar un proceso de desertificación que afectaría vastas extensiones del continente suramericano. Incendios forestales, que ya afectan periódicamente a México y Centroamérica podrían incrementarse en un 60% en Suramérica con un aumento de temperatura de 3°C. Las previsiones para los sectores como la agricultura, indican que podrá haber una reducción en los rendimientos de entre el 18%–26% en Ecuador, México, Perú y Venezuela (Banco Mundial 2009). Finalmente, la degradación de los ecosistemas y de los servicios que proveen afectará principalmente a las economías que dependen de los recursos naturales, como es el caso de América Latina (MEA 2005). Los efectos serán más severos para las poblaciones rurales que, en muchos países, ya se encuentran afectadas por la pobreza estructural (Programa Estado de la Nación 2008).

## 2. El dilema de la estimación de costos de adaptación

### 2.1 Retos de la estimación

La mayor parte de los retos enfrentados por las estimaciones de los costos de adaptación son de dos tipos: metodológicos y conceptuales. Los primeros están asociados a la disponibilidad de datos y herramientas para realizar análisis consistentes. Esto es especialmente problemático en la gestión de los ecosistemas, por ser altamente complejos, con comportamientos no lineales y caracterizados por una cascada de incertidumbre que se multiplica debido a los escenarios de emisiones, a los efectos en el clima, a los efectos de eventos extremos sobre ecosistemas y la respuesta de esos a los estreses climáticos (Hulme 2005). Hablar de resiliencia resulta conceptualmente atractivo, ya que capta la noción de flexibilidad para la adaptación de sistemas, necesaria para conllevar y superar estos cambios climáticos extremos. Sin embargo, se tiende a subestimar la dificultad de medir la resiliencia de sistemas complejos como son los ecosistemas. Esta situación es inevitable y conlleva a la necesidad de enfrentar retos más conceptuales para identificar cuáles deberían ser los enfoques y prioridades para la estimación de costos de adaptación y las prioridades de financiación.

#### 2.1.1 Retos metodológicos

Los estudios de impactos y costos evidencian una serie de retos metodológicos sustanciales, empezando por los supuestos asociados a la elaboración de escenarios, como demuestran Kuik et al (2008). Por ejemplo, los supuestos son necesarios para tomar en cuenta la incertidumbre asociada a la distribución de eventos extremos, eventos sorpresa (interrupción de la corriente termohalina o el colapso de la capa de hielo del Antártico occidental). Los supuestos también son necesarios para incluir la evolución de componentes socioeconómicos, de uso de la tierra y del medio ambiente. En cuanto a la evaluación de costos, también se requieren supuestos para asumir valores monetarios futuros de bienes que en la actualidad no tienen mercados de referencia bien definidos. Este es el caso de la mayor parte de los servicios ecosistémicos.

Los vínculos entre costos de mitigación, de adaptación y de daños residuales son muy fuertes. Hay poca evidencia que separe el costo de los daños potenciales de los costos incurridos si no se implementara ninguna adaptación o si se aumentaran los esfuerzos de mitigación. De hecho, el desafío consiste en separar los costos asociados al cambio climático de los costos que se dan debido a cambios de uso de la tierra o de las condiciones socioeconómicas. De esta manera, los estudios existentes asumen diferentes objetivos de la adaptación para identificar los recursos necesarios. Por ejemplo, para el caso de la agricultura, apuntando a mantener los ingresos de los productores agrícolas o a mantener los patrones de productividad existentes. Finalmente, la estimación de los costos de adaptación para los ecosistemas y sus servicios—muy relevante para los países cuyas economías están fuertemente vinculadas a ellos—es un reto complicado por la escasa disponibilidad de un inventario que sea consistente con los flujos financieros e inversiones actuales (Smith 2008).

#### 2.1.2 Retos conceptuales relacionados con la adicionalidad del financiamiento de la adaptación

En el ámbito internacional hay un debate sustancial sobre la definición de fondos para la adaptación. Por un lado, los fondos dirigidos a los países (principalmente en desarrollo) que exigen que éstos sean adicionales a la Ayuda Oficial para el Desarrollo (AOD), y por otro lado, dirigidos a países (principalmente del Anexo 1) que asumen la adaptación como una externalidad positiva de los fondos para el desarrollo—lo que reduce la necesidad de definir fondos adicionales a la AOD (vista como aporte voluntario).

La *adicionalidad* es uno de los temas centrales de la mitigación del cambio climático. Se refiere a lo que un proyecto o una estrategia de reducción de emisiones tienen que demostrar que se agrega por encima de la línea base de emisiones. En otras palabras, identifica lo que adicionan las medidas de mitigación a lo que ya se está o

### Costos impuestos de la adaptación

Según Fankhauser (1998:18)

El cambio climático impone una variedad de costos a la sociedad. Estos se pueden dividir en dos:

- Costos impuestos de adaptación
- Daños residuales por el cambio climático que no pueden ser evitados por medidas de adaptación económicamente eficientes

Además, existen dos efectos indirectos:

- La reducción de daños ordinarios debido al clima debido a medidas de adaptación extendidas
- Otros costos evitados

se estaría haciendo en condiciones “normales”. Ese concepto ha sido utilizado ampliamente en el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM) para poder medir los beneficios ambientales mundiales de los proyectos que financia. El otro enfoque es con estándares de desempeño y busca partir de una normativa basada en mejorar la gestión ambiental y la reducción de emisiones por programas voluntarios.

El punto de partida de este concepto es la “conservación de bienes y servicios ambientales globales” como la regulación del clima a través de la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. De acuerdo a ese concepto los beneficios ambientales globales son obtenidos con las actividades del proyecto y los beneficios locales que se producen por el mismo. En otras palabras, en el cambio climático, el concepto de “adicionalidad” permite distinguir lo que hace o haría un país en un escenario *business as usual* y de lo que se compromete a hacer para producir beneficios globales de reducción de emisiones.

Fankhauser (1998) sugiere que el costo de la adaptación debe verse como el costo de enfrentar y reducir los riesgos climáticos a futuro, más las pérdidas residuales que vayan a suceder. Si bien las medidas de adaptación pueden permitir reducir los daños y las pérdidas por los efectos adversos del cambio climático, no pueden eliminar del todo el riesgo; de ahí las pérdidas residuales. En última instancia, los beneficios generados por las medidas de adaptación deberían ser mayores que el costo marginal de estas mismas (Fankhauser 1998). Sin embargo, como se expuso en la Sección 2.1.1, en la práctica resulta que el grado de incertidumbre sobre la magnitud y la frecuencia de eventos climáticos extremos es muy grande y dificulta calcular estos beneficios a ciencia cierta. Adicionalmente, referirse a beneficios globales en el caso de la adaptación es un reto más en el caso de la gestión de ecosistemas y sus servicios. En ese caso, la mayor resiliencia (*i.e.* adaptación) frente a eventos extremos, derivadas de estrategias de adaptación basadas en ecosistemas, beneficia la sociedad ante todo a escala local y nacional. Por lo tanto, interactúa estrictamente con las políticas de desarrollo establecidas en esas escalas. La UICN a nivel mundial define la adaptación basada en ecosistemas como las políticas, medidas y prácticas locales que contribuyen a mantener ecosistemas y los servicios ambientales que brindan, sobre los cuales las poblaciones locales dependen para reducir su vulnerabilidad y aumentar su resiliencia al cambio climático (IUCN 2009; Orlando et al. 2000).

¿Cómo medir entonces los efectos y beneficios de la adaptación? En la literatura relacionada a este tema, se habla de la línea de base de adaptación, que consiste en las políticas y prácticas actuales para manejar los riesgos climáticos del presente (UNDP 2005). En la CMNUCC se habla de la obligación por parte de los países No-anexo de sufragar

“todos los costos incrementales acordados”. Sobre esta línea base se proyectan las inversiones adicionales que van a tener que hacerse para reducir los daños y pérdidas por los impactos adversos del clima.

### 2.1.3 Adicionalidad del riesgo

Al concepto de “adicionalidad” de los beneficios ambientales globales le corresponde una adicionalidad del riesgo, en la cual los efectos adversos del clima superan los efectos de un clima normal. Sin embargo, no se puede reducir la configuración del riesgo climático como únicamente un factor del aumento en la amenaza ya que las condiciones de vulnerabilidad (por ejemplo, deficiencias en capacidades institucionales) y la construcción social del riesgo son factores que se conjugan con la amenaza climática para generar escenarios de riesgos. Una de las particularidades del debate en torno al cambio climático es que centra la atención sobre un incremento en la amenaza física del clima. Pocas voces señalan que el riesgo frente al cambio climático es función de las condiciones de vulnerabilidad y precariedad en la que viven millones de pobres. Pero como lo señala Beck (2008): *“La catástrofe climática (aún) no es real. Es un riesgo, una realidad amenazante, un futuro hecho presente, una anticipación provista de todos los síntomas de la inseguridad y que aspira a transformar la manera de actuar de gobiernos, de directivos de empresas, de todos los seres humanos en definitiva.”*

En otras palabras, para identificar las prioridades de financiación de la adaptación, más que entender la proyección de daños adicionales del cambio climático respecto al clima “normal”, es necesario distinguir los factores que construyen el riesgo a diario y que están relacionados con las políticas de desarrollo a nivel nacional y local. Sin embargo, conforme avanza el cambio climático, resultará difícil distinguir la adaptación al mismo, como bien lo plantea Allan Lavell: *“Claramente los cambios, medidas y mecanismos requeridos para promover una adecuada respuesta social a cambios permanentes en promedios no puede ser lo mismo que por los extremos. Como lo vemos hoy en día el primero sería objeto de adaptación y el segundo de Gestión de Riesgo (GDR). Pero en el futuro ¿cómo será? Todo será gestión de riesgo o todo será adaptación?”* (Lavell 2008). Esta confusión dificulta el cálculo de los costos “adicionales” para la adaptación, ya que debe partir de lo que la inversión pública de los países (por ejemplo, en la conservación de los ecosistemas), más la ayuda oficial al desarrollo, aportan para enfrentar condiciones de riesgos y reducir los impactos de los eventos extremos. El Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM) no ha contribuido a aclarar cómo hacer esta distinción, ni a definir cuáles son los costos adicionales para la adaptación (McGray et al. 2007). Por otro lado, el Marco de Acción de Hyogo para la Reducción de Desastres plantea (prioridad de acción 4) reducir las causas subyacentes de los desastres. Muchas de ellas tienen que ver con los procesos de desarrollo que perpetúan condiciones de riesgo social y procesos de degradación ambiental, es decir, que las convenciones multilaterales sobre el ambiente (como el CMNUCC) y los acuerdos en materia de ayuda humanitaria aspiran a incidir en políticas de desarrollo para reducir los impactos en el ambiente y el riesgo de desastres.

## 2.2 Desbalance actual entre estimaciones y disponibilidad de fondos

Si se ha logrado relativamente poco a nivel global para reducir los niveles de pobreza, con los niveles de inversión social estancados en la mayoría de los países Latinoamericanos, es difícil prever un aporte significativo de inversiones públicas y privadas para la adaptación. La mejor evidencia de esto son los escasos niveles de financiamiento disponible en organismos multilaterales como el FMAM (GEF, Global Environment Fund) que están muy por debajo de las estimaciones menos pesimistas de los costos impuestos por el cambio climático (Watkins 2007).

En ese sentido, las estimaciones de los costos de la adaptación varían considerablemente. Mientras que el Banco Mundial estimó costos para los países en desarrollo entre US\$9 y US\$41 mil millones por año; Oxfam se acercó a

los US\$50 mil millones. EL Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) señaló que para el 2015 los requerimientos financieros de la adaptación en los países en desarrollo rondarán entre los US\$86 y US\$109 mil millones por año (Watkins 2007). La CMNUCC estima para el 2030, solamente para la adaptación de los ecosistemas y sus servicios, se necesitarán incrementos anuales de inversiones y flujos financieros que oscilan entre US\$12 mil millones y US\$22 mil millones, mientras que el total de fondos requeridos pueden ser entre los US\$50 y US\$170 mil millones anuales (Parry et al. 2009a; Parry et al. 2009b).

Las ofertas actuales de fondos que pueden ser relevantes para la adaptación están repartidos en los siguientes rubros: fondo de adaptación con montos en los cientos de millones de dólares estadounidenses anuales y desde el AOD para el año 2000 un total de US\$70 mil millones (Smith 2008). A pesar de que la reducción de riesgo de desastres es un componente importante de la adaptación, actualmente los fondos proceden principalmente de la AOD (*i.e.* son fondos voluntarios y por ende inestables; Muller, 2008) y han sumado, para el periodo 1999–2003 a US\$4.6 mil millones (Bouwer y Aerts 2006).

Debido a que existen esos desbalances entre lo necesario y lo disponible, cabe preguntarse entonces: ¿Quién va a pagar la cuenta? En las próximas secciones se hace una reseña de las fuentes actuales y de propuestas de financiamiento para la adaptación.

### 3. Propuestas de mecanismos financieros para la adaptación

Como se mencionó en la Sección 1.1, el principio de **responsabilidades comunes pero diferenciadas** define que la contribución para financiar la adaptación es repartida entre los países. Sin embargo, como subraya el artículo 4.4 de la misma CMNUCC, los países desarrollados tienen la responsabilidad de asistir “*a las partes más vulnerables (i.e. los países No-anexo 1) a los efectos adversos del cambio climático para enfrentar los costos de la adaptación ante estos efectos adversos*”. Eso está fundamentado en el artículo 4.3 que reconoce que los países del Anexo 1, por sus mayores emisiones, tienen la obligación de financiar “*todos los costos incrementales acordados*” a los países en desarrollo, canalizando nuevos fondos que en principio deben ser adicionales a los que destinan como AOD (CMNUCC 1992).

Sobre estos principios se han constituido los mecanismos financieros de la CMNUCC que a continuación se detallan. En el Protocolo de Kioto (firmado en 1997 y en vigencia desde 2005), se asentó el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) sobre un complejo sistema de cálculo de la “adicionalidad” de acciones de mitigación. A partir del Plan de Acción de Bali y hasta después de 2012, las partes acordaron un proceso comprehensivo para permitir la implementación completa, efectiva y sostenida de la CMNUCC mediante acciones de cooperación de largo plazo. El Plan de Acción de Bali, le otorga igual importancia a la mitigación y a la adaptación e identifica la tecnología y el financiamiento como los mecanismos claves que permitirán a los países en desarrollo responder al cambio climático.

Sin embargo, aunque exista una mayor comprensión de los costos necesarios para lograr la reducción de emisiones, según diferentes escenarios de emisiones, no se conocen los costos reales de la adaptación, debido a que se dispone de muy poca información cuantificada sobre los mismos en los países en desarrollo y la mayoría de estudios se limitan a unos pocos sectores (zonas costeras, agua, salud). No se dispone de estudios transectoriales que analicen los efectos acumulativos y sólo unos pocos revisan las consecuencias macroeconómicas más amplias de los impactos o de la adaptación (Klein y Persson 2008). Los datos sobre posibles pérdidas y la dimensión de la catástrofe humanitaria que podría significar el cambio climático han sido objeto de publicaciones recientes, como

la del Foro Humanitario Mundial que puso en alerta esta situación, pero sin una clara metodología propuesta para explicar el origen de estas proyecciones (Global Humanitarian Forum 2009)<sup>1</sup>.

Ante esta carencia, numerosas instituciones y organizaciones de la cooperación, han lanzado sus estimaciones de los costos de la adaptación a los impactos proyectados en los países en desarrollo. Ante esta nueva incertidumbre, un acercamiento válido de parte de la CMNUCC, han sido las segundas comunicaciones nacionales, que han permitido a muchos países generar datos más fidedignos sobre los impactos esperados del cambio climático. Esto ha proporcionado a los países una oportunidad de revisar la diversidad de propuestas (como en el caso de los Planes Nacionales de Adaptación (NAPA, por sus siglas en inglés) y opciones disponibles para generar y proveer el financiamiento necesario para abordar el cambio climático.

### 3.1 Fondos de adaptación existentes bajo el CMNUCC

Aunque el mandato definido por los artículos de la CMNUCC apunta a la necesidad de establecer fondos adicionales a la AOD para la adaptación, existen posiciones encontradas. Las razones de ese debate están relacionadas al reconocimiento de que la integración del cambio climático dentro de la AOD permite abarcar muchas de las actividades necesarias para la adaptación (McGray et al. 2007). Por ejemplo, los esquemas de Pagos por Servicios Ambientales (PSA) en muchos países Latinoamericanos (Wunder et al. 2008), que ocasionalmente han sido apoyados por AOD, pueden contribuir a la adaptación si incorporaran sus beneficios de incremento de la resiliencia frente al estrés climático (Agrawala y Frankhauser 2008). Sin embargo, es comprensible la preocupación que tienen algunos países en desarrollo sobre la falta de adición e inadecuación de los fondos destinados a la adaptación. A continuación se presentan los principales fondos existentes y las propuestas actuales para fondos futuros que existen en el ámbito internacional.

#### 3.1.1 Los fondos de adaptación en el FMAM: pequeña ventana para la EBA

En las Conferencias de las Partes (COP) se definieron las prioridades y los criterios de selección para el financiamiento que el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM–GEF, por sus siglas en inglés) suministra a países elegibles para cubrir los “costos adicionales de la adaptación”. El resto de los costos deberán ser cubiertos por el país, o bien, por otros donantes bilaterales o multilaterales. A partir de la COP 7 realizada en 2001 de la CMNUCC, dos fondos de adaptación fueron creados y administrados por el FMAM:

- **El Fondo Especial de Cambio Climático (SCCF, por sus siglas en inglés)**, destinado a financiar proyectos relacionados con adaptación, especialmente en las áreas de transferencia de tecnología y creación de capacidades, energía, transporte, industria, agricultura, forestería, manejo de desechos y diversificación económica. Este fondo, establecido en 2001, es accesible para operar como un complemento de otros mecanismos de financiamiento para la adaptación.
- **El Fondo para los Países Menos Desarrollados (LDCE, por sus siglas en inglés)**, establecido para apoyar programas de trabajo de preparación de los Programas Nacionales de Adaptación (NAPAS, por sus siglas en inglés)

A inicios del 2008, US\$270 millones habían sido solicitados para la adaptación al cambio climático. De estos fondos, US\$50 millones habían sido asignados a países en desarrollo (Klein y Persson 2008). Adicionalmente

<sup>1</sup> Este estudio señala que el cambio climático cuesta 300.000 muertes al año e igualmente resalta que a nivel económico representa para el mundo costos por US\$125.000 millones de dólares anuales. Este fenómeno afecta en la actualidad a más de 300 millones de personas y sus consecuencias perjudican especialmente a los países más pobres, que sin embargo, emiten tan sólo el 1% por ciento del CO<sub>2</sub>. Las proyecciones realizadas para el año 2030 apuntan a que, de seguir así, el cambio climático será el responsable de 500.000 muertes anuales, afectará a 600 millones de personas y supondrá un costo económico anual de US\$300.000 millones de dólares.

el FMAM (GEF) está financiando, desde la entrada en vigencia del CMNUCC, las Segundas Comunicaciones Nacionales (SCN) en todos los países de América Latina y el Caribe, con la excepción de Argentina y Haití (un total de 31 países).

### 3.1.2 El Fondo de Adaptación: un subsidio cruzado entre mitigación y adaptación

El Fondo de Adaptación (FA), fue diseñado para operar bajo el Protocolo de Kioto (que hasta 2005 entró en vigencia). Fue establecido para financiar proyectos concretos en países en desarrollo relacionados a la adaptación. A diferencia de la AOD (*i.e.* fondos voluntarios sujetos al Dilema Doméstico<sup>2</sup>; Muller, 2008), el FA es un avance hacia un mecanismo que reforzaría la justicia ambiental internacional a definir contribuciones “obligatorias” por parte de los contaminadores (*i.e.* los emisores) a la adaptación (*i.e.* basado en el *polluter-pays principle*). El FA es alimentado por una combinación de fuentes. La originalidad del mecanismo es que constituye a un subsidio cruzado del creciente mercado mundial del carbono a la adaptación. El FA se financia principalmente a partir del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), con un impuesto de hasta un 2% sobre los beneficios generados por los certificados de reducción de emisiones (CER, por sus siglas en inglés) derivados de las actividades de proyectos de MDL. Este fondo representa el primer ejemplo del uso de mecanismos de mercado para generar recursos significativos para abordar el cambio climático. Los recursos son generados en el sector privado, pero son administrados por una entidad multilateral. Sin embargo, no se logró avanzar en la COP14 de Poznan, ya que la propuesta de aumentar de un 2% a un 3% el impuesto sobre los proyectos MDL para fortalecer el FA fue rechazada por los países industrializados.

El FA empezó sus operaciones después de su ratificación durante la COP14 de manera que los países en desarrollo comenzaran a tener acceso directo a los fondos (estimados entre US\$80 millones y US\$300 millones) a partir de enero de 2009. Sin embargo, el directorio no logró acordar las normas de procedimiento a seguir, ni las políticas operativas provisionales para que las partes comenzaran ya a tener acceso a los recursos del AF, por lo que el mismo todavía no está funcionando. Esta lentitud contrasta con la urgencia de financiar medidas de adaptación para contrarrestar los impactos del cambio climático. Quedan por definirse entonces mecanismos innovadores más ágiles y flexibles, identificar las prioridades estratégicas a financiar y, finalmente, definir un sistema ágil y legítimo de monitoreo de los fondos y de sus contribuciones reales a la adaptación.

## 3.2 Otras fuentes de financiamiento potencial

Ante el avance difícil de las negociaciones multilaterales en el marco del CMNUCC, surgen nuevas oportunidades de financiamiento multilateral para la adaptación, que obedecen a mecanismos financieros de una nueva generación. Entre ellas, se destacan los siguientes:

- a) **La Alianza Global para el Cambio Climático** (*The Global Climate Change Alliance*): el Fondo de la Comisión Europea (periodo 2008–2010) cuenta con €50 millones de euros y está dirigido a los países más vulnerables para que implementen medidas concretas de adaptación, reduzcan las emisiones producto de la deforestación, ayuden a los países vulnerables a tomar ventajas de los mercados de carbono globales e integren adaptación al cambio climático en la cooperación al desarrollo y en sus propias estrategias nacionales de reducción de la pobreza.
- b) **El Fondo de Inversiones para el Clima** (*The Climate Investment Fund*): fue creado bajo la sombrilla del Banco Mundial en setiembre de 2008. Diez países comprometieron un total de más de US\$6.1

2 El Dilema Doméstico es caracterizado por la dependencia que tengan las condiciones domésticas de los países desarrollados para definir su contribución voluntaria a la AOD.

mil millones al Climate Investment Fund (CIF), que incluyen un Fondo de Tecnología Limpia (Clean Technology Fund) y un Fondo Climático Estratégico (SCF, por sus siglas en inglés). De este último, surge el Fondo Piloto para Resiliencia Climática, que cuenta con US\$642,5 millones del total del presupuesto del CIF (Banco Mundial, 2009).

- c) La Comisión Europea y el Banco Mundial están discutiendo un **Mecanismo Mundial de Financiamiento para el Clima** (*Global Climate Financing Mechanism*).
- d) El **Caribbean Catastrophe Risk Insurance Facility** es una fuente de recursos multilaterales “sur-sur”, dirigida a mitigar un riesgo común más que a generar fondos: 16 países caribeños pueden recibir recursos económicos de manera rápida en caso de huracanes o terremotos. Las partes definen el nivel de cobertura que desean comprar a partir de sus niveles de exposición, así como de su capacidad de pago. Pagan una prima anual proporcional a su grado de exposición: entre US\$200 mil y US\$2 millones y pueden recibir entre US\$10 y US\$50 millones. El seguro reduce hasta en un 40% los costos por desastres para estos países.
- e) Fondos bilaterales como **The Environmental Transformation Fund** del Reino Unido, el **Cool Earth Partnership** de Japón y **The International Climate Protection Initiative** de Alemania: son fuentes de financiamiento recientes concebidas para abordar tanto la adaptación como la mitigación, que deben ser explorados.
- f) Otro fondo multilateral es el **Global Facility for Disaster Reduction and Recovery (GFDRR)**. Este es un fondo especialmente diseñado para la reducción y recuperación frente a desastres. El interés sobre el mismo radica en que es uno de los instrumentos financieros con potencial para acelerar esfuerzos internacionales para alcanzar metas definidas por la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (EIRD) (ISDR, por sus siglas en inglés). La reducción de la vulnerabilidad es central en el mandato del GFDRR, para revertir la tendencia de pérdidas crecientes en los países en desarrollo para 2015 y acelerar la implementación del Marco de Acción de Hyogo. El fondo propone una plataforma para lograr una mayor coordinación de donantes en la reducción de riesgos de desastres con el fin de contribuir a revertir tendencias crecientes en las vulnerabilidades frente a los desastres de las poblaciones e infraestructura y generar capacidades para estimular mayores inversiones en la prevención de desastres y preparación de emergencias.

#### 4. Consideraciones sobre los retos institucionales y criterios para la financiación de la adaptación

Para enfrentar el cambio climático, además de nuevos recursos, se deben promover nuevos modelos, enfoques e instituciones. Los mecanismos actuales de negociaciones multilaterales dentro de la CMNUCC representan una innovación importante dentro de los acuerdos ambientales internacionales para enfocar una fuerte discusión alrededor de del financiamiento de acciones y del debate ético. Sin embargo, los retos de la adaptación parecen exigir esfuerzos institucionales aún mayores (Parry et al. 2009) que los actuales.

Un ejemplo de lo inadecuado de los mecanismos institucionales actuales para financiar la adaptación es la experiencia de los países más vulnerables que han desarrollado sus Planes Nacionales de Adaptación (NAPA, por sus siglas en inglés) con sus listas de proyectos de adaptación y que han experimentado muy pocas inversiones

directas para reducir su vulnerabilidad. Tampoco se ha logrado armonizar planes nacionales de adaptación con las estrategias nacionales de reducción de pobreza (PRSP por sus siglas en inglés), que deberían permitir priorizar inversiones para la reducción de la vulnerabilidad ante al cambio climático (Klein y Person 2008). Esto requiere dar un seguimiento a las respuestas institucionales ante los riesgos climáticos.

Como lo ilustra la Figura 1, se pueden situar por un lado los fondos dirigidos a la reducción de la vulnerabilidad, compuestos principalmente de Ayuda Oficial al Desarrollo (AOD). Estos recursos puestos a disposición de los países en desarrollo por medio de la AOD son mayores, y se centran mayoritariamente en fondos de inversión social y estrategias para la reducción de la pobreza. En el otro extremo del espectro se encuentran los fondos especializados en enfrentar el cambio climático, esencialmente conformados por los fondos multilaterales creados bajo el CMNUCC (McGray et al. 2007).



Figura 1. Espectro de fondos disponibles para la adaptación (Basado en McGray et al. 2007).

Actualmente, los fondos multilaterales para la adaptación siguen siendo escuetos y sujetos a condiciones y a dificultades metodológicas en torno al concepto de adicionalidad. Entre la AOD y los Fondos Multilaterales de Cambio Climático hay una gama de acciones dirigidas al desarrollo de capacidades de respuesta y de gestión del riesgo climático, que en parte está cubierta por la asistencia humanitaria. Los donantes bilaterales a menudo proveen asistencia humanitaria ante situaciones de desastres, creando fondos de emergencia manejados por instancias multilaterales como la Oficina para la Coordinación de Asuntos Humanitarios de las Naciones Unidas (OCHA), European Commission of Humanitarian Aid and Civil Protection (ECHO) o el Fondo Global para la Reducción y Recuperación de los Desastres (GFDRR). Sin embargo, varios autores apuntan que esta convergencia está empezando a operar, como lo ha reclamado la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (EIRD) y se han desarrollado herramientas para integrar el cambio climático en la AOD (Eriksen et al. 2005).

Al transversalizarse el tema de la adaptación al cambio climático, muchas actividades antes referidas como Ayuda al Desarrollo, como lo son el desarrollo de capacidades, la gestión del riesgo (y no la respuesta ante emergencias)

y el ordenamiento territorial para reducir la vulnerabilidad ante el cambio climático de sectores y poblaciones, constituyen ahora parte de la gama de inversiones que podrían calificar como adaptación al cambio climático. Esto refuerza también la noción de que una mezcla de fuentes exógenas y endógenas de financiamiento permitiría diseñar políticas y medidas sostenibles en el mediano y largo plazo—fundamentales para lograr los objetivos de la adaptación al cambio climático.

Al operarse esta transversalización de la adaptación, será necesario explorar mecanismos financieros más ágiles, capaces de responder por un lado a la imperante necesidad de invertir en políticas y medidas de adaptación al cambio climático, sin dejar, por otro lado, de apoyar las políticas de inversión social y de reducción de pobreza. En efecto, una política de reducción de la vulnerabilidad, de desarrollo de capacidades locales y de empoderamiento de comunidades puede ser la mejor inversión en el marco de una política nacional de adaptación. En ese sentido, las estrategias de adaptación suave o no estructural (*soft-adaptation*) como es la planificación del territorio o el pago por servicios ambientales pueden resultar particularmente importantes para los países en desarrollo (Hallegatte y Dumas 2008).

#### **4.1 Financiamiento ex geno versus end geno**

Para lograr esta evolución del financiamiento para la adaptación se va a requerir una gama de mecanismos financieros, tanto exógenos bilaterales y multilaterales como endógenos, basados en recursos propios de los países. Sin embargo, el tema de financiamiento endógeno sigue siendo controversial, ya que muchos países en desarrollo consideran que el financiamiento de la adaptación al cambio climático es una obligación moral de los países que más contribuyen al problema por sus emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Asimismo, persiste un debate ético en torno al endeudamiento por medio de préstamos para la adaptación por parte de la banca multilateral. En última instancia, la convergencia entre políticas de adaptación y la ayuda oficial al desarrollo obligará a un mayor diálogo entre países sobre las prioridades de inversión pública y privada para reducir la vulnerabilidad ante el cambio climático.

Para operar este diálogo a nivel de políticas nacionales, será necesario en muchos países impulsar una visión que supere los límites de un enfoque sectorial centrado en los ministerios de ambiente. Esto requiere transversalizar el tema de la vulnerabilidad ante el clima en los espacios de diálogo de políticas nacionales y regionales, y al interior de políticas sectoriales no tradicionales como son los ministros de planificación y finanzas. Hay oportunidades para construir estos espacios a partir de logros como el Diálogo de Agua y Clima, por ejemplo. Esto permitiría aprovechar mejor las sinergias entre las inversiones en mitigación y los procesos de adaptación, y así ligar la reducción de emisiones por deforestación y degradación evitada (REDD, por sus siglas en inglés) con esfuerzos en curso para la reducción de desastres bajo el Marco de Acción de Hyogo. Reconociendo así el valor de los bienes y servicios de los ecosistemas dentro de las políticas fiscales nacionales permitiría definir nuevos mecanismos financieros endógenos que mejoren la calidad y el acceso a esos beneficios ambientales por parte de las poblaciones más vulnerables. También se pueden aprovechar y complementar los recursos procedentes de mecanismos novedosos como el pago por servicios ecosistémicos (Agrawala y Frankhauser 2008).

Lograr esta convergencia entre la AOD y los Fondos para la Adaptación al Cambio Climático, implica crear nuevos marcos institucionales que puedan permitir apoyarse en políticas de redistribución fiscal, mecanismos financieros innovadores y políticas que permiten vincular la gestión del riesgo, la gestión ambiental en un marco coherente de políticas de desarrollo territorial de cara al cambio climático. Esto permite además lograr una mayor correspondencia entre fuentes exógenas de financiamiento (sea ODA o fondos multilaterales) con recursos

propios de los países. Aún estamos lejos de lograrlo y, en el marco de las negociaciones bajo el CMNUCC, el tema del financiamiento para la adaptación aún es motivo de debate y contención. En el centro del debate está el tema de la “adicionalidad” y cómo se medirá la efectividad de políticas de adaptación. Esto nos obliga a reflexionar sobre cómo transversalizar el tema de la adaptación hacia la arena política interesada al desarrollo. Sólo así se podrán superar los debates estériles y avanzar para reducir los niveles de vulnerabilidad ante el cambio climático.

La revisión de los fondos disponibles para la adaptación al cambio climático confirma que todavía no hay esfuerzos suficientes. La coyuntura actual de la crisis financiera mundial ha evidenciado que las prioridades no están en la sostenibilidad del desarrollo. Más bien, la magnitud de los recursos financieros movilizados y la rapidez empleada para recuperar el sector financiero en crisis han ampliamente rebasado los fondos actualmente disponibles para enfrentar la pobreza y reducir la vulnerabilidad de las poblaciones más expuestas a los impactos del cambio climático (Klein 2009). En el marco de esa crisis, la promoción de un mayor rol del Estado Nacional en la inversión pública, el ordenamiento territorial, la generación de empleo a través de obras de interés común y una tendencia hacia una fiscalidad más progresiva puede fomentar la priorización de inversiones sociales que aumenten las capacidades de las instituciones nacionales y locales para diseñar e implementar medidas de adaptación.

Los desastres son temas no resueltos del desarrollo. Las políticas de adaptación deben ser parte integral de las políticas de desarrollo (Lavell 2004 2009). Contrariamente al concepto de *climate-proofing* que sigue centrando su análisis en el incremento de amenazas climáticas. Para definir los objetivos de la adaptación es necesario abordar los factores que generan condiciones de vulnerabilidad, así como las políticas que permiten garantizar la seguridad, el acceso adecuado a los bienes y servicios de los ecosistemas, y la calidad de vida de la población de un país. Como tal, la adaptación es ante todo una forma de desarrollo sostenible.

## 5. Conclusiones

El financiamiento de la adaptación presenta retos grandes a la comunidad internacional. Para definir estrategias de adaptación económicamente eficaces y eficientes deben superarse retos para analizar sistemas complejos de los cuales se dispone pocos datos. Adicionalmente, la necesidad de actuar con mayor urgencia presiona a la comunidad internacional a tomar decisiones en un contexto permeado de incertidumbre, tanto por parte de los mismos modelos de predicción climático como por parte de los mercados. Esto se suma a una creciente polarización en el marco de las negociaciones multilaterales en el marco de la CMNUCC, lo cual explica en parte la lentitud con la cual se han constituido los fondos y mecanismos financieros para la adaptación. Sin embargo, años de desarrollo conceptual y práctico en torno al desarrollo sostenible debería ayudar a situar las políticas y medidas de adaptación como parte de estrategias nacionales de desarrollo sostenible. Esto refuerza la tendencia de convergencia entre la Ayuda Oficial al Desarrollo (ODA) y los fondos multilaterales para la adaptación. Para poder operar ese enfoque se requiere pensar en una nueva institucionalidad ya que, como plantea el Informe Stern, el tema del cambio climático exige que su gestión vaya más allá de los ministerios de ambiente. Esto requiere superar el enfoque sectorial y centrar sus criterios de financiamiento alrededor de políticas de desarrollo territorial que permitan enfrentar mejor los efectos adversos del cambio climático. Esto requiere una evolución hacia:

- Una definición clara y universal de lo que se entiende por la “adicionalidad” en el tema de adaptación
- Una mayor convergencia entre la Ayuda Oficial al Desarrollo y los fondos multilaterales destinados a la adaptación

- Una transversalización del tema más allá de los ministerios de ambiente
- Una mayor articulación entre fuentes exógenas y endógenas de financiamiento, mediante políticas fiscales, gestión territorial e inversión pública para reducir la vulnerabilidad de sectores y poblaciones impactados por el cambio climático

Finalmente, es evidente que para fomentar esos puntos es necesario un amplio consenso político tanto entre países ricos y pobres, como dentro de los países entre gobierno y sociedad civil. Es el momento para ampliar la discusión sobre el cambio climático para incluirla en las otras agendas del desarrollo (pobreza, equidad de género, acceso a la educación y la salud). Si no se logran crear estos espacios de diálogo a futuro las posibilidades de encontrar una solución duradera a la gobernanza del clima serán limitadas. Asimismo, si se logra pactar para la creación de nuevas instituciones, y se priorizan inversiones públicas para la reducción de la vulnerabilidad ante el cambio climático, estas deberán tener los recursos financieros necesarios. Este doble reto es un tema de actualidad, y será la responsabilidad (común pero diferenciada) de todos.

## Bibliografía

- Agrawala, S., Frankhauser, S. 2008. Economic aspects of adaptation to climate change: costs, benefits and policy instruments. OECD publications, Paris, France, 138pp.
- Allan, L. 2008 Una Nota sobre Cambio y Variabilidad, Gestión de Riesgo y Adaptación: ¿Hacia donde vamos?, sin publicar.
- Ash, N., Ikkala, N., Parker, C. 2009. Ecosystem-Based Adaptation: managing ecosystems to help people to adapt to climate change. IUCN policy briefing for the fifth session of the UNFCCC Ad-Hoc Group AWG-LCA, Bonn, Germany.
- Banco Mundial, 2009. Desarrollo con menos carbono: Respuestas latinoamericanas ante el desafío del cambio climático, Washington D.C.
- Beck, U. 2008. La Sociedad del Riesgo Mundial: En busca de la seguridad perdida, Madrid: Paidós, p.127
- Bouwer, L.M., Aerts, J.C. 2006. Financing climate change adaptation. Disasters 30 (1), 49-63.
- Convenio Marco de la Naciones Unidas para el Cambio Climático, 1992.
- Dellink, R., denElzen, M., Aiking, H., Bergsma, E., Berkhout, F., Dekker, T., Gupta, J. 2009. Common-but-differentiated-reponsibilities for adaptation financing: an assessment of the contributions of countries. IVM working Paper 09/03, The Netherlands.
- Earth Negotiations Bulletin, UNFCCC, COP 14 Poznan
- Eriksen, S.E.H., Naess, L.O., Klein, R.J.T., Hammil, A., Robledo, C., O'Brien, K.L. 2005. Portfolio screening for mainstreaming adaptation to climate change, Proceedings of the conference "Climate or Development", Hamburg, Germany.
- Fankhauser, S. 1998. The Costs of Adapting to Climate Change: The GEF, Working Paper 16.
- Global Humanitarian Forum. 2009. "Human Impact Report: Climate Change – The Anatomy of a Silent Crisis".
- Hallegatte, S., Dumas, P. 2008. Adaptation to climate change: soft vs hard adaptation. OECD Expert workshop on Economic aspects of adaptation to Climate Change. Available at: [http://www.oecd.org/document/13/0,3343,en\\_2649\\_34361\\_40883149\\_1\\_1\\_1\\_1,00.html](http://www.oecd.org/document/13/0,3343,en_2649_34361_40883149_1_1_1_1,00.html)
- Hulme, P.E. 2005. Adapting to climate change: is there scope for ecological management in the face of a global threat. Journal of Applied Ecology 42, 784-794.
- Klein, R.J.T. 2009. Climate and development in time of crisis. Climate and Development 1, 3-4.
- Klein, R.J.T., Persson, A. 2008. Financing Adaptation to Climate Change : Issues and priorities European Climate Platform (ECP), ECP report No. 8
- Klein, R.J.T., Persson, A. 2008. Financing Adaptation to Climate Change : Issues and priorities European Climate Platform (ECP), ECP report No. 8
- Kuik, O., Buchner, B., Catenacci, M., Goria, A., Karakaya, E., Tol, R.S.J. 2008. Methodological aspects of recent climate change damage cost studies. The integrated Assessment Journal 8 (1), 19-40.
- Lavell, A. 2004. Local Level Risk Management: From Concept to Practice. CEPREDENAC-UNDP. Quito.
- Lavell, A. 2009. Relationships between Local and Community Disaster Risk Management & Poverty Reduction: A Preliminary Exploration. A Contribution to the 2009 ISDR Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction
- McGray, H., Hammill, A., Bradley, R. 2007. Weathering the Storm: Options from framing adaptation and development, Washington, D.C.: World Resources Institute.
- McGray, Hammill y Bradley, 2007. World Resources Institute, 35pp.
- Millennium Ecosystem Assessment (MEA). 2005. Ecosystems and human well-being: hydrological ecosystem services report. Island Press, Washington D.C., USA.

- Muller, B. 2008. International Adaptation Finance: the need for an innovative and strategic Approach. Oxford Institute for Energy Studies EV 42, UK.
- Orlando, Brett and Richard Klein. 2000. Taking the Ecosystem Approach to Climate Change Adaptation in Small Island States, Paper presented to the 2nd Alliance of Small Island States Workshop on Climate
- Parry, M., Arnell, N., Berry, P., Dodman, D., Frankhauser, S., Hop, C., Kovats, S., Nicholls, R., Satterthwaite, D., Tiffin, R., Wheeler, T. 2009. Assessing the costs of adaptation to climate change: a review of the UNFCC and other recent estimates, IIED, London, UK, 116pp.
- Parry, M., Lowe, J., Hanson, C. 2009. Overshoot, adapt and recover. *Nature* 485, 1102-1103.
- Programa Estado de la Nación (Costa Rica). 2008. Estado de la Región en Desarrollo Humano Sostenible: Un Informe desde Centroamérica y para Centroamérica.
- Smith, J.B. 2008. Estimating adaptation costs in 2030: the UNFCC study. OECD Expert Workshop on Economic aspects of adaptation to Climate Change. Available at: [http://www.oecd.org/document/13/0,3343,en\\_2649\\_34361\\_40883149\\_1\\_1\\_1\\_1,00.html](http://www.oecd.org/document/13/0,3343,en_2649_34361_40883149_1_1_1_1,00.html)
- UNDP. 2005. Adaptation Policy Frameworks for Climate Change: Developing Strategies, Policies and Measures, UNDP/GEF, Cambridge University Press
- Vignola, R., Locatelli, B., Martinez, C., Imbach, P. 2009. Ecosystem-based adaptation to climate change: what role for policy-makers, society and scientists?. *Journal of Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, In press, DOI 10.1007/s11027-009-9193-6.
- Watkins (ed.). 2007 Fighting Climate Change: Human Solidarity in a Divided World. Human Development Report 2007/2008 of the United Nations Development Programme: NY
- Wunder, S., Engel, S., Pagiola, S. 2008. Taking stock: a comparative analysis of payments for environmental services programs in developed and developing countries. *Ecological Economics* 65(4), 834-852.

# Base de datos sobre proyectos y actividades relacionadas con adaptación al cambio climático desarrolladas en América Latina y el Caribe

*Database of projects and activities related to climate change adaptation carried out in Latin America and the Caribbean*

Angela Diaz Briones<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Programa Cambio Climático, CATIE, Turrialba 7170, Costa Rica: E-mail: [angela@catie.ac.cr](mailto:angela@catie.ac.cr)

## Resumen

El artículo presenta los resultados de la elaboración de una base de proyectos y actividades relacionados con el tema “Adaptación al Cambio Climático (CC) en América Latina y el Caribe (ALC)”. El tema de adaptación al CC ha sido abordado en tres etapas, señaladas por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), las cuales se mencionan a continuación: identificar y evaluar los impactos y la vulnerabilidad de los sistemas naturales y humanos; y construir capacidades e implementar medidas de adaptación. Las dos primeras etapas fueron desarrolladas en mayor proporción y profundidad; sin embargo, se notó un desfase entre las etapas de elaboración de estudios de impacto y vulnerabilidad y la implementación de acciones. La mayoría de los proyectos tuvieron financiamiento externo del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF, por sus siglas en inglés), mediante tres líneas de apoyo [Special Climate Change Fund (SCCF), Least Developed Country Fund (LDCF) y Strategic Priority on Adaptation (SPA)] establecidas en la séptima conferencia de las partes (COP7) de la CMNUCC, en el año 2001.

Se observó que la mayoría de las actividades sobre adaptación en la región fueron asumidas a nivel nacional, aunque no se lo considera tema prioritario y recibe un trato ambiental y no de desarrollo. Esto se refleja en el nivel de financiamiento con el que cuentan las oficinas nacionales de adaptación al CC y el número de personas asignadas a trabajar este tema. A nivel nacional se deja claro la necesidad de desarrollar capacidades locales, ya que las poblaciones locales suelen ser las más afectadas por los impactos del CC. Se recalca la necesidad de bajar la escala de los escenarios climáticos para entender las particularidades de los posibles impactos del CC en cada lugar, aumentar el financiamiento para asegurar acciones locales de adaptación y aumentar la responsabilidad del estado ya que los impactos del CC son particulares en cada país.

Palabras claves: acuerdos internacionales, adaptación, América Latina, base de datos, financiamiento

## Abstract

This article shows the results of developing a database of projects and activities related to the “Adaptation to Climate Change (CC) in Latin America and the Caribbean (LAC)” topic. The issue of adaptation to climate change has been addressed in the following three stages, as outlined by the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC): identifying and assessing impacts and vulnerability of natural and human systems, capacity building, and implementing adaptation measures. The first two stages were developed to a greater extent and breadth. However, a gap was noticed between the preparation of impact and vulnerability studies, and the implementation of actions. Most projects had external financing from the Global Environment Facility (GEF), through three lines of support (Special Climate Change Fund, SCCF; Least Developed Country Fund, LDCF; and Strategic Priority on Adaptation, SPA) established during the seventh Conference of Parties (COP7) of the UNFCCC, in 2001.

Most adaptation activities in the region were adopted at a national level, although adaptation is not considered a priority and is treated as an environmental issue, and not a development one. This is reflected in the level of funding of national adaptation to climate change offices and the number of people assigned to work on the issue of adaptation. Nationwide, the

need to develop local capacities is clear, as local populations are often the most affected by the impacts of CC. The needs to increase the resolution of climate scenarios to understand the peculiarities of potential climate change impacts at each location, to increase funding to ensure local adaptation measures, and to strengthen accountability of the State since climate change impacts are specific of each country are stressed.

Keywords: adaptation, database, international agreements, financing, Latin America

---

## 1. Introducción

El cambio climático es ocasionado por el incremento de los gases de efecto invernadero atribuidos directa o indirectamente a las actividades humanas. Existen dos maneras de enfrentar el cambio climático: a) a través de actividades de mitigación—intervención humana destinada a reducir las fuentes o intensificar los sumideros de gases de efecto invernadero, y b) a través de medidas de adaptación—diferentes ajustes de respuesta en los sistemas humanos y naturales a estímulos climáticos proyectados o reales, o sus efectos, que pueden moderar el daño o aprovechar sus aspectos beneficiosos (IPCC 2001).

Analizando la respuesta política internacional relacionadas con el cambio climático se puede ver que desde la entrada en vigor de la CMNUCC en 1994 y la adopción del Protocolo de Kioto en 1997, se ha trabajado principalmente en temas relacionados con la mitigación, por ejemplo, el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL). Sin embargo, el tema de adaptación, aunque menos desarrollado, también ha sido considerado. La adaptación a la variación climática no es algo nuevo. Las generaciones anteriores enfrentaron los fenómenos climáticos mediante una adaptación autónoma. Al considerar la mayor frecuencia e intensidad de estos fenómenos, es necesario trabajar en la adaptación planificada (IPCC 2001).

Se puede evidenciar que en los últimos años el tema de adaptación al CC en los acuerdos internacionales está volviéndose prioritario, más aún después de la publicación del IV Informe del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), dónde se expresó que el calentamiento es inequívoco y que la adaptación será esencial y beneficiosa. El mismo informe considera las limitaciones a la que está sujeta la adaptación, como las de orden financiero, tecnológico, cognitivo, político, social, institucional y cultural que limitarán tanto la aplicabilidad como la efectividad de las medidas de adaptación (IPCC 2007).

En la COP2 (1996) se empezó a reconocer la importancia de trabajar en la adaptación planificada considerando que los fenómenos climáticos serán más frecuentes e intensos y que las poblaciones y sectores más deprimidos de los países en desarrollo serán los más impactados, principalmente, por no contar con tecnologías adecuadas ni recursos financieros para enfrentarlos (CMNUCC 1996). A partir de la COP7 (2001) el interés político por la adaptación aumentó como complemento de las actividades de mitigación. Por esta razón se crearon tres fondos de financiamiento bajo la administración del GEF (Special Climate Change Fund (SCCF), Least Developed Countries Fund (LDCF) y Strategic Priority for Adaptation (SPA) (UNFCCC 2001).

Recientemente en la COP11 (2005) se solicitó al Órgano Subsidiario de Asesoramiento Científico y Tecnológico (OSACT) de la CMNUCC elaborar un programa estructurado de cinco años sobre los aspectos científicos, técnicos y socioeconómicos de los impactos, la vulnerabilidad y la adaptación al cambio climático. Se elaboró el programa de trabajo de Nairobi cuyo objetivo es permitir a las partes comprender y evaluar mejor los impactos y vulnerabilidades y la adaptación frente al cambio climático; y capacitarlos para tomar decisiones con conocimiento de causa sobre medidas prácticas de adaptación (CMNUCC, 2005). En la COP13 (2007), con el Plan de Acción de Bali, se consolidó el fondo para la adaptación (cuya secretaria es el GEF). Este fondo

contará con recursos provenientes del 2% del valor de los certificados de reducción de emisiones, aportados por los proyectos del MDL (CMNUCC 2007).

En América Latina y el Caribe, al igual que a nivel global, se siguió el mismo patrón de trabajo, empezando primero en mitigación y luego en adaptación. Esto fue lo que motivó a indagar cómo y cuánto se ha trabajado el tema en la actualidad en la región. Asimismo, ha sido necesario elaborar una base de datos con los diferentes proyectos y actividades de adaptación al CC en ALC.

## 2. Metodología

### 2.1 Elaboración de una base de datos sobre proyectos y actividades de adaptación al CC en ALC

Primer paso: Se definieron los componentes necesarios para recoger la información de cada proyecto y actividad de adaptación al CC en ALC (Tabla 1).

Tabla 1. Componentes de una base de datos de proyectos relacionados con adaptación y mitigación al cambio climático en América Latina y el Caribe.

Componente	Descripción
N	Número asignado al proyecto encontrado
Región de trabajo	Global, regional, nacional, local
País	País que participó en el proyecto (uno o más)
Organización	Organización ejecutora del proyecto
Persona de contacto	Persona que puede dar información del proyecto
Posición	Cargo de la persona que da información del proyecto
Tipo de proyecto	Adaptación, Mitigación, Ambos
Área de trabajo	Descripción del objetivo principal del proyecto
Sector	Privado, ONG, Público
Temática	Agricultura, Agua, Carbono, Conservación, Salud
Enfoque	Comunicación, Económico, Impacto, Imp. & Polít., Política
Tipo de trabajo	Acción, Investigación, I&A
Nombre del proyecto	Nombre completo del proyecto ubicado
Entidad que financia el proyecto	Las fuentes de financiamiento
Página web	Dirección electrónica donde se puede encontrar información del proyecto
Observaciones especiales	Se identificó año de inicio y finalización del proyecto
Publicación de interés adjunta	Se adjuntó el documento del proyecto o reportes finales del mismo
Dirección postal y teléfono	Información del contacto o de la institución desarrolladora del proyecto

Segundo paso: Se realizó una búsqueda en internet de proyectos y actividades de adaptación al CC en ALC, utilizando las palabras claves (adaptación, adaptación y proyectos, adaptación y América Latina, entre otras).

Tercer paso: Se solicitó a las Autoridades Nacionales Designadas (AND) y puntos focales de la convención marco de cada país de América Latina, información sobre los proyectos y actividades que estuvieran desarrollando en tema de adaptación al CC. Estas encuestas se realizaron vía correo electrónico y por teléfono (cuando los correos electrónicos no fueron contestados).

Cuarto paso: Se diseñó y realizó una entrevista semiestructurada a las AND y puntos focales de América Latina para obtener información de los proyectos y actividades en los que estaban trabajando sobre adaptación al CC, y conocer como estaba estructurada la Oficina Nacional de Adaptación al CC en cuanto a su financiamiento, personal asignado a temas de adaptación y/o mitigación, etc.

El análisis de la información se desarrolló mediante un estudio descriptivo de las frecuencias para cada variable de la base de datos.

### 3. Resultados y discusión

#### 3.1 Base de datos de los proyectos y actividades de adaptación al CC en ALC

Se identificaron un total de 131 proyectos y/o actividades en América Latina. Sus principales características fueron:

- **Estado de avance:** los proyectos y/o actividades observados están en diferentes etapas de desarrollo (ejecutados, en ejecución y en preparación). Bolivia fue el país que más proyectos en desarrollo presentó (20), seguido de México (11) y Perú (10). Los países con menor número de proyectos fueron Bahamas, St. Kits and Nevis, San Vicente, Surinam (3) (Figura 1).

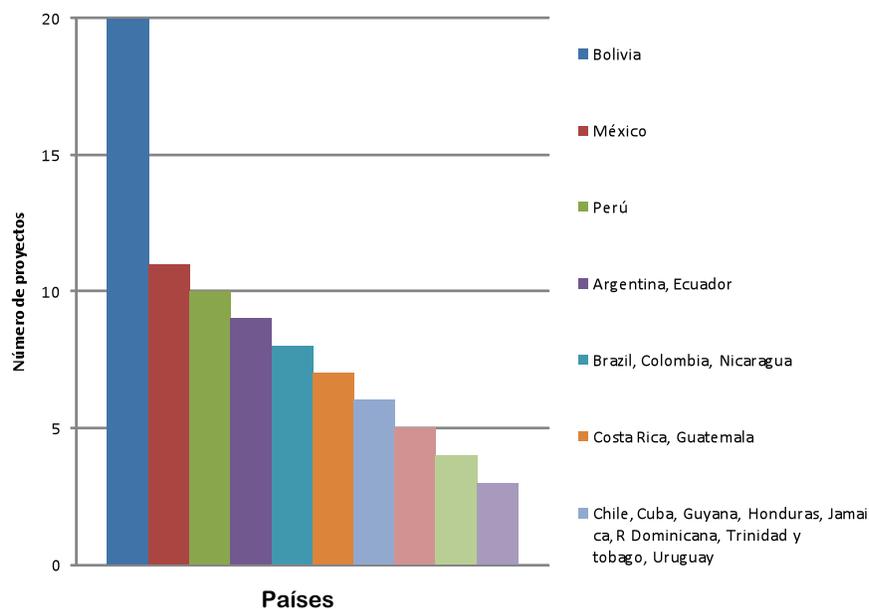


Figura 1. Número de proyectos de adaptación al CC desarrollados en América Latina y el Caribe.

- **Escala:** La mayoría de los proyectos (60%) fueron desarrollados a escala nacional (Figura 2). Éstos estuvieron representados por las comunicaciones nacionales, ya que todos los países de ALC han cumplido con el

compromiso de presentar su primera comunicación nacional a la CMNUCC. Tres países (México, Argentina, Uruguay) han presentado su segunda comunicación nacional. México ya presentó su tercera comunicación nacional y está en camino de presentar la cuarta.

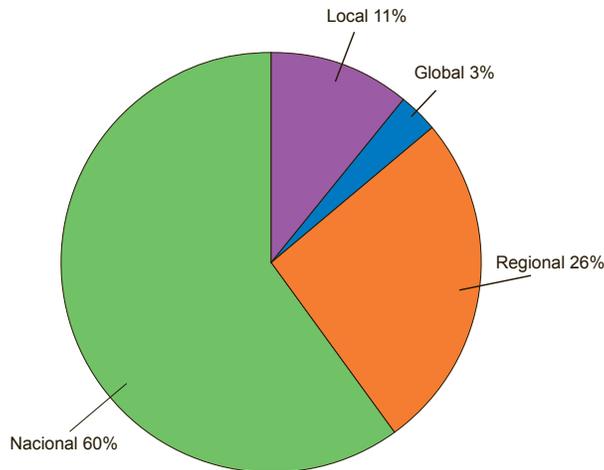


Figura 2. Escala de trabajo (local, nacional, global) de los proyectos relacionados con adaptación al CC identificados en Latinoamérica y el Caribe.

- **Tipología:** el 98% de los proyectos analizados fueron de adaptación y los restantes de mitigación–adaptación. Un ejemplo de esto último fue el Proyecto Corporativo sobre Mitigación y Adaptación al Cambio Climático en la Gestión Forestal Sostenible en Iberoamérica (MIA)” implementado por CATIE.
- **Sector:** la mayoría de proyectos fueron ejecutados por organismos públicos (Figura 3). Esto se debió a la gran demanda de ayuda por parte de los países en desarrollo y la oferta de apoyo de organizaciones como el GEF. Estas organizaciones, con el afán de lograr que las actividades de adaptación sean sostenibles, buscan que los organismos ejecutores de los proyectos de adaptación pertenezcan al sector público.

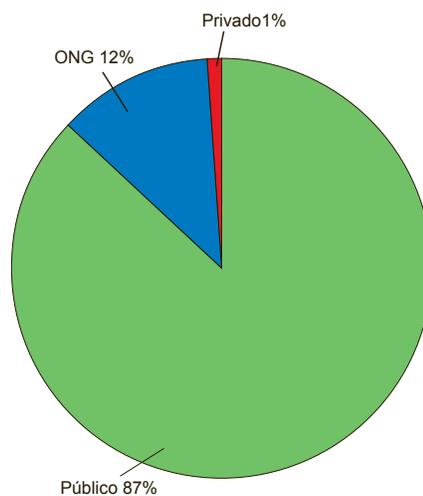


Figura 3. Proporción de proyectos de adaptación ejecutados por los sectores privado, público o por ONG en América Latina y el Caribe.

- **Temática:** el 64% de los proyectos son de corte informativo (comunicaciones nacionales). El objetivo de estas comunicaciones fue dar a conocer aspectos generales del país, como los inventarios de gases de efecto invernadero o síntesis de trabajos en el tema de adaptación y mitigación. Los temas de agua y agricultura tuvieron alto porcentaje de proyectos, lo cual evidenció su gran vulnerabilidad al CC en ALC (Figura 4).

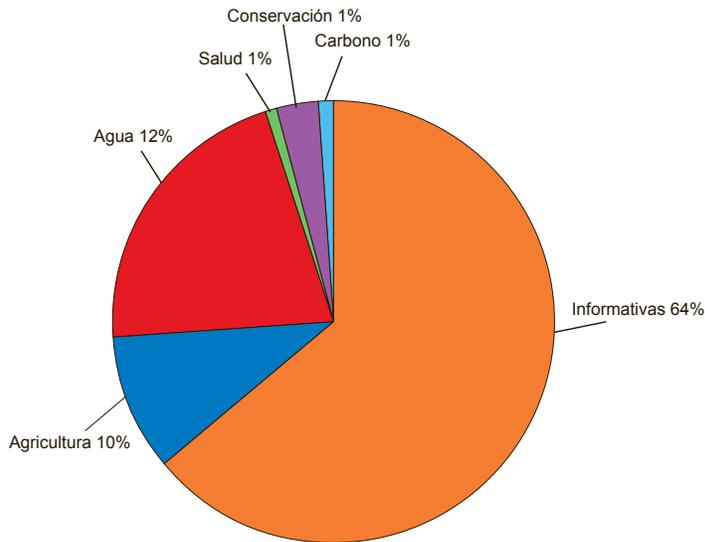


Figura 4. Temática de los proyectos de adaptación en América Latina y el Caribe.

- **Enfoque:** el 90% de los proyectos y actividades estuvieron relacionados con las dos primeras etapas de adaptación señaladas por la CMNUCC (identificar y evaluar los impactos y vulnerabilidad de los sistemas naturales y humanos, y construir capacidades [Figura 5]). Existieron pocos proyectos relacionados con la tercera etapa (medidas de adaptación); estos están en ejecución, por ejemplo, el Proyecto Piloto Nacional de Adaptación al Cambio Climático de Ecosistemas de Alta Montaña, Áreas Insulares del Caribe Colombiano y Salud Humana (INAP), el proyecto Diseño e Implementación de Medidas Piloto de Adaptación al Cambio Climático en la Región Andina).

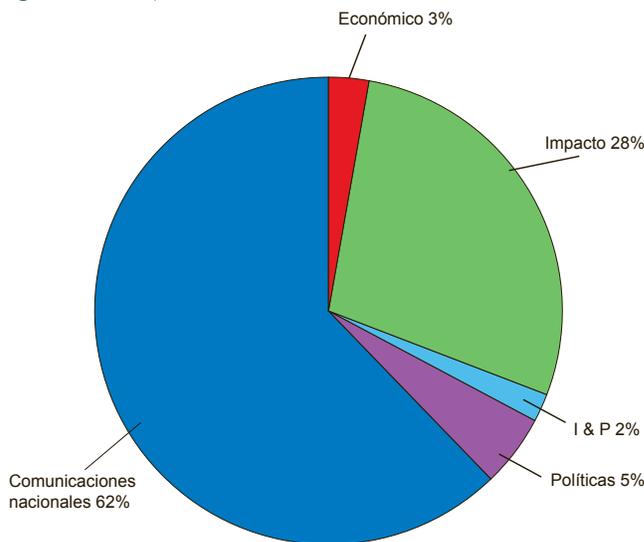


Figura 5. Enfoque de los proyectos (comunicación, económico, impacto, impacto-política, política) de adaptación identificados en América Latina y el Caribe.

- **Tipo de trabajo:** la mayoría de proyectos (80%) correspondieron a proyectos de investigación (Figura 6). La mayoría están relacionados con lo establecido en la CMNUCC “la adaptación tiene que ser abordada en tres pasos, el primero, realizar estudios de impacto y vulnerabilidad, el segundo, encaminado a lograr una capacidad adaptativa y el tercero, relacionado a acciones de adaptación”. Los proyectos restantes están relacionados a la acción o a una combinación entre acción e investigación.

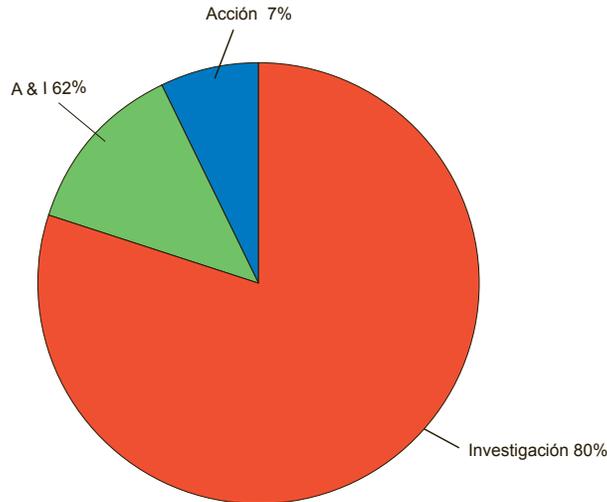


Figura 6. Tipo de trabajo (acción, investigación, acción–investigación) de los proyectos de adaptación identificados en Latinoamérica y el Caribe.

- **Financiamiento:** el 69% de los proyectos recibieron financiamiento del GEF (Figura 7) ya que tiene una larga historia de trabajo con los países más vulnerables que desean adaptarse al cambio climático (por ejemplo, el LDCF apoyó a Haití en la preparación e implementación de los Programas Nacionales de Adaptación - Napas, el SCCF apoya la preparación de las comunicaciones nacionales y el SPA a proyectos globales en acciones de adaptación). Casi un 10% de los proyectos fueron financiados por las embajadas de los Países Bajos (Holanda). Las ONG o fondos de gobierno representaron otras fuentes de financiamiento.

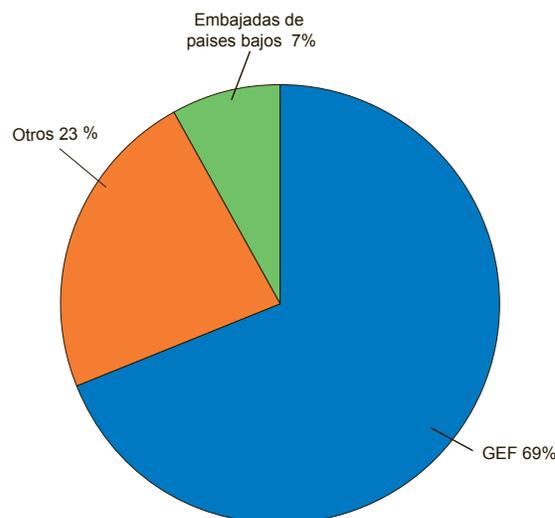


Figura 7. Fuentes de financiamiento de los proyectos de adaptación al CC identificados en América Latina y el Caribe.

En las entrevistas a las autoridades nacionales designadas y puntos focales de ALC se pudo identificar que:

- El 43% de los países cuentan con un departamento asignado al tema de adaptación en la oficina de cambio climático. Esto sugiere que se está dando la importancia al tema de adaptación a nivel de los países de ALC, aunque no en la medida requerida.
- El 86% de los países indicó que cuentan con una persona encargada en el tema de adaptación. Pese a que muchas oficinas de CC no cuentan con un departamento para el tema de adaptación, sí asignan personal para cumplir las actividades en este tema.
- Sólo un 21% de los países cuenta con presupuesto propio para realizar actividades de adaptación; el resto depende de las actividades generales de la oficina de CC.
- El 71% de las oficinas nacionales de adaptación está colaborando con otras instituciones o gobiernos en el tema de adaptación, principalmente con la Red Iberoamericana de Oficinas de Cambio Climático (RIOCC), el Plan Iberoamericano de Adaptación al Cambio Climático (PIACC), el Centro del Agua del Trópico Húmedo para América Latina y el Caribe (CATHALAC) y el GEF. Las oficinas nacionales de CC colaboran en menor medida con la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA), la Comunidad Andina (CAN), el Gobierno de Dinamarca, el Proyecto Araucaria, el Gobierno de Holanda y la Organización Panamericana de la Salud (OPS).
- La mayoría de los países (86%) señaló que cuenta con un nivel de experiencia medio en adaptación, considerando el trabajo realizado trabajado en las comunicaciones nacionales. El resto de los países indicaron que cuentan con un alto nivel de experiencia en el tema de adaptación.
- Los países manifestaron necesidades en los siguientes temas: trabajar la adaptación a nivel de programas, dar importancia a los escenarios de cambio climático y reducir la escala, garantizar el financiamiento, desarrollar más investigación, capacidades locales y políticas, cambiar la cultura, desarrollar redes, analizar los impactos, implementar medidas de adaptación y trabajar aspectos socioeconómicos locales.

## 4. Conclusiones

### 4.1 Base de datos de los proyectos de adaptación al cambio climático en ALC

En la actualidad se está asumiendo de manera creciente el tema de adaptación al cambio climático en ALC, y se le está dando espacio en las agendas ambientales nacionales. Sin embargo, se ha trabajado principalmente en las etapas de identificación y evaluación de los impactos y la vulnerabilidad de los sistemas naturales y humanos, y en construir capacidades. Aún falta trabajar sobre las medidas de adaptación que se deben implementar. Este aspecto es fundamental y tiene un alto requerimiento en los países menos desarrollados.

Las mejores referencias en el tema de adaptación a nivel nacional se pueden encontrar en las comunicaciones nacionales. A través de las primeras comunicaciones nacionales se empezó a incorporar de manera superficial el tema de la adaptación al CC, mejorando en las posteriores. Además, los países de ALC al pertenecer a los países del No-anexo 1 de la CMNUCC adquirieron un compromiso de informar sobre sus trabajos en el tema de cambio climático. Sin embargo, estos compromisos ante la CMNUCC están siendo cumplidos de manera heterogénea.

Actualmente, el GEF es el organismo que brinda mayor apoyo financiero a las diferentes actividades relacionadas con el tema de adaptación. Esto es preocupante porque la adaptación tiene que ser asumida por los gobiernos y se nota una debilidad en designar presupuesto directo al tema.

Durante la elaboración de esta base de datos muchos países estaban trabajando en perfiles de proyectos y actividades. Es probable que a la fecha haya nuevos proyectos y actividades disponibles que no fueron considerados

en el análisis. Además, muchas instituciones públicas y privadas que trabajan el tema de adaptación al cambio climático en ALC no sistematizan sus experiencias o no las publican.

## Agradecimientos

El autor agradece al Programa Cambio Climático del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) y al Proyecto Bosques Tropicales y Adaptación al Cambio Climático (TroFCCA).

## Bibliografía

- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC). 1996. Informe de la conferencia de las partes sobre su segundo periodo de sesiones-Medidas adoptadas por la conferencia de las partes en su segundo periodo de sesiones. Bonn, DE. Consultado 14 abr. 2009. Disponible en <http://unfccc.int/resource/docs/spanish/cop2/g9664239.pdf#page=72>.
- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC). 2005. Informe de la conferencia de las partes sobre su 11° periodo de sesiones-Medidas adoptadas por la conferencia de las partes en su 11° periodo de sesiones. Bonn, DE. Consultado 14 abr. 2009. Disponible en <http://unfccc.int/resource/docs/2005/cop11/spa/05a01s.pdf#page=6>.
- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC). 2006. Informe de la conferencia de las partes sobre su segundo periodo de sesiones-Medidas adoptadas por la conferencia de las partes en su segundo periodo de sesiones. Bonn, DE. Consultado 14 abr. 2009. Disponible en <http://unfccc.int/resource/docs/spanish/cop2/g9664239.pdf#page=5>.
- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC). 2007. Informe de la conferencia de las partes sobre su 13° periodo de sesiones-Medidas adoptadas por la conferencia de las partes en su 13° periodo de sesiones. Bonn, DE. Consultado 14 abr. 2009. Disponible en <http://unfccc.int/resource/docs/2007/cop13/spa/06a01s.pdf#page=3>.
- Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). 2001. Report of the conference of the parties on its seventh session. Action taken by the conference of the parties. Bonn, DE. Consultado 14 abr. 2009. Disponible en <http://unfccc.int/resource/docs/cop7/13a01.pdf#page=43>.
- Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) 2001. Climate Change 2001 The Scientific Basis. Ginebra, CH. Consultado 7 abr. 2009. Disponible en [http://www.grida.no/publications/other/ipcc\\_tar/?src=/CLIMATE/IPCC\\_TAR/WG1/index.htm](http://www.grida.no/publications/other/ipcc_tar/?src=/CLIMATE/IPCC_TAR/WG1/index.htm).
- Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC). 2007. Cambio Climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Ginebra, CH. Consultado 7 abr. 2009. Disponible en [http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4\\_syr\\_sp.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf).



---

## Relación de autores y direcciones



*Angela Diaz Briones*  
Programa Cambio Climático. CATIE, 7170  
Turrialba, Costa Rica  
E-mail: [angela@catie.ac.cr](mailto:angela@catie.ac.cr)

*Andy Jarvis*  
International Centre for Tropical Agriculture (CIAT),  
AA6713, Cali, Colombia - Bioversity International,  
Regional Office for the Americas, c/o CIAT, AA6713,  
Cali, Colombia  
E-mail: [a.jarvis@cgiar.org](mailto:a.jarvis@cgiar.org)

*Anton Eitzinger*  
International Centre for Tropical Agriculture (CIAT),  
AA6713, Cali, Colombia  
E-mail: [anton.eitzinger@gmail.com](mailto:anton.eitzinger@gmail.com)

*Arturo Curiel Ballesteros*  
Unión Internacional para la Conservación de la  
Naturaleza (UICN). Instituto de Medio Ambiente  
y Comunidades Humanas de la Universidad de  
Guadalajara. Km 15.5 carretera Guadalajara-  
Nogales, Las Agujas Zapopan Jalisco, México. CP  
45110. Apartado Postal 52-29  
E-mail: [arturoc@redudg.udg.mx](mailto:arturoc@redudg.udg.mx)

*Bastiaan Louman*  
Programa Cambio Climático. CATIE, 7170  
Turrialba, Costa Rica  
E-mail: [blouman@catie.ac.cr](mailto:blouman@catie.ac.cr)

*Benjamin Poulter*  
Land Use Dynamics, Swiss Federal Research  
Institute (WSL), Zurcherstrasse 111, 8903  
Birmensdorf, Switzerland  
E-mail: [benjamin.poulter@wsl.ch](mailto:benjamin.poulter@wsl.ch) / [ben.poulter@pik-potsdam.de](mailto:ben.poulter@pik-potsdam.de)

*Bruno Locatelli*  
CIRAD UPR Forest Policies–CIFOR ENV Program.  
PO Box 0113 BOCBD, 16000 Bogor, Indonesia  
Email: [bruno.locatelli@cirad.fr](mailto:bruno.locatelli@cirad.fr)

*Celia Martínez Alonso*  
CETEMAS (Centro Tecnológico Forestal y de la  
Madera de Asturias), Finca “La Mata”, 33820 Grado,  
Principado de Asturias, España–Programa Cambio  
Climático, CATIE 7170 Turrialba, Costa Rica  
E-mail: [cmartinez@cetemas.es](mailto:cmartinez@cetemas.es)

*Ed Hawkins*  
Department of Meteorology, University of Reading,  
Reading, RG6 6BB, United Kingdom.  
E-mail: [e.hawkins@reading.ac.uk](mailto:e.hawkins@reading.ac.uk)

*Fred Hattermann*  
Potsdam Institute for Climate Impact Research,  
Telegraphenberg A26, D14412 Potsdam, Germany  
E-mail: [hattermann@pik-potsdam.de](mailto:hattermann@pik-potsdam.de)

*Gustavo Calvo*  
Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), San  
José, Costa Rica  
E-mail: [GCalvoD@ice.go.cr](mailto:GCalvoD@ice.go.cr)

*Jose Marengo*  
Centro de Ciencias do Sistema Terrestre (CCST),  
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais INPE,  
Cachoeira Paulista, São Paulo, 12630-000, Brazil.  
E-mail: [jose.marengo@cptec.inpe.br](mailto:jose.marengo@cptec.inpe.br)

*Julián Ramírez*  
International Centre for Tropical Agriculture (CIAT),  
AA6713, Cali, Colombia  
E-mail: [J.R.Villegas@CGIAR.ORG](mailto:J.R.Villegas@CGIAR.ORG)

*Kathleen Schepp*  
Deutsche Gesellschaft für Technische  
Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Eschborn,  
Germany  
E-mail: [Kathleen.Schepp@gtz.de](mailto:Kathleen.Schepp@gtz.de)

*Lenin Corrales*  
The Nature Conservancy–Climate Change  
Science, PO Box 230-1225, San José, Costa Rica  
E-mail: [lcorrales@tnc.org](mailto:lcorrales@tnc.org)

*Luis Molina*  
Programa Cambio Climático. CATIE, 7170  
Turrialba, Costa Rica  
E-mail: [lmolina@catie.ac.cr](mailto:lmolina@catie.ac.cr)

*Markku Kanninen*  
CIFOR ENV Program. PO Box 0113, BOCBD  
16000 Bogor, Indonesia  
E-mail: [m.kanninen@cgiar.org](mailto:m.kanninen@cgiar.org)

*Marco Otárola*  
Programa Cambio Climático. CATIE, 7170  
Turrialba, Costa Rica  
E-mail: [motarola@catie.ac.cr](mailto:motarola@catie.ac.cr)

*Pablo Imbach*

Programa Cambio Climático. CATIE, 7170  
Turrialba, Costa Rica  
E-mail: pimbach@catie.ac.cr

*Pascal O. Girot*

UICN-Mesoamérica  
E-mail: pascal.girot@iucn.org

*Peter Laederach*

International Centre for Tropical Agriculture (CIAT),  
Residencial Los Robles San Juan, Restaurante las  
Marsellaise 2 cuadras al Lago Casa No. 303 LM-  
172 Managua, Nicaragua  
E-mail: p.laderach@cgiar.org

*Raffaele Vignola*

Programa Cambio Climático. CATIE, 7170  
Turrialba, Costa Rica  
E-mail: rvignola@catie.ac.cr

*Sönke Zaehle*

Max Planck Institute for Biogeochemistry, PO Box  
100164, 07701 Jena, Germany  
E-mail: szaehle@bgc-jena.mpg.de

*Stephen Sitch*

School of Geography, University of Leeds, Leeds,  
LS2 9JT, United Kingdom  
E-mail: s.sitch@leeds.ac.uk

*Ursula Heyder*

Potsdam Institute for Climate Impact Research,  
Telegraphenberg A26, D14412 Potsdam, Germany  
E-mail: ursula.heyder@pik-potsdam.de

*Walter E. Baethgen*

Programa Regional para América Latina y el  
Caribe International Research Institute for Climate  
and Society (IRI). The Earth Institute at Columbia  
University, 61 Route 9W, Palisades, NY 10964  
E-mail: baethgen@iri.columbia.edu

*Walter Oyhançabal*

Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca e  
Instituto Plan Agropecuario de Uruguay  
E-mail: woyha352@yahoo.com

*Wolfgang Cramer*

Potsdam Institute for Climate Impact Research,  
Telegraphenberg A26, D14412 Potsdam, Germany  
E-mail: wolfgang.cramer@pik-potsdam.de